

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE L'HOMME ET DE LA SOCIÉTÉ (555)

# THÈSE

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE**

*Discipline : SCIENCES ECONOMIQUES*

Présentée et soutenue publiquement par

**Nicolas BEFORT**

Le 25 novembre 2016

---

**Pour une mésoéconomie de l'émergence de la bioéconomie :  
Représentations, patrimoines productifs collectifs et stratégies d'acteurs dans  
la régulation d'une chimie doublement verte**

---

Thèse dirigée par **Martino NIEDDU**

## JURY

M. Franck-Dominique VIVIEN,	, Professeur,	à l'Université de Reims Champagne-Ardenne,	, <b>Président</b>
Mme Marie-Claude BELIS-BERGOUIGNAN,	, Professeur,	à l'Université de Bordeaux 4 Montesquieu ,	, <b>Rapporteur</b>
M. Thomas LAMARCHE,	, Professeur,	à l'Université de Paris 7 Paris Diderot ,	, <b>Rapporteur</b>
Mme Sandra DOMENEK,	, Maître de Conférence HDR,	AgroParisTech ,	, <b>Examineur</b>
M. Mario GIAMPIETRO,	, Professeur,	à l'Université Autonome de Barcelone, Espagne ,	, <b>Examineur</b>
M. Martino NIEDDU,	, Professeur,	à l'Université de Reims Champagne-Ardenne ,	, <b>Examineur</b>



L'Université de Reims Champagne-Ardenne n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

*A ma mère.*

« Notre héritage n'est précédé d'aucun testament »

– René Char, *Feuillets d'Hypnos*

## Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent à M. Nieddu, qui m'a tour-à-tour soutenu et subi (parfois plutôt l'un que l'autre) depuis un premier stage au laboratoire en licence. Je le remercie également pour la grande liberté dont j'ai pu disposer et le soin accordé à éclairer mes choix.

Je tiens à remercier Mme Bélis-Bergouignan, M. Lamarche, Mme Domenek, M. Giampietro et M. Vivien d'avoir accepté de consacrer du temps à la lecture de ce travail et de faire partie du jury.

J'adresse mes remerciements à la Région Champagne-Ardenne qui a financé ce travail dans le cadre du projet ESSAIMAGE Patrimoines Collectifs, Stratégies d'Acteurs et Appropriation des Connaissances en Chimie Doublement Verte (PACOC2V), ainsi que l'Université de Reims Champagne-Ardenne dans le cadre du dispositif MobDoc.

Je remercie les membres du laboratoire REGARDS et son personnel administratif pour nos nombreux échanges, notamment lors des séminaires doctorants, et moments de détente. Merci à Cyril, Florence et Nathalie pour leurs relectures.

Je tiens à remercier vivement mes proches pour leurs encouragements et particulièrement, ceux qui ont acceptés de prendre un peu de temps pour corriger ce travail : ma maman, Francisco, ma mamie, Geneviève, Isabelle, Virginie, Geoff, Renaud, Christopher et Caroline.

Merci à Morgane pour son soutien quotidien.

## Résumé

Cette thèse analyse, à partir d'une démarche mésoéconomique régulationniste et évolutionniste, l'émergence d'un espace économique. Les acteurs l'ont baptisé « bioéconomie », à partir d'interprétations divergentes du terme. Cet espace se différencie des façons traditionnelles de se représenter la division du travail en secteurs (la chimie, l'agriculture, l'énergie). Les acteurs qui cherchent à constituer cet espace le recomposent dans un champ original et spécifique. Ce champ est fondé sur l'usage de ressources renouvelables végétales, animales et algales. Les acteurs constituant le champ se proposent d'être une « industrie des industries ». Ils fourniraient, non pas des produits finaux, mais des produits intermédiaires, agro-alimentaires ou destinés à la chimie, aux matériaux et à l'énergie. Ce champ ne comprend pas par exemple le photovoltaïque. La bioéconomie recompose les relations entre agriculture et chimie, en (re)faisant de la première un fournisseur de la seconde. Nous mobilisons la notion de régimes de production de connaissances et d'activités économiques pour décrire la diversité des promesses technologiques faites par les acteurs. Nous montrons alors que la bioéconomie ne peut se réduire à la « révolution biotechnologique ». Trois grandes visions de la bioéconomie se confrontent. A un niveau plus fin, on présente trois cas de cette diversité. Les acteurs portent une « économie des promesses » à partir de leurs patrimoines productifs collectifs respectifs qu'ils cherchent à reproduire et projeter dans le futur. Cela donne lieu, de leur part, à un travail de problématisation de l'espace de la bioéconomie, qui détermine leur allocation de ressources.

**Mots-clefs : Bioéconomie, régulation, mésoéconomie, patrimoines productifs collectifs, émergence, innovation**

**Toward a mesoeconomic analysis of the emergence of a bioeconomy: representations, collective heritages and actors strategies in the régulation of a doubly green chemistry**

## Abstract

This thesis analyses the emergence of a new economic space from a mesoeconomic regulationist and evolutionist approach. This space has been called "bioeconomy" by the actors after divergent and conflictual interpretations of this concept. This economic space differs from the traditional ways of representing the division of labour into sectors (chemistry, agriculture, energy). The actors involved in seeking to define this space are reconstructing these sectors into an original and specific field, which is built on the use of biobased plant, animal and algal renewable resources. These actors consider themselves to be becoming the "industry of industries". Thus, instead of providing end products, they produce intermediates for agro- or chemical industries, materials or energy. The field does not cover photovoltaic electricity. Therefore, bioeconomy is a recomposition of the relationships between agriculture and chemistry in which the former becomes the supplier for the latter. We use the concept of the regimes of production of knowledge and of economic activity to describe the diversity of the technological promises made by the actors involved. We show, therefore, that bioeconomy cannot be reduced to the biotechnological revolution. Three broad views of bioeconomy emerge. At a deeper level, we present here three case studies to illustrate this diversity. The actors are weighed down by an "economy of promises" based on their own productive heritages that they are trying to reproduce and project into the future. This leads them to problematize the bioeconomy space in order to determine their resource allocations.

**Keywords : bioeconomy, régulation, mesoeconomy, productive heritages, emergence, innovation**



## Glossaire

<b><u>Acroléine</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aldéhydes</li> <li>- Utilisé pour la production de plastiques (acide acrylique), de parfums et synthèses chimiques</li> <li>- Produit par oxydation sélective de propène</li> <li>- Premier procédé de production mis au point en 1942 par Degussa</li> </ul>
<b><u>Acide acrylique</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acide utilisé pour la production de plastiques et de peintures acryliques</li> <li>- Produit à partir de propylène, coproduit du pétrole</li> </ul>
<b><u>Aldéhyde</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé organique dérivé d'alcool</li> <li>- Famille de produit très large (formaldéhydes ou formol, éthanal, propanal, butanal, pentanal) utilisé pour son pouvoir de diffusion, pour désinfecter et préparer des résines plastiques</li> </ul>
<b><u>Biocarburants</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carburants d'origine végétale de deux types : éthanol et biodiésel</li> </ul>
<b><u>Biodiésel</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carburant obtenu à partir d'huile végétale ou animale</li> <li>- Produit par transestérification faisant réagir l'huile avec un alcool (méthanol ou éthanol)</li> </ul>
<b><u>1.4 Butanediol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solvant et utilisé dans la fabrication de plastiques, fibres élastiques et polyuréthanes</li> <li>- Produit très médiatisé pour les biotechnologies</li> </ul>
<b><u>Catalyse / catalyseur</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique</li> <li>- Élément clé dans la mise au point d'une réaction et d'un process industriel</li> </ul>
<b><u>Celluloïds</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matière composée de nitrate de cellulose et de camphre</li> <li>- Un des premiers plastiques</li> </ul>
<b><u>Composites</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériau composé d'une matrice/d'un renfort/ d'une charge ou d'un additif</li> </ul>
<b><u>Diols / glycol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé organique permettant de produire des polyesters ou des polyuréthanes</li> <li>- Le 1.3 propanediol et le 1.4 butanediol sont particulièrement travaillés dans la bioéconomie</li> </ul>
<b><u>Epychlorydrine</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé utilisé dans la production de plastiques, de mousses polyuréthane, détergents, résines pour le traitement du papier</li> </ul>
<b><u>Esters</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé fondamental pour l'industrie du plastique notamment dans la production des polyesters</li> </ul>
<b><u>Ethanol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcool</li> <li>- Utilisé comme carburant</li> </ul>
<b><u>Ethylène</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produit de base de la pétrochimie</li> <li>- A l'origine du chlorure de vinyle, de l'oxyde d'éthylène, de l'éthanol et du polyéthylène</li> </ul>
<b><u>Ethylène glycol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le plus simple des diols, utilisé comme antigel ou les liquides de refroidissement</li> </ul>
<b><u>Farnésène</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrocarbure en chaîne longue (C15) de la famille des huiles essentielles. Applications dans les adhésifs, les tensio-actifs, les résines, les revêtements, les précurseurs de vitamines, les matériaux de performance et la protection des cultures</li> <li>- Production biosourcée principalement par Amyris</li> </ul>
<b><u>Furfural</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé chimique dérivé de produits agricoles</li> <li>- Utilisé comme solvant</li> </ul>

<b><u>2,5-Furandicarboxylic acid</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyester</li> <li>- Building block utilisé pour remplacer l'acide téréphtalique</li> <li>- Présent dans la liste du top 10 de l'US DOE</li> <li>- Principalement développé par Avantium pour le polyéthylène furanoate</li> </ul>
<b><u>Glycérol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Issu de la transestérification d'huiles végétales et utilisé comme carburant</li> </ul>
<b><u>Isobutène</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intermédiaire de synthèse très utilisé</li> <li>- Promesse de production d'isobutène à partir de glucose grâce à une bactérie OGM par Global Bioenergies</li> </ul>
<b><u>Isoprène</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monomère utilisé pour la production de caoutchouc synthétique</li> </ul>
<b><u>Isosorbide</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diol issu de ressources renouvelables, biodégradable ; produit par Roquette</li> <li>- Vise notamment la production de polyéthylène biosourcé</li> </ul>
<b><u>Monomère</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Petite molécule dont la répétition donne un polymère</li> <li>- Par exemple, plusieurs éthylènes liés donnent un polyéthylène</li> </ul>
<b><u>Oxydation</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaction avec de l'oxygène</li> </ul>
<b><u>Oxyde d'éthylène</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisé pour la production d'éthylène glycol</li> <li>- A été utilisé pour produire de l'ypérite pendant la Première Guerre mondiale</li> </ul>
<b><u>Phénols</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé chimiques aromatiques</li> </ul>
<b><u>Polyester</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Répétition d'une fonction ester ; résine thermodurcissable</li> <li>- Utilisé principalement pour des fibres, films et bandes</li> </ul>
<b><u>Polyéthylène</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polymère composé d'éthylène</li> <li>- Utilisé pour produire les polyéthylène téréphtalate</li> </ul>
<b><u>Polyoléfines</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polymère issu de la polymérisation d'une oléfine comme l'éthylène par exemple</li> </ul>
<b><u>Polymère</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Macromolécule formée par la répétition de sous-unités</li> <li>- Les fibres naturelles (végétales, animales, protéines), les matières plastiques, les caoutchoucs naturels et synthétiques, les colles, les peintures, les résines</li> </ul>
<b><u>Polyhydroxyalkanoate (PHA)</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyester biodégradable produit par fermentation de sucres ou de lipides</li> </ul>
<b><u>1.3 Propanediol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composé de la famille des diols</li> <li>- Utilisé pour les adhésifs, revêtements et polyesters</li> </ul>
<b><u>Solvant</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substance liquide qui dissout, dilue ou extrait d'autres substances sans en modifier la composition chimique et sans se modifier lui-même</li> </ul>
<b><u>Xylitol</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyol extrait de bouleau utilisé comme remplaçant du sucre classique</li> </ul>

# SOMMAIRE

<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>12</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>17</b>
<b>VERS UNE PROBLEMATIQUE MESOECONOMIQUE DE LA BIOECONOMIE</b> .....	<b>19</b>
<i>La chimie comme « discipline » de substitution</i> .....	22
<i>Comment les produits d'origine agricole sont-ils revenus au cœur de la chimie ?</i> .....	26
<i>La coordination de la substitution à travers un objet technique : la bioraffinerie : convergence ou diversité des process</i> .....	30
<i>Pour une mésoanalyse de la bioéconomie. Cadre théorique et méthodologie</i> .....	36
<i>Annonce du plan</i> .....	43
<b>PARTIE I REGULATION DU CHANGEMENT ET BIOECONOMIE</b> .....	<b>51</b>
<b>CHAPITRE 1 – UNE LECTURE HISTORICISEE DES VERROUILLAGES TECHNOLOGIQUES : LE CAS DES FORMALDEHYDES</b> .....	<b>53</b>
1. REGULATION, EVOLUTIONNISME ET INNOVATION : QUELLE LECTURE DES VERROUS TECHNOLOGIQUES ? .....	57
1.1. <i>Une lecture régulationniste de dynamiques économiques : le cas des biopolymères</i> .....	58
1.2. <i>Au-delà des systèmes sectoriels d'innovation, les régularités de changements dans l'analyse des innovations environnementales</i> .....	60
<i>Conclusion de la section : des lock-ins aux patrimoines productifs collectifs, explorer la boîte noire de la sélection des technologies</i> .....	67
2. DU DEVELOPPEMENT DES RESINES A BASE DE FORMALDEHYDES A LEUR REMISE EN QUESTION .....	70
2.1. <i>La Bakélite comme cas du développement des résines phénols-formaldéhydes : l'hybridation entre deux bases de connaissances</i> .....	77
2.2. <i>L'adoption de la Bakélite : la formation d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques et sa contestation</i> .....	80
<i>Conclusion de la section</i> .....	84
3. LA VARIETE DES COMPROMIS DE PRODUITS EN REPONSE A LA CONTRAINTE SUR L'UTILISATION DES FORMALDEHYDES.....	86
3.1. <i>De la défense d'un compromis inchangé à sa labellisation</i> .....	87
3.2. <i>Des produits biosourcés, une réponse radicale ?</i> .....	92
<i>Conclusion de la section</i> .....	100
CONCLUSION DU CHAPITRE .....	105
<i>Quatre résultats sur les verrous technologiques, les espaces de régulation et la diversité des trajectoires technologiques</i> .....	105
<i>Faits stylisés et conclusions méthodologiques</i> .....	106
<b>CHAPITRE 2 – TRANSITION ET REGULATION DU CHANGEMENT : UNE ECONOMIE INDUSTRIELLE EMPIRIQUE</b> .....	<b>109</b>
1. ESPACES MESOECONOMIQUES ET PATRIMOINES PRODUCTIFS COLLECTIFS .....	114
1.1. <i>Espaces de régulation et régulation multiniveaux</i> .....	115
1.2. <i>Vers une économie industrielle régulationniste patrimoniale</i> .....	124
<i>Conclusion — Patrimoines et espaces de régulation émergents : éléments de conclusion</i> .....	127
2. ACTEURS ET REGIMES DE PRODUCTIONS DE CONNAISSANCES ET D'ACTIVITES ECONOMIQUES .....	128
2.1. <i>Y-a-t-il lieu de dépasser des représentations statiques des dispositifs institutionnels et des régimes ?</i> .....	129
2.2. <i>Acteurs et structuration multiniveaux de l'espace Filières, firmes et découpages du système productif</i> .....	139

CONCLUSION DU CHAPITRE ET DE LA PARTIE .....	161
<i>Espaces mésoéconomiques et régulation du changement</i> .....	161
<i>Rendre compte des dynamiques en train de se faire</i> .....	162
<i>Trois visions des espaces de régulation pour guider l'analyse</i> .....	163
<b>PARTIE II LA BIOECONOMIE COMME ESPACE ECONOMIQUE EMERGENT .....</b>	<b>165</b>
<b>CHAPITRE TROIS – RAPIDES RETOURS SUR L’HISTOIRE DE PROBLEMATISATIONS ANCIENNES ET LEURS ENSEIGNEMENTS.....</b>	<b>167</b>
1. LA CHEMURGY COMME MOMENT DE PROBLEMATISATION D’UNE INDUSTRIE FONDEE SUR LES RESSOURCES AGRICOLES ....	169
2. VERS UNE BIO-INDUSTRIE ? LA CHEMURGY REVISITEE A LA FIN DES ANNEES 1970 .....	173
3. DE LA BIORAFFINERIE A LA BIOECONOMIE .....	182
4. METHODOLOGIE ET SOURCES MOBILISEE DANS CETTE PARTIE .....	185
<b>CHAPITRE 4 – NON PAS UNE, MAIS TROIS BIOECONOMIES .....</b>	<b>187</b>
1. LA BIOECONOMIE ET LA PLACE DES SYSTEMES PRODUCTIFS DANS LES ECOSYSTEMES .....	189
2. LA BIOECONOMIE COMME RUPTURE SCHUMPETERIENNE GRACE AUX BIOTECHNOLOGIES.....	193
2.1. <i>Les dispositifs institutionnels qui ont permis le développement des biotechnologies aux États-Unis</i>	193
2.2. <i>Importation des dispositifs institutionnels américains et problématisation de la deuxième bioéconomie</i> .....	194
3. LA BIOECONOMIE DE LA BIORAFFINERIE .....	198
3.1. <i>La « Knowledge Based BioEconomy »</i> .....	198
3.2. <i>De la KBBE à la bioéconomie tout court</i> .....	199
3.3. <i>Le pôle IAR et le site Pomacle-Bazancourt : une dynamique de compromis entre les trois bioéconomies</i> .....	208
CONCLUSION .....	221
<b>CHAPITRE 5 – L’INSCRIPTION DES REGIMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D’ACTIVITES ECONOMIQUES DANS DES DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS.....</b>	<b>223</b>
1. REGIMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D’ACTIVITES ECONOMIQUES DANS LES ESPACES NATIONAUX .....	225
1.1. <i>Le cas des États-Unis</i> .....	228
1.2. <i>Le cas de l’Allemagne</i> .....	242
1.3. <i>Les cas finlandais et italiens</i> .....	253
<i>Conclusion de la section</i> .....	262
2. LE DEVELOPPEMENT DE LA BIOECONOMIE DANS L’ESPACE EUROPEEN.....	264
2.1. <i>La prise de contrôle sur l’arène de développement par la formation d’un partenariat public-privé</i>	267
2.2. <i>L’identité des produits dans la commercialisation</i> .....	279
CONCLUSION : LA FORMATION DES COMPROMIS LOCALISES COMME LOGIQUE DE QUALIFICATION D’ACTEURS ET DE DISPOSITIFS	294
<i>La diversité et la juxtaposition des compromis localisés</i> .....	294
<i>La projection de dispositifs dans l’espace et le futur</i> .....	296
<i>L’assemblage de dispositifs institutionnels dans les projets de recherche</i> .....	296
<b>PARTIE III LE DEPLOIEMENT DE STRATEGIES AUTOUR DE POLYMERES CLES .....</b>	<b>299</b>
<b>CHAPITRE 6 – LE CAS DES ACIDES POLYLACTIQUES COMME ETALON DE LONGUE PERIODE .....</b>	<b>303</b>
1. L’ACIDE LACTIQUE, UN PRODUIT DE BASE QUI VIENT DE LOIN .....	304
1.1. <i>L’acide lactique et le développement de la fermentation industrielle</i> .....	304
1.2. <i>La question des matières premières : un débat récurrent ?</i> .....	306

<i>Conclusion de la section : la base de connaissance de l'acide lactique</i> .....	308
2. LA FILIERE DU PLA ET SES PROMESSES : PRODUIT DE SPECIALITE OU DE COMMODITE ? .....	309
2.1. <i>Brevets et process PLA</i> .....	310
2.2. <i>Les acteurs d'un PLA de commodités</i> .....	314
3. UNE PERIODISATION DE LA FILIERE DU PLA PAR SES PROMESSES .....	323
3.1. <i>Fonctionnalités, promesses et mondes de production</i> .....	323
3.2. <i>L'explosion de l'item PLA dans les bases de données de revues</i> .....	324
3.3. <i>Une périodisation des promesses et désappointements du PLA</i> .....	327
CONCLUSION : VERS UNE METHODOLOGIE D'ANALYSE D'AUTRES FILIERES-PRODUIT DE LA CHIMIE DOUBLEMENT VERTE .....	336
<b>CHAPITRE 7 – LE CAS DES DEUX AUTRES « PETITES MOLECULES », L'ACIDE SUCCINIQUE ET L'ACIDE LEVULINIQUE</b> .....	<b>341</b>
1. UNE BIOECONOMIE DES BIOTECHNOLOGIES : LE CAS DE L'ACIDE SUCCINIQUE .....	343
1.1. <i>De la production d'acide succinique à la formation de promesses technico-économiques dans la science</i> 344	
1.2. <i>Le positionnement des firmes de l'acide succinique</i> .....	352
<i>Conclusion de la section : du paradoxe de la propriété intellectuelle à l'ancrage territorial</i> .....	365
2. L'ACIDE LEVULINIQUE, UN PRODUIT AU CŒUR DE L'OBJET TRANSITIONNEL BIORAFFINERIE ? .....	369
2.1. <i>La construction d'une hypothèse interprétative</i> .....	369
2.2. <i>Le soutien institutionnel au développement de l'identité d'un process</i> .....	374
<i>Conclusion de la section et du chapitre</i> .....	379
<b>CONCLUSION DE LA PARTIE 3</b> .....	<b>381</b>
<i>La proposition d'une méthodologie pour analyser la formation des filières de la chimie doublement verte</i> .....	381
<i>Les stratégies d'exploration comme entrées dans les filières de la C2V</i> .....	382
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>387</b>
<b>QUESTIONS THEORIQUES ET EMPIRIQUES, REPONSES EMPIRIQUES ET THEORIQUES</b> .....	<b>389</b>
1. LA THEORISATION DU CHAMP PAR LES ACTEURS EUX-MEMES : LA BIOECONOMIE COMME CHAMP DE CONFLIT ET DE COOPERATION AUX FRONTIERES MULTIPLES .....	391
2. LA STRUCTURATION DU CHAMP PAR LES PRODUITS INTERMEDIAIRES .....	396
2.1. <i>Un retour sur les fonctions des produits dans le champ</i> .....	396
2.2. <i>Dynamiques de promesses et structuration du champ</i> .....	399
3. UNE « GRAMMAIRE » POUR L'ANALYSE MESOECONOMIQUE DU CHANGEMENT .....	401
3.1. <i>Quelques points de départ pour une méthode</i> .....	401
3.2. <i>Frontières et diversité au sein des espaces économiques</i> .....	402
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>407</b>
<i>Bibliographie générale</i> .....	407
<i>Webographie spécifique au chapitre 7</i> .....	438
<i>Bibliographie des brevets spécifiques au chapitre 7</i> .....	446
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>454</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>463</b>

## TABLE DES FIGURES

<b>FIGURE 1 : LES PROMESSES DE LA BIOECONOMIE SELON LA COMMISSION EUROPEENNE</b> .....	21
<b>FIGURE 2 : UNE ILLUSTRATION DE L'HYPERCONCURRENCE ENTRE MATIERES PREMIERES ET PROCESS</b> .....	25
<b>FIGURE 3 : LES 12 PRINCIPES DE LA CHIMIE VERTE, SELON ANASTAS &amp; WARNER (1998) (REPRIS PAR MAXIM &amp; RICO-LATTES [2013, P. 646-647])</b> .....	28
<b>FIGURE 4 : UNE REPRESENTATION DU CHAMP DES PRODUITS (D'APRES NOVA-INSTITUT, 2014, P.1)</b> .....	35
<b>FIGURE 5 : LE CADRE D'ANALYSE EVOLUTIONNISTE SECTORIEL DES INNOVATIONS ENVIRONNEMENTALES (OLTRA ET SAINT-JEAN, 2009, P.572)</b> .....	62
<b>FIGURE 6 : UN EXEMPLE DE SCHEMA IDEAL DE MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT (DOORANASY, 2015, P.61)</b> .....	63
<b>FIGURE 7 : LES TRAJECTOIRES TECHNOLOGIQUES DES ECO-INNOVATIONS (D'APRES BROUILLAT ET ALII, 2013, P.93)</b> .....	65
<b>FIGURE 8 : REPRESENTATION STYLISEE DES RENDEMENTS CROISSANTS ET RENDEMENTS CROISSANTS ESPERES</b> .....	68
<b>FIGURE 9 : VARIABLES PROXY POUR L'ANALYSE</b> .....	69
<b>FIGURE 10 : LES NORMES INTERNATIONALES SUR L'EMISSION DE FORMALDEHYDES (REUSS ET ALII, 2000, P.750)</b> .....	71
<b>FIGURE 11 : LE SLOGAN DE BAKELITE</b> .....	72
<b>FIGURE 12 : ÉVOLUTION DE LA DEMANDE MONDIALE DE FORMALDEHYDES AUX ÉTATS-UNIS (D'APRES FORMACARE)</b> .....	73
<b>FIGURE 13 : LES ACTEURS DU CHAMP DES FORMALDEHYDES</b> .....	75
<b>FIGURE 14 : LA FILIERE TECHNIQUE DU FORMALDEHYDE ET SES DIFFERENTS USAGES (D'APRES REUSS ET ALII, 2000 ; NOTRE ADAPTATION)</b> .....	76
<b>FIGURE 15 : REPRESENTATION DES ETAPES CLES DANS L'EXTRACTION DES TANINS (SCHEMA DU VTT, DOCUMENTS INTERNES AU PROJET)</b> .....	93
<b>FIGURE 16 : REPRESENTATION DE LA CHAINE DE VALEUR A L'ORIGINE DU PROJET BIOFOAMBARK (D'APRES RASCHKA ET ALII, 2014)</b> .....	94
<b>FIGURE 17 : RESUME DES PUBLICATIONS PORTANT SUR LES ANALYSES DE CYCLE DE VIE ET LA DISPONIBILITE DES RESSOURCES (BEFORT, 2014)</b> .....	96
<b>FIGURE 18 : LISTE DES ALDEHYDES TESTES (D'APRES GARCIA ET ALII, 2014, P. 86)</b> .....	97
<b>FIGURE 19 : RESUME DES PUBLICATIONS ISSUES DU PROJET 2/2 (BEFORT, 2014)</b> .....	98
<b>FIGURE 20 : SYNTHESE DE L'ÉTUDE DES STRATEGIES DE REPONSE AUX VERROUS TECHNOLOGIQUES</b> .....	101
<b>FIGURE 21 : TYPES DE SUBSTITUTIONS PAR RAPPORT A LA CONCEPTION DES PRODUITS DANS LE REGIME DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D'ACTIVITES ECONOMIQUES DES RESINES PHENOLIQUES</b> .....	102
<b>FIGURE 22 : L'EMBOITEMENT DES TRAJECTOIRES DE SUBSTITUTION DANS LES CHAMPS</b> .....	103
<b>FIGURE 23 : UNE ILLUSTRATION DE LA COMPLEXITE DES ARTICULATIONS (D'APRES DIJK ET ALII, 2016, P. 84)</b> .....	113
<b>FIGURE 24 : LE SCHEMA CANONIQUE DU TRANSITION MANAGEMENT</b> .....	119
<b>FIGURE 25 : LA DEFINITION DE L'IDENTITE D'UNE INDUSTRIE (D'APRES JULLIEN, 2011)</b> .....	122
<b>FIGURE 26 : LES RAPPORTS INSTITUES QUI FONDENT UNE INDUSTRIE TELS QUE NOUS LES AVONS RECONSTITUES A PARTIR DE (JULLIEN ET JULLIEN &amp; SMITH, VAR. REF.)</b> .....	122
<b>FIGURE 27 : LA REPRESENTATION D'UNE REGULATION DU FONCTIONNEMENT ... MAIS PAS DE LA REGULATION DU CHANGEMENT (GALLOIS, 2012, P. 60)</b> .....	131
<b>FIGURE 28 : LES DIMENSIONS D'UN REGIME TECHNOLOGIQUE (VAN DE POEL, 2003, P.51)</b> .....	137
<b>FIGURE 29 : LES CYCLES D'ESPERANCES ET DE DESAPPOINTEMENTS (BORUP ET ALII, 2006, P.291)</b> .....	143
<b>FIGURE 30 : LA REPRESENTATION D'UNE BIORAFFINERIE (OCTAVE ET THOMAS, 2009, P.660)</b> .....	145
<b>FIGURE 31 : LA REPRESENTATION DE LA BIORAFFINERIE DE LA PLANTE ENTIERE (OCTAVE ET THOMAS, 2009, P.662)</b> .....	147
<b>FIGURE 32 : UNE THEORISATION DE LA DIVISION DU TRAVAIL (NOVA-INSTITUT, 2013, P.142)</b> .....	147
<b>FIGURE 33 : LE GLYCEROL COMME MOLECULE PLATEFORME (BOZELL ET PETERSEN, 2010, P.545)</b> .....	148
<b>FIGURE 34 : UN EXEMPLE DE REPRESENTATION DE FILIERES [TECHNOLOGIES/PRODUITS] (CLEMENTS ET VAN DYNE, 2006, P.124)</b> .....	149
<b>FIGURE 35 : LE CROISEMENT DES APPROCHES PAR LES FILIERES (LUGUEL, 2013)</b> .....	150
<b>FIGURE 36 : CADRE D'ANALYSE DES GLOBAL COMMODITY CHAINS (CONSTRUIT D'APRES BLAIR, 2009)</b> .....	152

FIGURE 37 : LES DEUX MODELES DE BIORAFFINERIE (D'APRES STADLER, 2014) .....	153
FIGURE 38 : LA REPRESENTATION DE LA FIRME COMME ESPACE DE GESTION DE TROIS ORDRES DE TENSIONS .....	154
FIGURE 39 : LA DIVERSITE DES DYNAMIQUES D'EXPLORATION DES BM DE LA CHIMIE DOUBLEMENT VERTE (SCHEMA REALISE PAR NIEDDU ET GARNIER REPRODUIT DANS HERNANDEZ ET ALII, 2014, P.25) .....	158
FIGURE 40 : LES DEUX DIMENSIONS DES REGIMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D'ACTIVITES ECONOMIQUES .....	160
FIGURE 41 : LA PROBLEMATISATION DE LA CHEMURGY (D'APRES FINLAY, 1997, P.26) .....	170
FIGURE 42 : TABLEAU DES ESPERANCES TECHNOLOGIQUES DE LA CHEMURGY ET ACTUELLE (A PARTIR DE FINLAY, 2003) .....	172
FIGURE 43 : LE RALENTISSEMENT DU RYTHME DE L'INNOVATION DANS L'INDUSTRIE DE LA CHIMIE (ACHILADELLIS ET ALII, 1990, P.14).....	173
FIGURE 44 : UNE SYNTHESE DU NUMERO DE LA REVUE D'ECONOMIE INDUSTRIELLE CONSACREE A LA BIO-INDUSTRIE .....	175
FIGURE 45 : UN INVENTAIRE DES MATIERES PREMIERES ET LEURS DEBOUCHES (D'APRES CHESNAIS, 1981, P.227).....	177
FIGURE 46 : LA PROBLEMATISATION DU DEVELOPPEMENT DES BIOTECHNOLOGIES (D'APRES CHESNAIS, 1981, P.226).....	177
FIGURE 47 : LES APPLICATIONS DE L'ACIDE ACETIQUE .....	179
FIGURE 48 : UNE MISE EN FORME DE LA BIORAFFINERIE (D'APRES COHENDET, 1984) .....	180
FIGURE 49 : LA PROBLEMATISATION DE L'ESPACE MESO DES BIO-INDUSTRIES ET DE LA CHIMIE A PARTIR DE LA REVUE D'ECONOMIE INDUSTRIELLE (1981) ET DE FUTURIBLES (1982) .....	181
FIGURE 50 : LA CLASSIFICATION DES BIORAFFINERIES DE CHERUBINI ET ALII (2009, P.543) .....	183
FIGURE 51 : LES ENTRECROISEMENTS ENTRE NORMES (BILLAUDOT, 2010, P.197) .....	185
FIGURE 52 : L'APPARITION SOUDAINE DES TERMES "BIOECONOMY" OU "BIOBASED ECONOMY" DANS LES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES (BASE DE DONNEES SCOPUS).....	187
FIGURE 53 : BIOECONOMIE ET ECONOMIE DE L'ABONDANCE.....	190
FIGURE 54 : UNE VISION DES PROBLEMATIQUES DANS LE SYSTEME DE LA BIOECONOMIE (PROJET BECOTEPS).....	191
FIGURE 55 : LA MISE EN FORME DE LA BIOECONOMIE COMME ECONOMIE INDUSTRIELLE CIRCULAIRE (CHAUVET, 2014).....	191
FIGURE 56 : LES RAPPORTS INSTITUES DE LA PREMIERE BIOECONOMIE .....	192
FIGURE 57 : LES DYNAMIQUES DE QUALIFICATION DANS LA PREMIERE BIOECONOMIE .....	192
FIGURE 58 : LA MISE EN RECIT DE L'USAGE DES CLUSTERS PAR LA COMMISSION EUROPEENNE (D'APRES BUESCHER, 2013).....	196
FIGURE 59 : LES RAPPORTS INSTITUES DANS LA DEUXIEME BIOECONOMIE.....	197
FIGURE 60 : LES LOGIQUES DE QUALIFICATION DE LA DEUXIEME BIOECONOMIE .....	197
FIGURE 61 : LA BIORAFFINERIE ET SES PRINCIPES DE JUSTIFICATION SUCCESSIFS.....	198
FIGURE 62 : CLASSIFICATION EN FONCTION DES MODELES DE BIORAFFINERIE DES BIOREFINERY SYSTEMS DANS KAMM ET ALII (2005) .....	201
FIGURE 63 : LA REPRESENTATION DE LA BIORAFFINERIE TERRITORIALISEE (PRODUITE PAR LE POLE IAR).....	202
FIGURE 64 : UN EXEMPLE DE PROBLEMATISATION DE L'UTILISATION DES HUILES VEGETALES EN-DEHORS DES BIOCARBURANTS (CANDY ET ALII, 2012) .....	206
FIGURE 65 : LES RAPPORTS INSTITUES DANS LA PROBLEMATISATION DE LA TROISIEME BIOECONOMIE.....	207
FIGURE 66 : LES LOGIQUES DE QUALIFICATION DE LA TROISIEME BIOECONOMIE.....	207
FIGURE 67 : UNE ILLUSTRATION DE LA VISION GLOBALE DU POLE IAR LORS D'UN COLLOQUE ACHEMA CONSACRE A LA PROBLEMATISATION DE LA BIOECONOMIE EN EUROPE (LUGUEL, 2015).....	209
FIGURE 68 : LES TROIS PLATEFORMES D'INNOVATION OUVERTE (VANDEPUTTE, 2016) .....	210
FIGURE 69 : UNE STRUCTURATION EN PATRIMOINES PRODUCTIFS COLLECTIFS .....	211
FIGURE 70 : REPRESENTATION DU ROLE DU POLE IAR LORS DE LA PRESENTATION DE SA STRATEGIE A LA DATAR (THOMAS, 2005) .....	212
FIGURE 71 : LE MODELE ECONOMIQUE DE CHAMTOR (IMAGE EXTRAITE DU SITE INTERNET DE LA FIRME) .....	218
FIGURE 72 : LES DIFFERENTS STADES DU ROADMAPPING (D'APRES TREITEL, 2005 ; NOTRE ADAPTATION).....	224
FIGURE 73 : TABLEAU DES SOURCES EMPLOYEES .....	227
FIGURE 74 : MATRICE D'IDENTIFICATION DES COUPLES MATIERES PREMIERES/TECHNOLOGIES PERTINENTS (PLANT/CROP-BASED RENEWABLE RESOURCES 2020, 1998, P. 2) .....	230
FIGURE 75 : LES DIFFERENTS TYPES DE DIVERSITE DANS LE PLANT/CROP-BASED RENEWABLE RESOURCES 2020 .....	231

<b>FIGURE 76 : LES HOT-SPOTS POUR UNE BIOECONOMIE D'APRES LE PLANT/CROP-BASED RENEWABLE RESOURCES 2020 (PLANT/CROP-BASED RENEWABLE RESOURCES 2020, 1998, P.23)</b> .....	232
<b>FIGURE 77 : LES MODELES DE CONSTITUTION DE RESSOURCES COLLECTIVES DANS LA FEUILLE DE ROUTE AMERICAINE (NATIONAL BIOECONOMY BLUEPRINT, 2012, P. 38)</b> .....	235
<b>FIGURE 78 : L'ORGANISATION DE LA CONVERGENCE ENTRE LA BIOLOGIE ET LA CHIMIE (INDUSTRIALISATION OF BIOLOGY, 2015, P.17)</b> .....	237
<b>FIGURE 79 : L'AMONT DES FILIERES DE LA BIOECONOMIE SELON LE RAPPORT « WHY BIOBASED ? » (GOLDEN ET HANDFIELD, 2014, P.8)</b> .....	240
<b>FIGURE 80 : LES LOGIQUES DE QUALIFICATION DE LA BIOECONOMIE AMERICAINE</b> .....	241
<b>FIGURE 81 : LES ACTIONS DE STRUCTURATION DES BIOTECHNOLOGIES PAR DECHEMA (KREYSA ET HIRCHE, 1997, P.135)</b> .....	243
<b>FIGURE 82 : L'EVOLUTION DE LA PART DE BIODIESEL DANS LE MIX ENERGETIQUE ALLEMAND ENTRE 2005 ET 2013 (D'APRES VAVASSEUR, 2015, P.12)</b> .....	246
<b>FIGURE 83 : LA REPARTITION DES CENTRES DE RECHERCHE MOBILISES SUR LA BIOECONOMIE EN ALLEMAGNE (NATIONAL RESEARCH STRATEGY BIOECONOMY 2030, 2010, P.8)</b> .....	248
<b>FIGURE 84 : LES LOGIQUES DE QUALIFICATION DE LA BIOECONOMIE ALLEMANDE</b> .....	252
<b>FIGURE 85 : LA DYNAMIQUE DE QUALIFICATION DANS LA BIOECONOMIE FINLANDAISE</b> .....	255
<b>FIGURE 86 : LES LOGIQUES DE QUALIFICATION DANS LA BIOECONOMIE ITALIENNE</b> .....	261
<b>FIGURE 87 : COMPROMIS NATIONAUX SUR LA BIOECONOMIE EN FONCTION DES TROIS TYPES DE BIOECONOMIE</b> .....	262
<b>FIGURE 88 : LES RECOMMANDATIONS DU NOVA-INSTITUTE EN MATIERE DE POLITIQUES PUBLIQUES POUR LA BIOECONOMIE (D'APRES CARUS ET ALII, 2015, P. 4)</b> .....	265
<b>FIGURE 89 : UNE REPRESENTATION DES CHAINES DE VALEURS DE LA BIOECONOMIE (D'APRES KIRCHER, 2012, P. 243)</b> .....	266
<b>FIGURE 90 : LE MODELE ECONOMIQUE DE FILIERE D'EUROBIOREF (D'APRES DUMEIGNIL, 2014)</b> .....	269
<b>FIGURE 91 : PRODUITS ET MATIERES PREMIERES CIBLES PAR CIMV (D'APRES LE SITE INTERNET DE CIMV)</b> .....	271
<b>FIGURE 92 : LE MODELE ECONOMIQUE DE FILIERES DU PROJET BIOCORE (D'APRES BIOCORE, 2014, P.38)</b> .....	271
<b>FIGURE 93 : QUELQUES-UNES DES NOMBREUSES VOIES TECHNOLOGIQUES EXPLORÉES DANS LE PROJET SUPRABIO (D'APRES BHATTACHARYA, 2014)</b> .....	273
<b>FIGURE 94 : LES CINQ MODELES ECONOMIQUES DE FILIERES PORTES PAR LE PPP (D'APRES SIRA, 2013)</b> .....	276
<b>FIGURE 95 : FONDS PREVUS POUR CHACUN DES MEF (D'APRES SIRA, 2013)</b> .....	278
<b>FIGURE 96 : LE LIEN ENTRE IMPORTANCE DE L'INFORMATION ET DE STANDARDISATION (BEHRENS ET ALII, 2014, P. 17)</b> .....	286
<b>FIGURE 97 : PRINCIPALES NORMES UTILISEES DANS LE CHAMP DES PRODUITS DE LA BIOECONOMIE (D'APRES L'AGROBIOBASE ET NOTRE PROPRE VEILLE)</b> .....	288
<b>FIGURE 98 : LES ASSOCIATIONS DE LABELS A PARTIR DES LABELS SUR LES CONTENUS BIOSOURCES (REALISE PAR NOUS A PARTIR DE L'AGROBIOBASE)</b> .....	292
<b>FIGURE 99 : LA DISPOSITION A PAYER UN GREEN PREMIUM PRICE EN FONCTION DE LA POSITION DANS LA CHAINE DE VALEUR (DAMMER ET ALII, 2013, P. 49)</b> .....	293
<b>FIGURE 100 : LA REPRESENTATION DES TROIS NIVEAUX DU TRANSITION MANAGEMENT (D'APRES GEELS, 2005)</b> .....	295
<b>FIGURE 101 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA JUXTAPOSITION ET DE LA SUPERPOSITION DES DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS DE LA BIOECONOMIE</b> .....	295
<b>FIGURE 102 : LES PROMESSES SUR L'ACIDE LACTIQUE (D'APRES DATTA ET HENRY, 2006, P.1120)</b> .....	308
<b>FIGURE 103 : LA DISTINCTION ENTRE CHIMIE DE COMMODITE, DE CHIMIE FINE ET DE CHIMIE DE SPECIALITE (POLLACK, 2011, P.3)</b> .....	309
<b>FIGURE 104 : LES PROCEDES DE PRODUCTION DU PLA (D'APRES LUNT, 1998, P.147)</b> .....	312
<b>FIGURE 105 : LE PROCEDE DE PRODUCTION DE CARGILL (D'APRES DRUMRIGHT ET ALII, 2000, P.1842)</b> .....	313
<b>FIGURE 106 : REPRESENTATION N° 1 DE LA FILIERE DE L'ACIDE LACTIQUE</b> .....	314
<b>FIGURE 107 : PRODUCTEURS D'ACIDE LACTIQUE ET DE PLA</b> .....	315
<b>FIGURE 108 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA FILIERE DU PLA A PARTIR DES TROIS MONDES DE PRODUCTION DES JOINT-VENTURES</b> .....	318
<b>FIGURE 109 : REPARTITION DES PRODUCTEURS DE PLA EN FONCTION DES QUATRE MONDES DE PRODUCTION DU PLA</b> .....	320
<b>FIGURE 110 : REPARTITION DES PRODUCTEURS EN FONCTION DE LEURS MONDES DE PRODUCTION</b> .....	320

<b>FIGURE 111 : SOURCES ET METHODES DE LA PERIODISATION DES PROMESSES DE LA FILIERE DU PLA</b> .....	324
<b>FIGURE 112 : REPARTITION DES ARTICLES CONTENANT "POLYLACTIC ACID" OU "POLYLACTIDE" ENTRE 1950 ET 2016 PAR ANNEES</b> .....	325
<b>FIGURE 113 : REPARTITION DES PUBLICATIONS PAR THEME SUR LA PERIODE 1950-2016</b> .....	325
<b>FIGURE 114 : REPARTITION DES ARTICLES PAR ANNEES CORRIGEE DES ARTICLES DE MEDECINE ET DE PHARMACIE</b> .....	326
<b>FIGURE 115 : PROMESSES ET VEROUS TECHNOLOGIQUES CHEZ LIPINSKI ET SINCLAIR (1986)</b> .....	327
<b>FIGURE 116 : INTERET DE L'USAGE DU PLA PUR EN TERMES DE FONCTIONNALITES APPORTEES PAR LA GESTION DE LA CRISTALLINITE DU PRODUIT (EXTRAIT DE LUNT, 1997, P.148)</b> .....	330
<b>FIGURE 117 : COMPARAISON DES PROPRIETES MECANIQUES DU PLA PUR POUR L'EMBALLAGE ALIMENTAIRE (EXTRAIT DE LUNT (1997, P.149).</b> .....	330
<b>FIGURE 118 : INVENTAIRE DES POINTS FAIBLES DU PLA (A PARTIR DE NOTRE REVUE DE LITTERATURE)</b> .....	334
<b>FIGURE 119: LE CYCLE DE PROMESSES DU PLA</b> .....	337
<b>FIGURE 120 : UNE FORMALISATION DES DYNAMIQUES DE PROMESSES ET LEURS LIENS AVEC LES PATRIMOINES PRODUCTIFS COLLECTIFS</b> .....	340
<b>FIGURE 121 : METHODOLOGIE DE L'ETUDE DE CAS SUR L'ACIDE SUCCINIQUE</b> .....	343
<b>FIGURE 122 : ÉTAPES DE PRODUCTION DU PBS</b> .....	344
<b>FIGURE 123 : LE MODELE ECONOMIQUE DE FILIERE DEVELOPPE AUTOUR DE L'ACIDE SUCCINIQUE BIOSOURCE</b> .....	344
<b>FIGURE 124 : LES DEBOUCHES POUR L'ACIDE SUCCINIQUES (D'APRES ZEIKUS ET ALII, 1999)</b> .....	345
<b>FIGURE 125 : LA FORMULATION DES PROMESSES SUR L'ACIDE SUCCINIQUE (ZEIKUS, 1980, P.443)</b> .....	346
<b>FIGURE 126 : LES DEBOUCHES POSSIBLES DE L'ACIDE SUCCINIQUE DANS LE TOP 10 (D'APRES WERPY ET PETERSEN, 2004, P.23)</b> .....	349
<b>FIGURE 127 : LES PRINCIPAUX DEBOUCHES DE L'ACIDE SUCCINIQUE (D'APRES WERPY ET ALII, 2006, P.372)</b> .....	349
<b>FIGURE 128 : UNE EVALUATION DU TOP 10 EN FONCTION DE NEUF CRITERES (D'APRES BOZELL ET PETERSEN, 2010, P.543)</b> ....	351
<b>FIGURE 129 : LES PARTENAIRES DE ROQUETTE DANS BIOHUB (D'APRES AII, 2006)</b> .....	357
<b>FIGURE 130 : L'ÉCHEC DU MODELE DE METABOLIC EXPLORER</b> .....	357
<b>FIGURE 131 : PRESENTATION DU PROJET BIO-SUCCINNOVATE (D'APRES LE SITE INTERNET DE BIO-SUCCINNOVATE)</b> .....	361
<b>FIGURE 132 : SEGMENT DE FILIERE DE L'ACIDE SUCCINIQUE TENU PAR MYRIANT</b> .....	363
<b>FIGURE 133 : LA TRAJECTOIRE DE DEVELOPPEMENT DE L'ACIDE SUCCINIQUE</b> .....	367
<b>FIGURE 134 : FONCTIONNALITES ET FONCTIONNALITES ATTENDUES DE L'ACIDE SUCCINIQUE</b> .....	368
<b>FIGURE 135 : LES ETAPES TECHNIQUES DE PRODUCTION D'ACIDE LEVULINIQUES PAR LE PROCEDE BIOFINE (BIOFINE, 2013)</b> .....	370
<b>FIGURE 136 : LE PROCEDE BIOFINE (BIOFINE, 2013)</b> .....	371
<b>FIGURE 137 : LA LIGNEE DES BREVETS CITES DANS LE BREVET BIOFINE DE 1990 (FITZPATRICK, 1990)</b> .....	373
<b>FIGURE 138 : PROCESS BIOFINE POUR LA PRODUCTION D'ACIDE LEVULINIQUE A PARTIR DE CELLULOSE</b> .....	374
<b>FIGURE 139 : REPARTITION DES COPRODUITS DE LA PRODUCTION D'ACIDE LEVULINIQUE (METRICS, 2002, P.32)</b> .....	375
<b>FIGURE 140 : LES PROMESSES TECHNICO-ECONOMIQUES DE BIOFINE (2014)</b> .....	377
<b>FIGURE 141 : LES ETAPES DE PRODUCTION DE L'ACIDE LEVULINIQUE A PARTIR DU PROCEDE BIOFINE (HAYES ET ALII, 2008, P.144)</b> .....	377
<b>FIGURE 142 : NOTRE TRIPTYQUE METHODOLOGIQUE</b> .....	382
<b>FIGURE 143 : LES PHENOMENES D'INVESTISSEMENT ET DE DESINVESTISSEMENT DANS LA BIOECONOMIE DES BIOTECHNOLOGIES (FESTEL, 2015, P.21)</b> .....	383
<b>FIGURE 144 : LES QUATRE DIMENSIONS DE LA CONSTITUTION D'ACCORDS</b> .....	384
<b>FIGURE 145 : L'ÉVOLUTION SCHEMATISEE DES RAPPORTS ENTRE AGRICULTURE ET PETROCHIMIE</b> .....	394
<b>FIGURE 146 : UNE REPRESENTATION STATIQUE DE L'ENCHEVETREMENT DES THEMATIQUES CREAT L'ESPACE DE LA BIOECONOMIE</b> .....	395
<b>FIGURE 147 : DES ACTEURS SE PROJÉTANT DANS DIFFÉRENTS MONDES ÉCONOMIQUES, A PARTIR DE REPRESENTATIONS MULTINIVEAUX DE LEUR ESPACE D'ACTION COLLECTIVE</b> .....	404
<b>FIGURE 148 : LES SOURCES MOBILISEES POUR REPRESENTER LA REGULATION DU CHANGEMENT</b> .....	405



## INTRODUCTION GENERALE

*« Dans un avenir proche on peut imaginer une maison très économique, moulée en quelques heures, dont les éléments en plastique pourront être remplacés à mesure qu'ils s'useront. De même, on prévoit la généralisation des condensateurs d'énergie solaire, qui répondront aux besoins toujours croissants de l'humanité, ainsi que des bibliothèques où des rayons à livres auront fait place à des classeurs de microfilms de taille réduite. Enfin, on envisage la construction de villes entières protégées par d'immenses enveloppes de plastique. » (Mark, 1970, pp.22-23)*



## VERS UNE PROBLEMATIQUE MESOECONOMIQUE DE LA BIOECONOMIE

La thèse présentée concerne la formation d'un espace mésoéconomique particulier, celui de la bioéconomie, qui, bien que nouveau, s'avère irréductible à un système sectoriel d'innovation. Afin de fonder notre position de thèse et d'en établir la problématique, nous introduirons notre propos par l'exposé des raisons pour lesquelles nous avons retenu la bioéconomie en tant qu'étude de cas. Puis, nous dégagerons les faits stylisés d'une histoire de la chimie, nécessaires à la compréhension de la formation du champ de la bioéconomie. Nous serons alors conduit à la nécessité d'explorer la démarche mésoéconomique, telle qu'elle est adossée à la méthodologie d'étude de cas. Ces données nous permettront alors de livrer le plan adopté pour la thèse.

Dans un article de 2004, Geels se livre à la critique suivante du concept de système sectoriel d'innovation de Malerba (2002) : (1) Il considère que le concept néglige l'articulation entre les producteurs de technologie et les utilisateurs. En particulier, ce manque amènerait à ne pas se poser la question de la façon dont des *fonctions* économiques ou sociales sont prises en charge par les technologies (ex. habitat, transport, habillement, etc.) – question particulièrement cruciale lorsque l'on travaille dans des perspectives de transition vers la durabilité. Cela pose le problème de l'espace pertinent pour l'analyse de problèmes économiques et sociaux. (2) Il considère que le concept de système sectoriel d'innovation permet d'étudier le *fonctionnement* d'un espace spécifique donné, mais non son *changement*, autre question cruciale dans une perspective de transition. (3) Il considère que la dynamique des systèmes techniques ne peut être étudiée en soi (*i.e.* déduite de la progression linéaire de bases de connaissances techniques mises en application et diffusées), mais qu'il est nécessaire d'étudier les interactions entre ces systèmes techniques, des jeux d'acteurs porteurs d'intérêts particuliers, et des systèmes d'institutions/règles dont se dotent des acteurs, et parmi celles-ci, non seulement les institutions formelles, mais aussi des règles cognitives et des heuristiques dont se dotent les scientifiques et les technologues. (4) L'inconvénient de l'approche en termes de systèmes sectoriels est qu'elle ne donne pas les moyens de penser l'hétérogénéité en son sein<sup>1</sup> ; en particulier parce qu'elle oublie qu'à l'intérieur de l'espace considéré et entre celui-ci et l'espace économique global, les acteurs agissent à différents « niveaux » dont les hiérarchies sont enchevêtrées.

Ces questions renvoient à une problématique plus générale pour les économistes : les dynamiques de changement technologique, économique ou organisationnel se nouent dans des

---

<sup>1</sup> Comme il nous l'a indiqué lui-même lors d'un entretien aux journées du Réseau de Recherche sur l'Innovation à Montpellier en 2012, Malerba reconnaissait l'existence de cette hétérogénéité, et le problème analytique qu'elle pose, et conseillait le passage par des méthodes qualitatives pour en rendre compte alors que de son point de vue, l'intérêt de l'approche en termes de SSI est de permettre la quantification des différences intersectorielles.

espaces qui se différencient et se spécialisent. Et les économistes redécouvrent depuis quelques années l'importance de l'étude des différenciations (Lamarche *et alii*, 2016) au sein d'approches mésoéconomiques<sup>2</sup>. L'enjeu des approches mésoéconomiques est de saisir la façon dont se structurent ou se recomposent des espaces particuliers, se différenciant d'autres espaces par les types d'affrontements ou de coopération entre acteurs, en évitant de les confondre avec des secteurs ou des territoires délimités par une seule règle institutionnelle.

Afin de contribuer à ce débat, nous allons nous intéresser dans cette thèse à un espace particulier, en formation, à partir, apparemment du moins, d'une profonde dynamique de changement et de différenciation : il s'agit de l'espace de la bioéconomie, que nous définissons plus bas en première approximation. En effet, comme tout espace en formation, on assiste à un jeu de mise en récit, qui impose des constructions sémantiques, dont il importe de retrouver l'histoire, ce qui sera réalisé au cours de la thèse. La Commission européenne s'est ainsi récemment mise à utiliser le terme et a fondé un « Observatoire de la bioéconomie », à la suite d'une note stratégique sur la bioéconomie du 13 février 2012 (COM[2012] 60 final), intitulée « **L'INNOVATION AU SERVICE D'UNE CROISSANCE DURABLE : UNE BIOECONOMIE POUR L'EUROPE** »<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Ces auteurs insistent sur le fait que l'intérêt pour des démarches mésoéconomiques connaît depuis une quinzaine d'années un regain partagé par diverses communautés de chercheurs (Zezza et Llambi, 2002, Dopfer & alii, 2004 ; Elsner, 2015), chez les chercheurs des institutions internationales (Zezza et Llambi, 2002) notamment parce que dans les processus d'ajustement structurel, celles-ci ont découvert que leurs systèmes d'incitations, qu'elles soient macro ou micro, dysfonctionnaient. Mais que la question n'est pas nouvelle : dès les années 1970, des auteurs tels que Gillard (1975) et Barrère (1978) pointent la nécessité de construire conceptuellement une analyse méso a été avancée à partir des propositions suivantes : Il ne s'agit pas de « s'intercaler plus ou moins bien entre la micro et la macro-analyse » (Gillard, 1975, p.478), ni de réaliser un simple découpage en sous-ensembles « intermédiaires ». Il s'agit plutôt de les traiter en tant qu'entité analytique propre dans le cadre d'une « mésoanalyse » qui a comme objet d'investigation les espaces économiques complexes au sein desquels se nouent des dynamiques spécifiques (A. Barrère [1978]). Lamarche *et alii* (2016) pointent également que Nelson & Winter (1977) qui sont le fondement revendiqué de l'approche de Geels et Malerba (cf. leurs articles respectifs de 2002) arrivent, à partir de leurs travaux sur la théorie de l'innovation, à une conclusion identique notamment à partir du constat que la structure institutionnelle supportant l'innovation varie considérablement d'un secteur à l'autre. Lamarche *et alii* renvoient également aux travaux de l'école néo-institutionnaliste autour des méso-institutions (Ménard, 2014).

<sup>3</sup> [http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202\\_innovating\\_sustainable\\_growth\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth_fr.pdf)

### **Les promesses de la bioéconomie selon la Commission européenne**

« Afin de faire face à l'augmentation de la population mondiale, à l'épuisement rapide de nombreuses ressources, aux pressions environnementales accrues et au changement climatique, l'Europe doit adopter une approche radicalement différente de la production, de la consommation, du traitement, du stockage, du recyclage et de l'élimination des ressources biologiques. La stratégie Europe 2020 préconise de développer la bioéconomie comme élément clé d'une croissance verte et intelligente en Europe. En effet, les progrès de la recherche en matière de bioéconomie et l'adoption d'innovations permettront à l'Europe de mieux gérer ses ressources biologiques renouvelables, de créer de nouveaux marchés et de diversifier l'offre de denrées alimentaires et de bioproduits. Il y a de grands avantages à instaurer en Europe une bioéconomie, car celle-ci permettrait de préserver et de stimuler la croissance économique et l'emploi dans les zones rurales, côtières et industrielles, de limiter la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles et d'accroître la durabilité économique et environnementale de la production primaire et des industries de transformation. La bioéconomie contribue donc significativement à la réalisation des objectifs des initiatives phares d'Europe 2020. « Une Union pour l'innovation » et « Une Europe efficace dans l'utilisation des ressources ». » (Communication de la Commission, 13-02-2012, COM[2012] 60 final, p. 2)

Figure 1 : les promesses de la bioéconomie selon la Commission européenne

Cette citation indique un certain nombre d'attendus louables et montre que la préoccupation collective pour la formation d'un « espace de la bioéconomie » mérite que les économistes s'y intéressent. Néanmoins, une telle communication de la Commission au parlement européen ne peut qu'être le fruit d'un long travail d'élaboration et d'équilibre entre différentes parties prenantes. Les raisons de l'intérêt de ces parties prenantes, les poids relatifs des acteurs qui ont contribué à faire émerger la bioéconomie dans l'agenda de la Commission, et les frontières que ces acteurs donnent à l'espace considéré méritent à tout le moins d'être explicités.

La Commission a retenu la présentation suivante de la bioéconomie : « La bioéconomie constitue une bonne base pour adopter une telle approche, car elle englobe la production de ressources biologiques renouvelables et la transformation de ces ressources et des flux de déchets en produits à valeur ajoutée comme des denrées alimentaires, des aliments pour animaux, des bioproduits<sup>4</sup> et de la bioénergie. Les secteurs d'activité<sup>5</sup> qu'elle recouvre ont un fort potentiel d'innovation, car ils font appel à un large éventail de sciences, de technologies habilitantes et industrielles<sup>6</sup> ainsi que de connaissances locales et implicites. » (*Ibid.*, p.3). Si on retient ce périmètre, la bioéconomie recouvre donc des productions alimentaires et non alimentaires à partir de matières premières d'origine agricole, forestière ou marine, à destination des secteurs de l'alimentaire, de la chimie, de la pharmacie et de l'énergie. Elle pose bien la question d'une reconfiguration d'espaces économiques en les dédiant à des fonctions particulières, mais aussi d'une reconfiguration de liens intersectoriels. Ainsi, l'agriculture, qui durant toute une période a longtemps été une cliente de la chimie (pour les pesticides et les engrais) et de l'énergie d'origine fossile (du fait de la mécanisation), se voit proposer de basculer de la position de client à celle de fournisseur dans un scénario de « grande transition ». Il s'agit donc bien de

<sup>4</sup> « Les bioproduits sont des produits qui sont obtenus, totalement ou en partie, à partir de matières premières d'origine biologique, à l'exception des matières premières enfouies dans des formations géologiques et/ou fossilisées, CEN – Rapport concernant le mandat M/429. » (*idem*, p. 3, en note).

<sup>5</sup> « La bioéconomie comprend les secteurs de l'agriculture, de la sylviculture, de la pêche, de l'alimentation, de la pâte à papier et du papier, ainsi que des parties des secteurs de la chimie, des biotechnologies et de l'énergie. » (*idem*, p. 3, note).

<sup>6</sup> La bioéconomie repose sur les sciences de la vie, l'agronomie, l'écologie, les sciences de l'alimentation et les sciences sociales, les biotechnologies, la nanotechnologie, les technologies de l'information et des communications (TIC) et l'ingénierie.

considérer la bioéconomie non comme un espace stable, mais comme un espace d'organisation d'un changement particulier – qui appelle une nouvelle forme de différenciation entre espaces économiques.

Il existe de nombreux travaux sur la question des disponibilités en ressources renouvelables à même d'assurer cette « grande transition », portant sur des scénarios de gestion du dilemme alimentaire – non alimentaire (cf. par exemple, pour une réflexion de ce type, Griffon, 2015), ou sur les impasses liées aux biocarburants (Giampietro et Mayumi, 2009). Nous allons quant à nous, non pas nous intéresser à l'ensemble des dimensions revêtues par le changement, mais concentrer notre étude sur la façon dont des acteurs *situés* ont cherché à recomposer le lien entre agriculture et chimie, à travers la construction sociale de l'espace organisé autour d'un artefact technique, la bioraffinerie, pour aboutir à la narration du changement vers une bioéconomie<sup>7</sup>. Cela nécessite un détour par une histoire de la chimie, qui l'interprète d'un point de vue d'économiste<sup>8</sup>.

### La chimie comme « discipline » de substitution

La chimie – contrairement peut-être à d'autres sciences – émerge et se structure simultanément en tant que science et comme activité économique dans des situations de résolution de problèmes concrets (Grossetti et Deprez, 2000). On peut dater cette naissance symbiotique d'une discipline scientifique et d'une industrie au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, dans l'univers des encyclopédistes français et du courant des Lumières, et montrer qu'elle est intrinsèquement liée à la question économique de la substitution.

Par exemple, jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, la production française de soude « *nécessaire au fonctionnement des savonneries, verreries, papeteries, teintureries, en brûlant des matières végétales, varech, salicorne (...)* dont les cendres contenaient environ 20 % à 33 % de carbonate de sodium. La France était largement dépendante de l'étranger puisqu'elle importait deux tiers des matières premières nécessaires à la production des alcalis. » (Bensaude-Vincent et Stengers, 2001 [1992], p. 208). Pour desserrer cette contrainte, l'Académie royale des Sciences lança un concours en 1781 visant à produire de la soude à partir de sel de mer. N. Leblanc remporta ce concours en 1789 avec un procédé qui porte désormais son nom. Il obtint d'ailleurs en 1791 un des premiers brevets issus du droit de la propriété industrielle adopté par l'Assemblée constituante<sup>9</sup>. Bensaude-Vincent et Stengers (*ibid.*, p. 209)

---

<sup>7</sup> La présente étude s'inscrit dans le prolongement d'un projet ANR intitulé « une Approche Economique de l'intégration des dimensions socio-économiques et techniques dans les Programmes de Recherche en Chimie Doublement Verte » (AEPRC2V) qui avait la particularité d'être une recherche dirigée par des économistes au sein du programme de l'ANR Chimie et Procédés Pour le Développement Durable (CP2D). L'objet de cette recherche était d'étudier la façon dont les projets de recherche scientifiques intégraient les dimensions technologiques (complémentarités ou rupture), économiques (relations aux acteurs économiques) et sociales (notamment la question écologique) au sein de leurs orientations. On justifiera plus loin l'appellation « chimie doublement verte ».

<sup>8</sup> L'histoire de la chimie est un domaine particulier pour l'économiste, lorsqu'il la découvre : celle-ci est souvent centrée sur l'histoire des entrepreneurs dans une approche très schumpétérienne de l'innovation (cf. Caron, 2010). Il se pose alors comme le disent Bensaude-Vincent et Stengers (1992), le problème de la reconstitution des trajectoires de la chimie au-delà de celle des entrepreneurs qui peuvent les incarner à un moment donné. C'est pourquoi nous nous appuyons très largement sur leur ouvrage pour mettre en relief les dynamiques de longue période qui permettent de comprendre les transformations de la chimie dans son mode de production de connaissances et d'activités économiques.

<sup>9</sup> Le procédé Leblanc repose sur une réaction de sel marin et d'acide sulfurique dans un récipient de plomb produisant alors du sulfate de sodium, ensuite mélangé et chauffé avec du charbon et du calcaire jusqu'à obtention

analysent cette invention ainsi : « *L'innovation réside dans la nature même des transformations opérées. Leblanc n'a pas « extrait » la soude, il a fabriqué de la « soude factice ». Le procédé Leblanc peut prendre à juste titre la dimension d'un évènement fondateur : (...) [il] marque le début d'une époque nouvelle – celle des produits de substitution.* »<sup>10</sup>.

Cela invite à comprendre la chimie comme une « discipline » de substitution. Discipline, non seulement au sens académique du terme, mais aussi comme un effort discipliné orienté vers la recherche de substitutions. L'ouvrage de Bensaude-Vincent et Stengers en fournit deux exemples qui permettent de saisir combien l'orientation par la substitution est structurante en chimie, à propos des colorants et des caoutchoucs notamment. Notre réflexion sera ainsi amenée à les solliciter plus avant.

Les colorants comme exemple de la mise en place d'une recherche programmée par une logique de substitution

L'histoire de l'émergence des colorants synthétiques au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle présente un double intérêt pour nous. D'abord ceux-ci vont être produits à partir de la valorisation de coproduits qui constituaient des déchets (goudrons de houille) dans le contexte de l'expansion de l'industrie des gaz de houille pour la fourniture d'éclairage public. On estime qu'environ 20 % de la houille distillée était transformée en gaz, ce qui laissait donc de grandes quantités de coproduits. D'autre part, ceux-ci vont donner lieu au développement de liens étroits entre recherche et entreprise. S'appuyant sur les connaissances héritées de l'ouvrage fondateur de Berthollet paru en 1791 **ÉLÉMENTS DE L'ART DE LA TEINTURE**, et de tâtonnements successifs, on parvint avec Perkin en 1858, à produire un mélange à base d'aniline permettant de colorer la soie, et par la suite également le coton et la laine. Le déploiement de la technologie à base d'aniline permet la découverte d'un grand nombre de colorants se comptant bientôt par centaines, et constitue la base du développement de l'industrie des colorants de synthèse, qui servent pour produire une grande quantité de bleus, violets, mauves et rouges, et quelques noirs, bruns et verts. On assiste donc dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle à un grand mouvement de remplacement des teintures d'origine naturelle par des produits issus de la chimie du charbon<sup>11</sup>. C'est ce mouvement que nous qualifions à la suite de l'expression de Bensaude-Vincent et Stengers d'émergence d'une ère de la « recherche programmée » grâce à la « synthèse programmée » (pour reprendre les notions de Bensaude-Vincent et Stengers). Cela la différencie de la période précédente rythmée par des inventions que l'on pourrait qualifier de presque livrées au hasard comme pour le mauve de Perkin. Ainsi, la production d'indigo synthétique a nécessité trente ans de recherche avant de pouvoir être commercialisée.

---

de soude.

<sup>10</sup> Surligné par nous.

<sup>11</sup> Ce mouvement est à l'origine de la création de la chimie allemande. Des chimistes allemands venus développer des industries à Manchester où furent développés les colorants de deuxième génération ramenèrent en Allemagne des techniques de production. La création des *Technische Hochschule* et du *Kaiser Wilhelm Gesellschaft Institut* financé par les entreprises, mais dirigé par l'État, contribuèrent à sceller l'accord Etat-Chimie en Allemagne, et permirent ainsi aux firmes (comme Bayer et BASF) d'orienter en fonction de leurs besoins la formation des ingénieurs et des chercheurs.

Le caoutchouc, entre maîtrise colonialiste de territoires et de ressources naturelles et substitution

Le caoutchouc, dont l'utilisation était connue depuis les Mayas, connaît avec l'invention du procédé de vulcanisation (chauffage au-dessus du point de fusion et ajout de soufre pour obtenir un caoutchouc élastique et résistant aux variations de température) la diffusion bien connue liée au développement des transports. Il s'agit donc de l'exemple d'un procédé chimique de traitement d'une ressource naturelle qui lui apporte des fonctionnalités attendues. Son développement fit de la maîtrise des territoires producteurs d'hévéas un élément central de la géostratégie des nations : les Anglais sortirent d'Amazonie des graines par contrebande et les replantèrent des souches d'hévéas en Asie.

La recherche sur des substituts synthétiques a essentiellement été portée par la volonté d'échapper aux variations du prix de la matière première dès avant la Première Guerre mondiale. Les Allemands, privés d'accès aux territoires coloniaux, vont développer une recherche particulièrement active, qui aboutit à l'utilisation d'un gaz abondant et bon marché en carbochimie et pétrochimie, et l'une des vedettes actuelles de la recherche de substitution par des voies de biologie de synthèse : le butadiène. Tandis que DuPont dote un chercheur, Carothers, de moyens considérables (qui débouchent également sur la création du nylon) pour atteindre ces substituts synthétiques. La Seconde Guerre mondiale constitue un formidable accélérateur de la « recherche programmée ». Tandis que les Allemands échappent au blocus grâce à leur production de caoutchouc synthétique, les Américains sont contraints, du fait des territoires perdus par les alliés en Extrême-Orient, de réaliser une formidable mobilisation pour trouver des substituts. Ils dotèrent un « tsar du caoutchouc » de pouvoirs très étendus et mobilisèrent tous les services de recherche des facultés et des entreprises privées : « *Le butadiène et le styrène dont ils avaient besoin pouvaient être extraits non seulement du pétrole, mais aussi de l'alcool ; une grande partie des récoltes de céréales, pomme de terre, mélasse et autres hydrates de carbone fut affectée à cet usage. (...) Le problème posé au début de la guerre par la pénurie de caoutchouc était résolu à coup de milliards.* » (Mark, 1970, p. 139-140).

Or, cet exemple est tout à fait intéressant pour ce qui nous occupe ici, à savoir la transition vers l'usage de ressources renouvelables : un certain nombre de produits peuvent en chimie être obtenus indifféremment par des ressources carbonées d'origine fossile ou d'origine naturelle, et ce depuis fort longtemps. La suite est une question de prix relatifs dans les jeux de substitution, avec bien sûr un avantage pour les produits d'origine fossile – éventuellement en tenant compte du fait que certaines fonctionnalités ne peuvent être atteintes par des sources fossiles à des prix acceptables, et donc que dans un certain nombre de cas l'origine naturelle se maintient. Mais dans les deux cas, les chaînes carbonées sont transformées par la chimie de synthèse, que ce soit du carbone fossile ou du carbone « bio ».

Nous nous permettons d'insister sur ce point important. Le caoutchouc naturel est un polymère qui ne disparaît pas et compte encore pour 20 % des usages (contre 75 % en 1950), car les caoutchoucs synthétiques et naturels sont différents dans leur structure chimique et n'offrent pas les mêmes fonctionnalités, du moins à des prix acceptables. En revanche, il existe des voies de substitution par la chimie de synthèse des caoutchoucs naturels par des produits « biosourcés ». Ces voies consistent dans la production du précurseur dans la chimie de synthèse du caoutchouc, le butadiène, puis dans la construction de la structure du polymère par de la chimie de synthèse. Il faut donc différencier le polymère naturel de produits « biosourcés », mais qui sont issus de la reconstruction

chimique qui sont, de fait, des polymères synthétiques au même titre que les polymères issus de matière première fossile.

#### **Une hyperconcurrence des matières premières et des process**

Si l'on note aujourd'hui un regain d'intérêt pour les caoutchoucs naturels en raison des prévisions d'une pénurie de butadiène issu des perturbations générées par l'émergence des gaz de schiste, on doit aussi noter donc l'intérêt pour l'obtention de monomères précurseurs de la part de firmes de la chimie ou des pneus : Goodyear et Genencor travaillent sur l'obtention d'isoprène pour obtenir du butadiène (tout comme Lanxess et Gevo). Michelin a un accord avec Amyris sur de l'isoprène, mais la firme clermontoise développe également un projet sur le butadiène. Mais l'entreprise a aussi développé une joint-venture avec Barito Pacific pour acquérir trois concessions d'hévéa à Sumatra et Bornéo afin de lutter contre « une déforestation incontrôlée »). Diverses firmes ont un accord avec Global Bioénergies, une firme des biotech les plus avancées en biologie de synthèse aujourd'hui sur la production de butadiène biosourcé. Pour ces produits, il est également envisagé d'utiliser des charges ou des plastifiants d'origine biosourcée (comme des huiles végétales ou l'isosorbide en remplacement des phtalates utilisés dans certains caoutchoucs) par des firmes telles que Roquette ou Novamont.

Figure 2 : une illustration de l'hyperconcurrence entre matières premières et process

Il se dégage donc quatre trajectoires de substitution : la première est le remplacement d'un produit d'origine naturelle (au sens un polymère naturel qui était fonctionnalisé pour répondre à un besoin<sup>12</sup>) par un produit d'origine synthétique aux fonctionnalités économiques équivalentes du premier. La deuxième relève du « biomimétisme » : il s'agit de copier la structure du produit naturel en assemblant sa structure polymérique à partir de précurseurs d'origine fossile.<sup>13</sup> La troisième est la tentative de copie des produits souvent d'origine fossile, mais pas toujours, par des produits de synthèse faits à partir de précurseurs biosourcés<sup>14</sup>. La quatrième consiste à extraire, mais à conserver sous leur forme originelle des macromolécules<sup>15</sup> ou les grands composants de la plante (amidon ou cellulose), pour les fonctionnaliser afin de concurrencer des produits synthétiques d'origine fossile voire biosourcée – comme on peut l'observer aujourd'hui sur des amidons fonctionnalisés venant concurrencer des PVC qui peuvent être fait par des voies biosourcées ou fossiles (Nieddu *et alii*, 2014).

Justifions maintenant la raison pour laquelle nous attachons une importance particulière à ce constat dans le contexte technique de la bioéconomie, mais aussi en tant qu'économiste. En effet, si l'on reconnaît ce fait stylisé que nous avons souhaité dégager – le fait que considérer la chimie en tant que « discipline de substitution » que se donnent les acteurs –, il importe de reconnaître la nécessité d'en analyser les trajectoires en tant que *régimes de production de connaissances et d'activités économiques*, d'identifier les acteurs qui s'en emparent, et de comprendre les ressorts de leurs actions. En effet, la logique de substitution menée dans des directions données suppose de produire des connaissances orientées et d'explorer le passage à l'industrialisation de réactions permettant la substitution réalisée en laboratoire. Or, ces directions ne sont pas données au hasard (par des avancées scientifiques relevant du hasard de la sérendipité par exemple), mais elles procèdent de stratégies d'acteurs présents dans le champ dont il importe de comprendre les logiques (chercher à

<sup>12</sup> Par exemple la vulcanisation permettant de doter le caoutchouc naturel des fonctionnalités requises pour les pneus.

<sup>13</sup> L'exemple le plus médiatisé avait été en son temps un vernis d'origine pétrochimique, mimant les effets de la peau de requin pour donner une meilleure aérodynamique aux avions.

<sup>14</sup> Le pneumatique synthétique, mais à base d'alcool agricole.

<sup>15</sup> C'est ce qui est fait pour les parfums, mais aussi pour les huiles.

écouler une matière première excédentaire, venir dominer un marché par une position de monopole, satisfaire un besoin, etc.).

Comment les produits d'origine agricole sont-ils revenus au cœur de la chimie ?

Il est possible de reprendre ici les attendus du texte de 2012 de la Commission reliant la bioéconomie aux questions écologiques (« à l'épuisement rapide de nombreuses ressources, aux pressions environnementales accrues et au changement climatique », COM 2012, *op. cit.*, p. 2). Pour l'étude que nous menons – rappelons que la thèse ne traite ni des questions alimentaires ni des questions de biocarburants –, aurait pu être envisagé le retour des produits agricoles au champ de la *chimie verte*. On en vient alors à un autre terme mobilisé dans les sémantiques liées à la construction de visions de la transition, dont on ne peut saisir le sens qu'en retraçant l'histoire de son émergence et de son inscription dans des dispositifs institutionnels. En effet, la chimie verte peut être comprise spontanément, comme une chimie respectueuse de l'environnement ou comme une chimie du végétal. Par exemple, Garnier (2012) note que dans l'ouvrage de Colonna *et alii* (2007) destiné à dresser un état de l'art de la chimie verte, ne sont décrites que des réalisations en chimie du végétal. Dans cet état de l'art, certaines voies présentées visent à substituer des produits naturels (telle que la vanille) par des produits industriels à partir de ressources végétales des pays du Nord, pour servir d'additifs alimentaires à bas coût. D'autres, selon les entretiens avec des chimistes recueillis alors, méritent à tout le moins un inventaire au sujet du caractère toxique ou non de certains procédés.

D'où vient la chimie verte ?

L'appellation « chimie verte »<sup>16</sup> doit être vue comme une construction institutionnelle particulière, qui importée des États-Unis, se diffuse dans l'ensemble du monde académique et industriel, et l'on peut considérer aujourd'hui que tout chimiste de laboratoire d'entreprise ou d'université connaît les douze principes de chimie verte.

Afin de comprendre cette construction institutionnelle, il faut se souvenir que la chimie a longtemps été l'incarnation de la modernité. La chimie est consubstantielle à l'idée d'un progrès continu. Or, cette idée de modernité traverse à partir du dernier quart du XXe siècle, une violente crise alimentée par les séries de catastrophes et de pollutions que l'activité chimique engendre<sup>17</sup>. Malgré ses extraordinaires réalisations, la chimie est pointée du doigt à tel point que l'ouvrage fondateur de la contestation du paradigme du progrès porté par le complexe science-industrie, **SILENT SPRING** de R. Carlson (1962), qui affronte le géant de la chimie sur le DDT Dupont de Nemours suscite, et suscite encore une véritable haine comme on peut le voir sur blog du *think thank* libertarien *Competitive Enterprise Institute*.

---

<sup>16</sup> Nous nous inspirons ici des travaux du laboratoire REGARDS, notamment de Garnier (2012) pour son premier chapitre de thèse, et de Nieddu *et alii* (2014 dans *Nature, Sciences et Société*).

<sup>17</sup> Témoin de ce profond malaise, l'**année internationale de la chimie 2011** (en anglais *International Year of Chemistry* ou IYC 2011) a été proclamée par l'assemblée générale des Nations unies avait retenu pour thème « Chimie- notre vie, notre avenir », pour célébrer les réalisations de la chimie et sa contribution à l'amélioration des conditions de vie de l'humanité...

Afin de contenir la polémique, Nixon créa l'Environmental Protection Agency (EPA) en 1970, ouvrant ainsi une autre controverse sur les outils de politique publique les plus à même de contenir accidents et pollutions. Les entreprises plaident alors pour des solutions de « soft-law » plutôt que pour des contraintes réglementaires, à travers des initiatives volontaires comme *Responsible Care*, une initiative de l'industrie chimique canadienne qui va être reconnue au niveau mondial et inscrite dans une charte des Nations-Unis. Elles critiquaient notamment les réglementations qui bloquaient l'innovation et selon elles aboutissaient à promouvoir des adaptations *end-of pipe*<sup>18</sup>. C'est dans ce contexte que s'affrontent sur le terrain sémantique, plusieurs conceptions de la chimie réduisant à la source les pollutions. Le champ sémantique a également été envahi par différentes appellations : *sustainable chemistry* ou encore *environmental chemistry*, *chimie écocpatible*, *chimie durable*, *chimie douce*, etc. ont précédé l'usage du terme *green chemistry* (ou « chimie verte »)<sup>19</sup>. Cette réponse institutionnelle est venue de l'adoption du *Pollution Prevention Act* en 1990 et de l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (EPA) d'une méthodologie fixant 12 principes de chimie verte :

---

<sup>18</sup> Le pot catalytique, imposé par l'industrie automobile allemande contre les stratégies de recherche sur les moteurs propres est du point de vue du chimiste une très belle innovation *end of pipe* : elle ne réduit pas la pollution à la source (le moteur), mais la filtre à la sortie.

<sup>19</sup> On en retrouve encore certaines et notamment chimie durable. Désormais, l'utilisation d'une expression autre que chimie verte marque généralement l'appartenance à une communauté de chimistes critiques de la chimie verte. Pour un aperçu des débats qui peuvent exister sur la chimie verte, le lecteur peut se reporter utilement à **LA CHIMIE DURABLE : AU-DELA DES PROMESSES** (Maxim, 2010). Le sous-titre (« au-delà des promesses ») fait implicitement référence à une évaluation critique de la chimie verte.

1. Prévention : il vaut mieux produire moins de déchets qu'investir dans l'assainissement ou leur élimination.
2. L'économie d'atomes : les synthèses doivent être conçues dans le but de maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final.
3. Lorsque c'est possible, les méthodes de synthèse doivent être conçues pour utiliser et créer des substances faiblement ou non toxiques pour les humains et sans conséquence sur l'environnement.
4. Les produits chimiques doivent être conçus de manière à remplir leur fonction désirée tout en minimisant leur toxicité.
5. Autant que possible, il faut rendre l'utilisation de substances auxiliaires (solvants, agents de séparation...) inutile et lorsqu'on en utilise, [que ce soient] des substances inoffensives.
6. Les besoins énergétiques des procédés chimiques doivent être reconnus pour leurs impacts sur l'économie et l'environnement, et doivent être minimisés. Si possible, les réactions de synthèse doivent être conduites dans les conditions de température et de pression ambiantes.
7. Lorsque c'est technologiquement ou économiquement praticable, les matières premières utilisées doivent être renouvelables plutôt que non renouvelables.
8. Lorsque c'est possible, toute déviation inutile du schéma de synthèse (utilisation d'agents bloquants, protection/déprotection, modification temporaire du procédé physique/chimique) doit être réduite ou éliminée parce que chaque étape requiert des agents additionnels et peut générer des déchets.
9. Les réactifs catalytiques (aussi sélectifs que possible) sont plus efficaces que les réactifs stœchiométriques.
10. Les produits chimiques doivent être conçus de façon à pouvoir se dissocier en produits de dégradation non nocifs à la fin de leur durée d'utilisation, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement.
11. Des méthodologies analytiques doivent être élaborées afin de permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production, avant qu'il y ait apparition de substances dangereuses.
12. Les substances et la forme des substances utilisées dans un procédé chimique devraient être choisies de façon à minimiser les risques d'accidents chimiques, incluant les rejets, les explosions et les incendies.

Figure 3 : Les 12 principes de la chimie verte, selon Anastas & Warner (1998) (repris par Maxim & Rico-Lattes [2013, p. 646-647])

Ces douze principes sont apparus aux chercheurs de l'ANR AEPRC2V, comme les tables de la loi : elles révèlent une logique messianique, destinée à convaincre les acteurs d'utiliser ce cadre cognitif, ancré dans la mentalité américaine ; mais comme les tables de la loi, certains principes sont plus appliqués que d'autres et chaque acteur peut choisir ceux qu'il pense atteignable, qu'il doit respecter absolument (« *tu ne tueras point* »), et ceux avec lesquels il peut prendre des accommodements<sup>20</sup>. On aura noté que le 7<sup>e</sup> principe est celui de la substitution, autant que faire se peut des ressources fossiles par des ressources renouvelables. Le « autant que faire se peut » s'inscrit donc dans les capacités techniques et économiques des acteurs, mais aussi dans leur degré de proximité à ces ressources. Il importe donc de se placer de ce point de vue.

<sup>20</sup> Lors d'un *workshop* du *focus group* tenu en mai 2011 dans l'ANR AEPRC2V, les chimistes ont confirmé cette application variable, certains reprochant à la chimie verte de tolérer qu'on ne respecte deux ou trois principes parmi les douze. Ce qui ouvre à l'étude de compromis situés dans les régimes de production de connaissances et d'activités économiques.

## La recherche de débouchés pour les produits agricoles

C'est au tournant des années 2000 que ce septième principe est devenu dominant dans les publications scientifiques ou les prix remis aux entreprises pour des actions de chimie verte (Garnier, 2012 ; Béfort *et alii*, 2012), dont un prix remis à Monsanto en 1999 pour l'amélioration selon le principe d'économie d'atomes de son procédé de production du Round-up. Néanmoins, l'imposition de la thématique du végétal dans le mouvement de la chimie verte doit être en réalité lue, non à l'aune d'un hypothétique manque de pétrole — thème récurrent tout au long du XX<sup>e</sup> siècle sur sa probable disparition, mais comme le résultat de la stratégie de substitution des agro-industries. Il est clair que ce n'est pas pour des raisons environnementales, mais en raison des excédents structurels de productions agricoles que les agro-industries considèrent les chocs pétroliers comme des opportunités pour réexplorer les logiques de substitution passées.

Deux raisons permettent d'expliquer cette poussée (Nieddu *et alii*, 2010). La première est que les agro-industries maîtrisent les transformations de l'usage du végétal et conservent le « souvenir » de valorisations non alimentaires du végétal issues des deux guerres mondiales comme la production de carburants liquides d'origine végétale<sup>21</sup>. La seconde raison tient au fait que les agro-industries savent « *construire des circuits économiques de première transformation et de livraison de produits agro-industriels intermédiaires (par exemple l'amidon entrant dans l'industrie alimentaire ou papetière)* » (Nieddu *et alii*, *ibid.*, p. 664). Ces agro-industries s'emparent très tôt de la recherche de valorisations non alimentaires du végétal comme le montrent des numéros spéciaux de revue d'économie du début des années 1980 sur ce qui est appelé alors les bio-industries, comme on le verra au début de la deuxième partie. Cela amène certains auteurs de ce dossier à noter que « *beaucoup de termes traditionnels prennent un air nouveau, une fois précédés du préfixe « bio »* » (Danielou et Broun, 1981, p. 14). Derrière cette remarque, se trouve l'idée que les « bio-industries » partent de savoirs anciens, comme la fermentation, pour éventuellement construire à partir d'avancées scientifiques nouvelles. Nieddu (2000) décrit des efforts de formation de projets démonstratifs et de mise en cohérence de segments de filières en vue d'écouler les excédents de production de l'agriculture productiviste dans des domaines variés comme les biocarburants ou l'amidon modifié<sup>22</sup>. On voit donc que les agro-industries ont cherché à problématiser leur espace (Jullien et Smith, 2012) dans la mesure où elles ont interrogé la formation de débouchés pour leurs productions, et ont mobilisé pour cela des ressources variées : institutionnelles (appel au soutien de l'État par exemple), assemblages de compétences scientifiques et technologiques, constitution de visions partagées et développement d'outils de production (plateformes de démonstration par exemple).

---

<sup>21</sup> Nous montrerons un peu plus loin qu'en réalité, les usages non alimentaires du végétal n'ont pas disparu, mais ont été largement dominés par l'usage du pétrole après la Seconde Guerre mondiale.

<sup>22</sup> Ces domaines sont variés, car ils renvoient à des techniques de production très différentes. Dans le cas des biocarburants, il s'agit essentiellement de fractionner la plante avec des techniques comme la pyrolyse alors que dans le second cas, il s'agit d'utiliser la complexité de l'amidon pour réussir à produire des plastiques.

## La coordination de la substitution à travers un objet technique : la bioraffinerie : convergence ou diversité des process

On assiste au tournant des années 2000 à la rencontre des deux dynamiques exposées plus haut (contestation de la chimie et recherche de débouchés pour les agro-industries) à travers la mise en place d'un certain nombre de travaux collectifs réunissant des acteurs de la chimie et des agro-industries ainsi que des nouveaux entrants, les acteurs des biotechnologies. La conjonction de ces grands mouvements donne ainsi naissance à une problématique qui n'est pas celle de la chimie verte (comment réussir à produire une chimie soutenable ?) ni de la seule transition vers l'usage de ressources renouvelables. Il s'agit pour les acteurs d'interroger la façon dont ils pourront rendre soutenables économiquement les opérations de substitution qui les agitent — et secondairement, si possible de rendre soutenable écologiquement la chimie du végétal.

Néanmoins, il convient de souligner que la bioraffinerie en tant qu'objet technique, mais aussi en tant qu'objet cognitif destiné à penser la substitution, apparaît *avant* que ces trois grandes tendances ne se rencontrent. Pour cela, les acteurs problématisent leur construction de la bioraffinerie en tentant d'articuler [matières premières/process/produits] (Garnier, 2012) d'une façon soutenable. C'est à l'occasion de l'étude de ce mouvement que Nieddu *et alii* (cf. 2010, 2014) forgent le concept de *chimie double verte*. Il ne s'agissait pas de désigner un secteur en émergence, mais un espace de tensions où les acteurs de la chimie du végétal cherchent à rendre soutenable économiquement le processus de substitution – substitution de produits d'origine fossile, mais aussi de produits d'origine naturelle ; ceux-ci sont remplacés par des produits issus du fractionnement, qui est la grande opération technique que réalise la bioraffinerie avant de reformer des carburants et des produits de synthèse pour la chimie d'aval.

Alors que la littérature d'inspiration évolutionniste sur les verrous technologiques ou issus du *transition management* nous inviterait à penser que les acteurs tendent à converger vers un *dominant design*, les travaux de l'équipe rémoise spécialisée dans la bioéconomie ont interrogé cette représentation. Afin de poursuivre l'exposé du contexte dans lequel notre étude prend place, et celui des questions posées par l'émergence d'un espace de la bioéconomie, nous exposons ici ce qui est entendu par le terme de « bioraffinerie » et la façon dont nous proposons de travailler sur cet objet.

### La bioraffinerie comme récit organisateur de la transition

La littérature en chimie qui cherche à définir le concept de bioraffinerie (Kamm *et alii*, 2006 ; Clark et Deswarte, 2008) en propose une vision linéaire, d'ordre plus pédagogique que correspondant à une réalité de terrain, en trois générations de bioraffinerie (Nieddu *et alii*, 2010). La première génération de bioraffinerie se serait développée à partir du début des années 1990 pour la seule production de carburants liquides autour de l'idée qu'une seule matière première ne devait produire qu'un seul produit. Mais cette stratégie néglige le fait que la production génère des coproduits – comme nous l'avons montré précédemment – et les acteurs ont donc obtenu du furfural en plus de l'éthanol ou du glycérol dans le cas des biodiesels. Le furfural est utilisé comme solvant dans la pétrochimie ou comme des arômes chocolat, beurre, cannelle, etc. dans l'agroalimentaire<sup>23</sup>. Si le glycérol est un corps gras « naturel », il est aussi obtenu par voie pétrochimique à partir de propylène.

---

<sup>23</sup> Par ailleurs, des études semblent montrer que le furfural pourrait être cancérigène et mutagène.

Cela qui ouvre la voie pour un retour au produit biosourcé, et être utilisé comme dans la pharmacie, dans les cosmétiques (agent hydratant, solvant, lubrifiant ; dans les dentifrices, crèmes hydratantes ; dans les savons de Marseille), comme plastifiant dans le papier, comme lubrifiant dans les fibres ou encore dans les liquides de cigarettes électroniques. Le développement de la production de biocarburants a conduit à une explosion de la production de glycérol qui a remplacé assez naturellement le glycérol d'origine fossile (Bauer et Hulteberg, 2013).

La deuxième génération de bioraffinerie serait donc toujours fondée sur une matière première unique, mais aussi, sur l'exploitation de l'ensemble des coproduits issu de cette production. L'idée étant que la situation économique des biocarburants dépend des prix du pétrole : en période de baisse du prix de pétrole, il serait plus rentable de produire des molécules à plus forte valeur ajoutée, en raison des coûts de production élevés pour les biocarburants. Nous avons pu constater que les acteurs utilisent cet argument du prix dans leurs discours pour justifier l'abandon de l'exploration d'une voie technologique dans leur portefeuille<sup>24</sup> ou alors pour porter de nouvelles promesses technico-économiques sur des molécules (cf. notre veille documentaire). Par conséquent, les acteurs cherchent à rentabiliser la production de carburants liquides par la valorisation de coproduits. Ils vont alors se livrer à de véritables inventaires : molécules chimiques porteuses elles aussi de promesses technico-économiques comme le 1,3 propanediol (pour les polyuréthanes), l'épichlorohydrine, l'éthanol et de la nourriture animale (cf. FAO, 2012). Cette deuxième génération devait prendre place rapidement à la suite de la première, mais Nieddu *et alii* (2014) rapportent que les experts affirment que certaines de ces unités de production n'en sont qu'au stade de la démonstration.

La troisième génération de bioraffinerie serait capable, sur un même site, d'utiliser une variété de produits avec une variété de technologies de transformation. En fonction des variations des prix relatifs, les itinéraires de production seraient modifiés pouvant conduire à une inversion des hiérarchies entre produits et coproduits. Et cela afin de « *sélectionner la combinaison la plus rentable des matières premières et des procédés de façon quasi instantanée repose sur la vision d'un outil de production idéal, car parfaitement adaptable aux fluctuations de marché.* » (Nieddu *et alii*, 2014, p. 968). Les auteurs poursuivent en interprétant ce récit non comme une réalité historique, mais plutôt comme une proposition visant à structurer les réflexions autour d'un point de départ qui est celui des chocs pétroliers des années 1970. En ce sens, cette représentation montre que deux sources de variété se dessinent : les origines de la biomasse (plantations dédiées comme les céréales, l'huile de palme ou la betterave), des matières premières de l'agroalimentaire ou de l'alimentaire (déchets de poulet, du lait, huiles de cuisson) ou encore des sous-produits de l'agriculture (pailles, bagasse) ; les procédés peuvent être, dans ces représentations, soit thermochimiques, soit biologiques. C'est-à-dire qu'ils reposent tous deux sur des façons de concevoir la chimie héritée de la pétrochimie consistant en une première étape de fractionnement en une série de molécules qui seront ensuite reformées en des molécules d'intérêt. Ce point est donc le nœud du problème comme le montre le besoin qu'ont les acteurs de théoriser leur entrée dans la problématique de la bioraffinerie.

---

<sup>24</sup> Nous l'avons constaté par exemple lors d'un entretien avec un responsable d'une firme espagnole de la pétrochimie.

Le *backcasting* : une technologie sociale de qualification des produits et procédés

La méthode déployée est celle du *backcasting* : il s'agit d'une méthode de planification, inspirée du management des organisations d'une part et de l'organisation de la production d'énergie d'autre part (Robinson, 1982)<sup>25</sup>, qui part d'une vision du futur à atteindre et procède par rétropolation. Cette technique s'appuie sur la définition de visions du futur à partir desquelles sont identifiés les « chemins » pour les atteindre, chemins traduits par l'identification de verrous technologiques à lever à partir des « niches d'innovation désirables » (pour reprendre l'expression de Nieddu et Vivien, 2015) identifiées. Cette démarche va d'abord être mobilisée aux États-Unis dès 1999. Un premier programme de *backcasting* conduisit à la production du rapport **PLANT/CROP-BASED RENEWABLE RESOURCES 2020**. Ce rapport installe l'idée qu'il pourrait être opportun pour les États-Unis, en vue de préserver leur indépendance énergétique et soutenir leur agriculture, de développer les usages non alimentaires du végétal. Elle va continuer d'être déclinée aux États-Unis dans le rapport **TOP VALUE ADDED CHEMICALS FROM BIOMASS** (Werpy et Petersen, 2004). Copiant l'organisation de la production dans la pétrochimie entre une première transformation produisant une série de molécules plateformes qui sont ensuite reformées en produits intermédiaires, ce rapport formule l'idée qu'il est nécessaire d'identifier les molécules biosourcées à même de prendre en charge la transition. Pour cela, une série de 300 molécules a été identifiée et passée en revue. À partir de cette liste, trente molécules ont été ciblées, qui ont ensuite été réduites à douze, donnant naissance au *top 12*, ensuite révisé par Bozell et Petersen (2009) pour en faire un *top 10* des molécules d'intérêt. Celles-ci constitueraient donc la base de l'opération de substitution des candidats destinés à remplacer les grands produits de la première étape de la chimie du pétrole :

---

<sup>25</sup> J. Robinson, Energy backcasting: a proposed method of policy analysis. Energy Policy 10 4 (1982), p. 337–344.

Tableau 1 : comparaison entre intermédiaires de la chimie du pétrole et du végétal

<b>Les grands intermédiaires de base de la raffinerie pétrolière à partir desquelles se fait toute la chimie de commodité et spécialité</b>	<b>Les intermédiaires pouvant être obtenus en bioraffinerie, candidats à des substitutions</b>													
<p>Lors du vapocraquage des hydrocarbures, eux-mêmes obtenus par distillation du pétrole, on obtient les <i>briques élémentaires</i> qui constituent la base de l'industrie pétrochimique. Ce sont des hydrocarbures C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> (éthylène, propylène, butènes, butadiène) et les hydrocarbures aromatiques « BTX » (benzène, toluène et xylènes).</p> <p>Attention, plusieurs de ces intermédiaires peuvent être obtenus par voie pétrochimique, mais aussi biosourcée (éthylène, butadiène), de même qu'on peut obtenir des produits de la liste de droite par voie pétrochimique (comme glycérol, acide succinique)</p>	<table border="1" data-bbox="823 362 1209 734"> <thead> <tr> <th data-bbox="823 362 1209 405">Building Blocks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td data-bbox="823 405 1209 434">1,4 succinic, fumaric and malic acids</td></tr> <tr><td data-bbox="823 434 1209 463">2,5 furan dicarboxylic acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 463 1209 492">3 hydroxy propionic acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 492 1209 521">aspartic acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 521 1209 551">glucaric acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 551 1209 580">glutamic acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 580 1209 609">itaconic acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 609 1209 638">levulinic acid</td></tr> <tr><td data-bbox="823 638 1209 667">3-hydroxybutyrolactone</td></tr> <tr><td data-bbox="823 667 1209 696">glycerol</td></tr> <tr><td data-bbox="823 696 1209 725">sorbitol</td></tr> <tr><td data-bbox="823 725 1209 734">xylitol/arabinitol</td></tr> </tbody> </table> <p>Attention, plusieurs de ces intermédiaires peuvent être obtenus les uns à partir des autres (comme l'acide succinique à partir d'acide lévulinique)</p>	Building Blocks	1,4 succinic, fumaric and malic acids	2,5 furan dicarboxylic acid	3 hydroxy propionic acid	aspartic acid	glucaric acid	glutamic acid	itaconic acid	levulinic acid	3-hydroxybutyrolactone	glycerol	sorbitol	xylitol/arabinitol
Building Blocks														
1,4 succinic, fumaric and malic acids														
2,5 furan dicarboxylic acid														
3 hydroxy propionic acid														
aspartic acid														
glucaric acid														
glutamic acid														
itaconic acid														
levulinic acid														
3-hydroxybutyrolactone														
glycerol														
sorbitol														
xylitol/arabinitol														
<p>Pour les mêmes usages en chimie de commodité ou spécialités</p> <p>Par ex. : polyéthylène, polystyrène, PVC, caoutchouc synthétique</p>														

À ces molécules sont associées directement des verrous technologiques à lever, c'est-à-dire que la normativité joue dans le sens où le fait d'appartenir au champ de la bioraffinerie va dépendre du fait de chercher ou non à lever ces verrous. Ces molécules sont sélectionnées, car elles permettent d'illustrer un champ (et donc jouent un rôle symbolique), de copier la pétrochimie et d'organiser la complémentarité technologique autour d'elles (« *the compound illustrates a broad technology applicable to multiple products. As in the petrochemical industry, the most valuable technologies are those that can be adapted to the production of several different structures* », Bozell et Petersen, 2009, p. 541) ; que ce sont des molécules permettant de remplacer directement des produits issus de la pétrochimie (« *the technology provides direct substitutes for existing petrochemicals. Products recognized by the chemical industry provide a valuable interface with existing infrastructure and utility.* », *ibid.*, p. 541) ; que ce soit un produit de l'amont des filières de la pétrochimie et puisse être utilisé dans ces filières (« *The biobased compound is an existing commercial product, prepared at intermediate or commodity levels. [...] The compound may serve as a primary building block of the biorefinery.* », *ibid.*, p. 541) ou qu'il soit déjà maîtrisé dans l'industrie (« *Commercial production of the compound from renewable carbon is well established. The potential utility of a given compound is improved if its manufacturing process is already recognized within industry* », *ibid.*, p. 541) ; que ce soit une molécule plateforme (« *A compound exhibits strong potential as a platform.* », *ibid.*, p. 541). L'ensemble de ces critères visent donc à sélectionner et qualifier les molécules estimées comme crédibles au regard du « monde de production » de la raffinerie pétrolière.

La méthode du *backcasting* est reprise par l'Union européenne – qui en fournit une méthodologie par l'intermédiaire du Joint Research Centre<sup>26</sup>. Dès 2005, avec la rédaction du rapport **TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY OF LARGE-SCALE PRODUCTION OF BIO-BASED POLYMERS IN EUROPE**. La méthode va

<sup>26</sup> [http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/4\\_methodology/meth\\_backcasting.htm](http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/4_methodology/meth_backcasting.htm)

ensuite être utilisée dans des plateformes technologiques ou des projets dédiés spécifiquement à la définition d'une vision du futur. C'est le sens qu'il faut donner au projet BREW ou encore au projet Biorefinery Euroview/Biopol. Ces deux derniers ont consisté en l'identification des acteurs d'une variété de secteurs (chimie, papeterie, sucre/amidon, biocarburants, énergie, pétrochimie, etc.) susceptibles de relever du champ de la bioraffinerie. Comme le notaient Nieddu *et alii* (2010), l'ensemble de ces projets propose une variété de classifications des modèles de bioraffineries en fonction des matières premières, procédés ou produits visés – mais dans le même objectif de viser la chimie faite auparavant à partir du pétrole.

On peut par exemple penser au rapport **BIO-BASED CHEMICALS : VALUE ADDED PRODUCTS FROM BIOREFINERIES** produit dans le cadre de la Task 42 - Biorefinery de l'Agence Internationale de l'Énergie. Ce rapport propose des classifications de bioraffineries, des produits en fonction de leur commercialisation, du fait qu'il soit ou non des substituts directs, ou encore en fonction de la longueur des chaînes carbonées de ces produits<sup>27</sup>. Si ces projets ont été largement financés par la puissance publique, que ce soit au niveau européen ou au niveau des États (un grand nombre d'États ont financé la réalisation de feuilles de route technologiques<sup>28</sup>), ceux-ci insistent désormais sur la nécessité d'obtenir des résultats tangibles (au minimum de la part des démonstrateurs industriels). Cette nouvelle injonction semble répondre également à une demande des acteurs de recevoir des financements permettant le développement d'outils collectifs de démonstration et d'exploration (plateformes d'innovations ouvertes, etc.).

Cette stratégie a été mise en forme dans de nouveaux projets (comme Eurobioref, dont nous faisons l'analyse dans la deuxième partie de la thèse) qui ont pour but de conduire à la formation d'un partenariat public-privé. De même, d'autres projets ont été lancés (comme *Knowledge Based Bio-based Products' Pre-Standardization* ; KBBPPS) non plus pour définir des modèles de bioraffinerie, mais pour développer des standards de normes sur les produits ou encore pour définir les politiques publiques qui permettraient d'atteindre une bioéconomie. Dans le même temps, ce besoin de connaissances sur le champ a conduit au développement d'activités de services de prospective ou d'études de marchés potentiels. Ce sont généralement des rapports coûteux (plusieurs milliers d'euros), co-écrits avec des experts (qui peuvent être des lobbys ou des consultants) et accompagnés de bases de données publiques (comme l'agrobiobase pour le pôle IAR) ou privées (dans le cas du nova-Institut<sup>29</sup>). Ces outils de production de connaissances sur le champ témoignent de la nécessité pour les acteurs de se donner une représentation du champ.

---

<sup>27</sup> Nous revenons plus loin sur cette question.

<sup>28</sup> Cf. chapitre 5 pour une analyse détaillée.

<sup>29</sup> Il s'agit d'un organisme de recherche privé qui appuie la Commission Européenne sur l'émergence d'une bioéconomie.

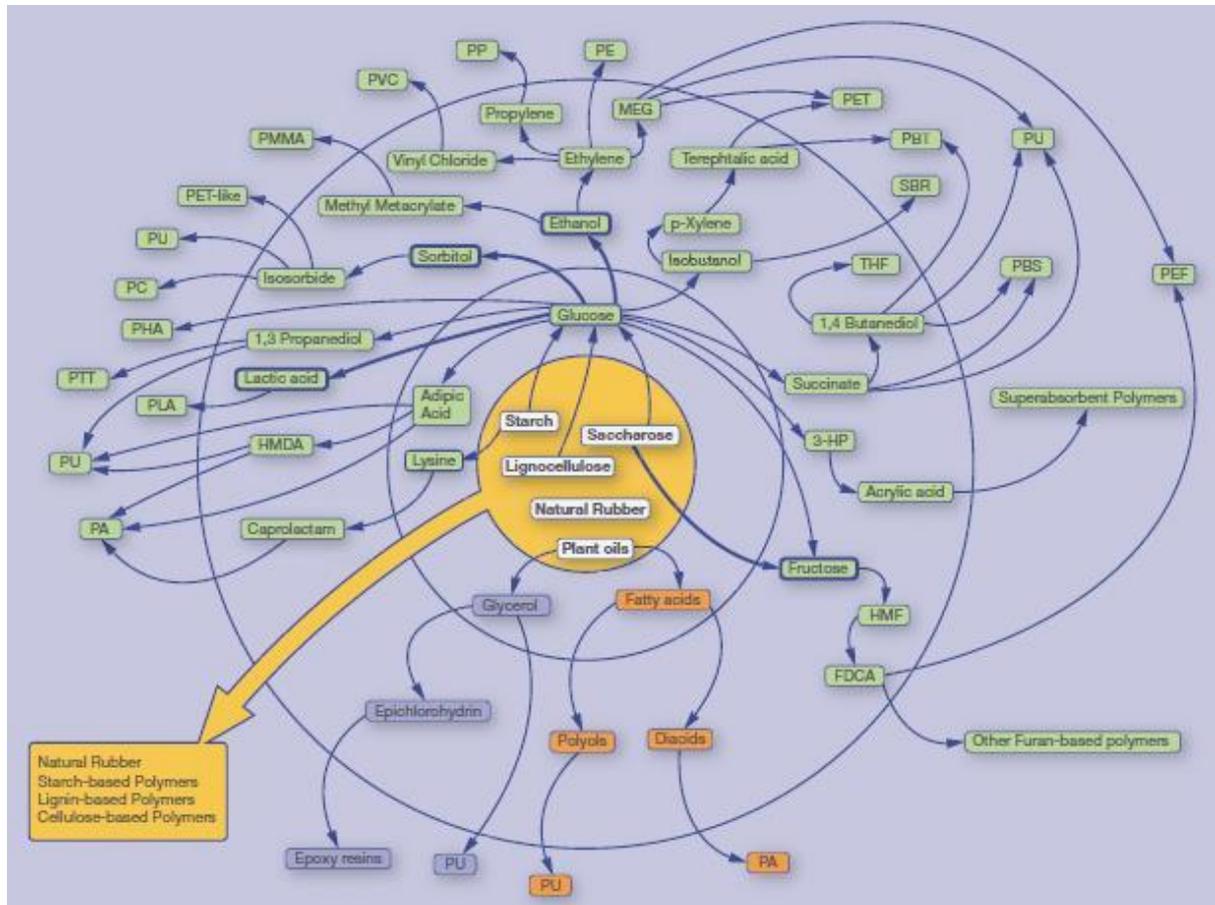


Figure 4 : une représentation du champ des produits (d'après nova-Institut, 2014, p.1)

Cette représentation figure une « forêt » de voies technologiques possibles en fonction des produits, des matières premières, etc. Il fournit une représentation à la fois de la complexité du champ et de l'hyperconcurrence qui règne entre les matières premières, les procédés et les produits à atteindre. Cette hyperconcurrence est favorisée par le fait qu'en chimie, il est possible d'atteindre un même produit à partir de matières premières et de procédés différents. Par conséquent, il est acté, par les membres du champ, que la question du choix par un acteur du triptyque pertinent [matières premières/procédés/produits visés] pour conduire des substitutions est un enjeu stratégique. Mais simultanément cela dessine un espace de controverses entre technologies qui se situent toutes dans l'espace de la bioraffinerie.

## Pour une mésoanalyse de la bioéconomie. Cadre théorique et méthodologie

La conjonction des éléments exposés ci-dessus laisse apparaître le fait que l'espace de la bioéconomie n'est pas un espace stabilisé, aux frontières uniques et clairement définies, mais un espace où viennent s'affronter des logiques de substitutions avec des acteurs plus ou moins centraux dans le champ, des entrants, du travail institutionnel de délimitations, de la formation de règles cognitives pour penser la formation de cet espace, etc.

Ces phénomènes se passent à différents « niveaux » : des acteurs cherchent à penser l'espace global, d'autres travaillent sur certaines filières-produits mais cherchent à renforcer leur présence dans l'espace, induisant des boucles de rétroactions entre niveaux. De même, la grande firme chimique peut être traversée de phénomènes de concurrence entre filières portées par leurs *business unit* spécialisées dans une filière-produit particulière (cas documenté par Debref, 2014).

Il s'agit donc, avec les apports de l'approche évolutionniste des innovations environnementales et du *transition management* (cf. var. pub ; Research Policy [2012, vol. 41-6], [2010, vol. 39-4]) notamment ; pour une présentation de ce courant, Nieddu, 2013), de mobiliser une approche multiniveau allant des interactions macro-sociales sur de grandes questions (environnement, chômage, changement climatique, ruralité, etc.) avec la structure de cet espace « méso » jusqu'à la représentation qu'ont les acteurs des réactions entre molécules chimiques. Mais il s'agit aussi, dans l'apparente forêt des possibles issus de l'hyperconcurrence des matériaux, de rendre compte des régularités dans la transition vers un régime sociotechnique de la bioéconomie.

Nous nous proposons de prendre comme point de départ l'instabilité et la multiplicité des frontières de l'espace économique émergent en vue de rendre compte de la façon dont se construit le changement **en train de se faire**. Nous rejoignons ici des auteurs comme Bélis-Bergouignan *et alii* (2004), Oltra et Saint-Jean (2009) ou Cecere *et alii* (2014) qui considèrent nécessaire d'étudier la façon dont des groupes d'acteurs sont traversés par la question environnementale, comment ils se l'approprient et comment leurs espaces économiques en sont transformés. Deuxièmement, on rejoint également les travaux régulationnistes mésoéconomiques (Nieddu, 1998 ; Gallois, 2012 ; Lamarche *et alii* 2016 ; Laurent *et alii*, 2008) sur la nécessité d'interroger la façon dont se déploient les stratégies de reproduction des acteurs, mais également de gestion des contradictions dans lesquelles ils peuvent être pris. Ce pan de la littérature est fondamental pour notre question dans la mesure où les travaux régulationnistes considèrent que les dynamiques des espaces de régulation sont le résultat de leurs dynamiques endogènes. La question écologique pose un problème redoutable aux tenants d'approches d'économie industrielle revendiquant un ancrage empirique fort. Cette revendication méthodologique a permis de développer des travaux autour du problème de la délimitation du « *sous-système pertinent* » (de Bandt, 1989) et de l'analyse des dynamiques endogènes qui structuraient la forme et les relations au sein de ces sous-systèmes.

Les travaux régulationnistes sectoriels (Nieddu, 1998 ; Grouiez, 2010 ; Gallois, 2012) s'inscrivent dans cette lignée de développement d'une « mésoanalyse » industrielle (ou plutôt dans les agro-industries pour M. Nieddu et P. Grouiez ou dans les services pour Gallois) empiriste. Une telle démarche s'appuie sur la primauté de l'observation des faits sociaux sur l'application d'un calque théorique défini *a priori*, justement pour rendre compte de la complexité des dynamiques. Néanmoins,

l'ensemble de ces travaux s'est intéressé à des secteurs (ou des sous-secteurs) existants et dont la genèse a été reconstituée, mais invitent à penser la régulation du changement en cours.

### Champs bourdieusiens et régulation du changement

Afin de mener notre projet, nous relisons la sociologie économique bourdieusienne depuis une position d'économie industrielle régulationniste. Analytiquement, il s'agira de considérer la bioéconomie comme un champ bourdieusien, à la suite de l'hypothèse théorique formulée par Nieddu (2012) : « *la théorie de tels champs stratégiques [ceux des matériaux biosourcés, NdA] peut être faite à partir d'une approche bourdieusienne des champs, mieux que par un simple raisonnement en termes de voies technologiques, car autour de ces voies technologiques viennent s'agglomérer des acteurs et des portefeuilles de technologies unitaires diverses* » (p.188). Nous nous proposons d'étendre cette hypothèse à la bioéconomie, de considérer que la bioéconomie forme un champ stratégique, et d'en importer les principes d'analyse en économie industrielle empirique.

On rejoint ici l'approche développée par Barrère (1978, 1982, 2016), Barrère *et alii* (1984) et Nieddu (1998) visant à rendre compte de la régulation d'espaces économiques comme la reproduction d'unités contradictoires qui se maintiennent dans le changement pour une analyse dynamique des espaces de régulation : « *Ce qui définit un sous-système doté d'un fonctionnement spécifique n'est ni son homogénéité ni son isolement. C'est d'abord le fait que sa façon de dépendre de son environnement le dote d'une capacité d'évolution endogène. C'est ensuite le fait que cette capacité opère par déformation du sous-système en réaction à des contraintes extérieures ; cette déformation vise non à maintenir les structures en l'état, mais à **conserver la logique interne** des transformations : c'est ce que les régulationnistes mettant l'accent sur les formes, qualifieraient de modèle de développement (Lipietz) et ceux travaillant plutôt en termes de processus, de régulation du changement (Barrère, 1979, 1982). La clôture du sous-système autonome (lorsqu'il existe) résulte donc d'un certain mode de couplage au système global, reflet d'une configuration productive hégémonique. Cette clôture se réalise à travers des processus concurrentiels dans lesquels **les agents économiques développent des stratégies visant à intégrer les contraintes externes de telle façon qu'elles valorisent leurs avantages compétitifs.*** » (Nieddu, 1998, p. 172). Il s'agit donc, à l'image des approches bourdieusiennes, d'identifier les contradictions dans le champ et d'observer comment celles-ci évoluent, renvoyant à la régulation du fonctionnement de la bioéconomie exposée précédemment : appels à projets, productions de définitions sur les frontières de l'espace, etc. .

Le champ est considéré comme un espace économique, défini ainsi : « *La notion d'espace enferme, par soi, le principe d'une appréhension relationnelle du monde social : « elle affirme en effet que toute la « réalité » qu'elle désigne réside dans l'extériorité mutuelle des éléments qui la composent. Les êtres apparents, directement visibles, qu'il s'agisse d'individus ou de groupes, existent et subsistent dans et par la différence, c'est-à-dire en tant qu'ils occupent des positions relatives dans un espace de relations qui, quoique invisible et toujours plus difficile à manifester empiriquement, est la réalité la plus réelle (...) et le principe réel des comportements des individus et des groupes.* » (Bourdieu, 1994, p. 53). De ce point de vue, on se propose de considérer la bioéconomie comme un espace structuré par – et structurant – les relations qu'entretiennent les acteurs entre eux. L'exposé de l'émergence de la problématique de la bioraffinerie a bien comme résultat de mettre en lumière la formation de relations entre acteurs au sein de projets de *backcasting* ou encore l'investissement dans des plateformes démonstratives, mais interroge en retour la façon dont se structurent ces relations. Les acteurs

pensent que l'espace dans lequel ils prennent position est le lieu pertinent pour eux pour organiser leur reproduction. On retrouve ici la position de la sociologie économique de White *et alii* (2008) pour qui l'investissement dans un espace par les acteurs est le fruit d'une stratégie de gestion de l'incertitude radicale. Ils développent alors des stratégies visant à imposer sur une fraction ou la totalité de l'espace des dispositifs et des régularités qui leur permettent de se maintenir dans le temps.

Les acteurs sont pris dans une histoire intérieure au sous-espace étudié – partiellement autonome des dynamiques globales (principe de réfraction) – et en réaction aux autres acteurs. Le point de vue est donc structural, c'est-à-dire qu'il s'agit d'analyser le changement à partir de la dialectique acteurs – structures. Ces dernières étant le résultat des interactions entre les premiers, interactions elles-mêmes résultats des structures. Dans le champ économique, ce sont « *la structure du capital et la structure de la distribution des coûts, elle-même liée principalement à la taille et au degré d'intégration verticale, [qui] déterminent la structure du champ, c'est-à-dire les rapports de force entre les firmes : la maîtrise d'une part très importante du capital (de l'énergie globale) confère en effet un pouvoir sur le champ, donc sur les entreprises les moins dotées (relativement) en capital ; elle commande aussi le droit d'entrée dans le champ et la distribution des chances de profit. Les différentes espèces de capital n'agissent pas seulement de manière indirecte, à travers les prix ; elles exercent un effet structural parce que l'adoption d'une nouvelle technique ou le contrôle d'une part plus importante de marché, etc., modifie les positions relatives et les performances de toutes les espèces de capital détenues par les autres firmes.* » (Bourdieu, 2000, p. 296). Ce que Bourdieu décrit ici comme capital spécifique « *revient, en recherche finalisée, à une tentative collective d'identifications de connaissances dispersées entre différents acteurs qu'il est nécessaire d'assembler d'une part, et des lacunes à combler pour pouvoir former un patrimoine productif collectif mobilisable d'autre part. Celui-ci emprunte d'abord une forme collective avant d'être transformé par des acteurs privés en actifs économiques privés.* » (Nieddu, 2012, p. 189).

Il s'agit donc de comprendre comment se font ces identifications et assemblages de compétences et ressources disponibles ou manquantes, ce qui constituerait la dynamique de régulation du changement. Ce point doit attirer l'attention sur le fait qu'il est également nécessaire d'étudier la régulation du changement technique. Les acteurs explorent-ils sans direction ou sélectionnent-ils les domaines explorés ? Il s'agira de comprendre comment ils les explorent et comment sont choisies et développées les technologies. Cette question est particulièrement importante dans un contexte de transition écologique travaillée notamment par une approche en termes d'innovations environnementales que Kemp (2008) et Debref (2016) décrivent comme problématique à identifier *a priori*. On se propose donc de considérer qu'en tant que champ de lutte, les acteurs s'affrontent « *avec des moyens et des fins différenciées selon leur position dans la structure du champ de forces, contribuant ainsi à conserver ou à en transformer la structure.* » (Bourdieu, 1997, p.55). Et c'est de ce point de vue que nous proposons d'interroger les régularités du changement technique. On portera alors une attention particulière à la question des verrous technologiques et à la façon dont ceux-ci sont appréhendés par les acteurs notamment par les promesses technico-économiques (au sens de Joly, 2010) qu'ils forment sur ces verrous.

Afin de nous doter des outils intermédiaires permettant de mener notre analyse, nous mobiliserons les catégories bien connues des économistes qui sont celles de dispositifs institutionnels et de régimes économiques. Nous traiterons les premiers comme des dispositifs matériels et immatériels qui codifient non seulement des rapports de force entre acteurs, mais aussi des façons de

penser à un moment et dans un segment de l'espace donné. Ces *cognitive rules*, comme disent les anglosaxons, peuvent être des façons plus insidieuses de construire des rapports de force, car apparemment fondés sur le bon sens ou des règles scientifiques, mais ne peuvent être réduits à cette seule fonction. Notre position est ici, toujours en partant de la théorisation du champ par les acteurs, que ces dispositifs ont un sens pour les acteurs qui cherchent à les contrôler et à développer leurs productions. Il s'agit donc d'une vision dynamique de la production des institutions produites par les conflits d'acteurs, et qui jouent ici un rôle de légitimation et de construction de la crédibilité des promesses des acteurs : l'attribution d'un financement européen à un projet porté par une firme valide et légitime à la fois, une trajectoire technologique, la firme qui obtient le projet en tant qu'acteur de la trajectoire technologique, et la façon dont elle propose de mettre en forme un segment de filière issu de cette trajectoire.

Afin d'étudier la formation des régularités dans les dynamiques de substitution, nous proposons la notion de « régimes de production de connaissances et d'activités économiques ». Cette notion s'inspire des régimes économiques de fonctionnement de Bartoli et Boulet (1989) qui décrivent des logiques de production, d'échange et de consommation, mais étendent cette notion de deux façons. D'une part, elle reprend l'idée de régularités dans des logiques de production, d'échange et de consommation, mais l'élargit à l'identification de *régularités de changement* dans la façon dont les acteurs problématisent ces logiques de changement. D'autre part, la notion est étendue au sens où elle renvoie à une composante de l'économie contemporaine qui est le rôle des dynamiques de création de connaissances dans l'émergence d'activités économiques. Ce faisant, elle s'intéresse à la façon dont les acteurs introduisent la nouveauté et pas seulement au fonctionnement d'un système en régime de croisière. Le fait est que la chimie se prête, si notre hypothèse est juste, particulièrement à une approche de ce type, car il s'agit de caractériser des dynamiques de substitution répondant à des logiques de recherche programmée ; mais une telle notion peut être mobilisée de notre point de vue sur d'autres champs pour l'analyse mésoéconomique.

#### Quelle méthode ? L'apport des études de cas qualitatives

Afin de produire les matériaux nécessaires à l'identification des régimes de production de connaissances et d'activités économiques qui structurent la bioéconomie, nous mobilisons une démarche narrative appliquée à des études de cas (la méthode d'étude de cas pouvant aussi s'appuyer sur des approches quantitatives, on précisera la démarche narrative). Notons tout de même que ces approches ne devraient pas être pensées en opposition : les études quantitatives mobilisent des récits pour raconter ou soutenir les modèles mobilisés d'un côté ; d'un autre côté, les approches qualitatives peuvent également mobiliser des études quantitatives en tant que matériaux pour l'analyse. Il nous paraît opportun d'utiliser cette méthode, car elle est décrite par Kemp et Pontoglio (2011) comme permettant de mettre en évidence les faits saillants dans les transitions. Par ailleurs, la forme qualitative est privilégiée, car notre question relève de l'identification de processus d'émergence et d'organisation du fonctionnement d'un espace économique instable dont les frontières sont à décrire. Yin (2014<sup>30</sup>) dans son ouvrage de référence sur les études de cas (qu'il considère comme qualitatives ou quantitatives) précise que c'est pour ce type de problèmes que l'étude de cas est indiquée.

---

<sup>30</sup> Il s'agit déjà de la cinquième édition.

À la suite de Popper, Dumez et Jeunemaître (2005) proposent comme point de départ à une étude qualitative en démarche narrative l'identification d'un fait paradoxal, ou qui, du moins, ne correspond pas à ce que la théorie aurait prédit. Ce premier constat doit conduire alors à la formulation d'une hypothèse abductive après un retour critique sur la littérature à partir des faits constatés. C'est cette démarche qui est explicitement revendiquée à la fois par les régulationnistes (Labrousse *et alii*, 2015), mais de manière générale par une grande partie des institutionnalistes (Hédoin, 2013). Dans notre cas, c'est le travail réalisé par Nieddu *et alii* (2014) : alors que l'on aurait pu attendre, du point de vue des travaux issus du *transition management* et plus particulièrement du courant du *Multilevel Perspective* à une convergence de la bioraffinerie vers un modèle fondé sur les deux trajectoires dominantes de la thermochimie ou des biotechnologies (à l'image des moteurs diesel et à essence), il apparaît qu'il existe d'autres trajectoires, des « *minority reports* » qui se maintiennent au cours du temps et qui sont le support de régimes de production de connaissances et d'activités économiques différents.

Une hypothèse adverse à la convergence est alors proposée : la diversité constatée pourrait en réalité se maintenir et non disparaître au profit d'un régime sociotechnique fondé sur la production de biocarburants et la valorisation de leurs coproduits. De ce principe méthodologique appliqué aux études de cas, on peut alors attendre 1) l'identification de faits nouveaux grâce à la production de typologies 2) la discussion de cadres théoriques existants et par là même, la production de cadres théoriques nouveaux (Dumez, 2013b ; Yin, 2014 ; Eisenhardt, 1989). C'est notamment ce que défend Piore : « *However, case studies as practiced in the social sciences tend to be viewed as offering empirical results. I have used my "case study" findings, however, not as empirical evidence but as inputs into the construction of theory.* » (Piore, 2006, p.17). La construction théorique s'appuie donc sur l'investigation empirique qui permet, à partir des observations, de retourner vers la théorie : « *The work of institutionalists is a common "investigatory mode" or model of explanation that conforms to what philosophers of science call a **pattern model**. Institutionalism's investigatory mode is **holistic, systemic and evolutionary**.* » (Wilber et Harrison, 1978, p. 73).

Ainsi, on peut attendre de cet aller-retour la production d'un cadre décrivant des « mécanismes » dans les termes de Dumez (2013 a et b). Le terme de mécanisme renvoie à l'idée que « *le mécanisme est de forme générale et sa force explicative provient de cette généralité ; en même temps, le mécanisme n'est pas une loi. En effet, il ne fonctionne que dans certains contextes, et sous certaines conditions. La notion de mécanisme permet donc de relier généralité et contexte. Elle ne renvoie pas à la généralité abstraite (celle de la loi), mais ne renvoie pas non plus à l'explication ad hoc, à la narration purement événementielle.* » (Dumez, *ibid.*, p.34). On retrouve donc bien ici la position institutionnaliste, et *a fortiori*, régulationniste qui considère que ses concepts sont ancrés dans le contexte pour lesquels ils sont forgés. Du point de l'économie institutionnaliste, le fait qu'une méthodologie soit développée spécifiquement pour une question est plutôt une qualité. C'est l'adéquation entre la logique d'identification des données à traiter la question travaillée qui doit être évaluée (*cf.* les travaux du séminaire « *Pluralité des sciences et interdisciplinarité. Enjeux pour la recherche et la décision publique* » de l'école doctorale ABIES d'Agroparistech). Ceci explique le long travail mené dans les travaux institutionnalistes d'évaluation et de positionnement les uns par rapport aux autres des résultats d'études autres en vue d'en situer la portée par rapport au cas étudié. C'est ici que la démarche narrative prend tout sens : « *Il s'agit essentiellement d'une technique exploratoire procédant à partir de matériaux empiriques hétérogènes, et cherchant à mettre en évidence des relations entre les*

décisions des acteurs et des tendances lourdes et des structures. » (Dumez et Jeunemaître, 2005, p. 993).

Développer une narration : les procédures de mise en ordre des données collectées

Une narration est composée du cheminement d'un état initial vers un état final. La description du cheminement est donc l'objet d'étude. Pour cela, la démarche narrative explore les événements qui semblent relever du champ de l'étude de cas pour en produire une description des enchaînements et des causalités. Cette analyse est enrichie par la reconstitution des représentations des acteurs au moment de leur décision. Faisant référence au célèbre article de David sur le clavier QWERTY, Dumez et Jeunemaître insistent sur le fait que « *La théorie de la dépendance de cheminement introduit une complémentarité entre la modélisation et l'approche par le récit. La théorie pose en effet que ce qui advient ne peut être déduit de la théorie, mais doit être expliqué par une recherche historique* » (Dumez et Jeunemaître, 2005, p.988). La démarche narrative procède alors par colligation, c'est-à-dire que l'établissement de la narration procède par la mise en relation d'une variété de matériaux empiriques hétérogènes : brevets, publications académiques ou professionnelles, communiqués de presse et communications des firmes, rapports, *powerpoints*, comptes rendus d'observations, entretiens formels ou informels<sup>31</sup>. La collecte des matériaux doit aller jusqu'à ce que le champ d'étude soit saturé, c'est-à-dire que les nouveaux documents identifiés répètent ce qui se trouve déjà dans d'autres documents, ce qui suppose une démarche active du chercheur, qui tout au long de l'étude doit procéder par triangulation en vue de recouper les informations et tester les différentes hypothèses interprétatives. Cette étape représente alors le premier enjeu de la recherche.

Le chercheur doit ensuite, à partir de ces matériaux, établir des chronologies détaillées, dont la mise en ordre est un deuxième enjeu d'analyse, ce qui peut conduire à l'établissement de chronologies multiples en fonction des besoins du cas. Ainsi sommes-nous amenés à mobiliser des chronologies multiples dans la troisième partie de la thèse pour traiter de la production des promesses d'une part, et des prises de position d'autre part. Par ailleurs, la collecte des matériaux empiriques et leur interprétation doivent être réalisées de telle sorte qu'elle permette d'établir une séparation entre ce que sait le narrateur au moment où il produit sa narration et ce que savent les acteurs. Enfin, l'établissement de la narration doit traiter de manière symétrique les faits attendus et les anomalies qui ne correspondent pas à la théorie, ce qui confirme que cette méthode est adaptée à notre question, car c'est précisément sur ces anomalies que nous avons choisi de faire porter notre travail.

---

<sup>31</sup> « L'expression « colligation » est empruntée aux épistémologues de la discipline historique. Walsh a été le premier à l'employer, en le définissant ainsi : « *le fait de lier entre elles des particularités complexes* » (« *the assembly of complex particulars* ») (Walsh [1984] [1951] ; voir aussi Abbott [1984] ; Roberts [1996]). Mais on le prendra ici en un sens un peu particulier. La narration permet, en tant que technique exploratoire, de lier des données empiriques de statuts divers. Cette hétérogénéité des données dans leur nature même – cette recherche même, systématique, de l'hétérogénéité des données en vue de formuler des interprétations –, est une des grandes différences qui existent entre la démarche narrative et les méthodes quantitatives. Celles-ci cherchent plutôt à traiter en effet des données homogènes, formant des séries et des échantillons. Dans son traitement de liaison de ce matériau empirique hétérogène, la démarche narrative cherche, dans le cours même du développement du récit, c'est-à-dire du processus de colligation à explorer des hypothèses rivales plausibles (Campbell [1994]), à provoquer ce que Thomas Jefferson appelait la confrontation des hypothèses (« *the collisions of hypotheses* ») (Bergh [1903-1904], vol. XV, p. 395). » (Dumez et Jeunemaître, 2005)

En nous fondant sur les principes mis en évidence par Dumez et Jeunemaître (2005), nous allons exposer la façon dont nous avons collecté les données et structuré nos études de cas. En effet, nous considérons que la présente étude est constituée, dans son unité, d'une série d'études de cas qui irriguent chacun des chapitres. C'est-à-dire que la thèse n'est pas une étude de cas, elle est la conjonction de dix études de cas réparties entre les différents chapitres, en fonction de l'avancée de la réflexion et des questions qui en émergent. Ce choix a été fait pour tenir une démarche abductive tout au long de la thèse. La seconde raison qui préside à ce choix est que nous avons adopté une approche systémique, qui considère que chaque partie du système contient l'ensemble du système. Le fait d'aborder la question sous différents angles nous permet donc de vérifier nos résultats. Pour collecter les données, nous avons mis en place un système de veille à partir de sites internet spécialisés, plus précisément sur les sites des principales firmes du champ et sur les grandes revues académiques du champ. Dans le cas où nous avons mobilisé des brevets, ceux-ci ont été abordés dans la perspective de leur contexte, c'est-à-dire que nous avons systématiquement observé si le brevet en question était relié ou non à une famille plus large, et si ce lien pouvait avoir une importance pour l'étude de cas.

Concernant la question des entretiens et des observations, nous avons dû tenir compte de l'*habitus* du champ de la chimie (académiques et entreprises) qui contient une forte culture du secret qui s'explique par le fait qu'il est très facile de copier une molécule chimique, mais également qu'une partie des avancées ne sont ni brevetées ni publiées, donc par définition, non protégées. Nous avons pallié cet obstacle en menant des entretiens souvent informels (mais équipé de notre grille analytique) lors des colloques académiques ou de politique industrielle (prospective, restitutions de projets, journées techniques, etc.)<sup>32</sup> auxquels nous avons assisté, ce qui nous permettait de sortir du dispositif parfois contraignant de l'entretien qui peut achopper sur des refus. Enfin, nous avons effectué un séjour de recherche au nova-Institut au printemps 2014, un institut de recherche privé (et de *consulting* sur les stratégies de positionnement dans la bioéconomie) qui appuie la Commission européenne, durant lequel nous avons pu échanger régulièrement sur les questions intéressant cette thèse.

Une démarche abductive pour repérer des processus visant à rendre légitimes et crédibles des choix technologiques ou économiques

L'approche que mobilisée dans ce travail revendique de se situer, théoriquement, dans le prolongement des travaux visant à sortir de la distinction acteurs/structures engagée à la fois dans les travaux régulationnistes, mais également dans la sociologie économique de P. Bourdieu. Il s'agit de considérer avec Lordon (1999, p. 190) que « *le sens du monde social naît des démarcations, des limites et des frontières tracées à l'intérieur de ce continuum – d'ailleurs périodiquement recréé, puis retracé, à la faveur de crises gnoseologiques qui (localement) abattent et réinstituent un ordre du monde* ». L'émergence d'une bioéconomie est traitée sous l'angle de l'hypothèse abductive suivante : ce que l'on appelle « émergence d'une bioéconomie » est le résultat d'une transition portée par les acteurs des agro-industries, de la chimie et des biotechnologies, qui l'animent. Et cette transition est le résultat d'une projection par des acteurs de leurs représentations du champ de la bioéconomie dans cette transition et de l'engagement de ressources dans l'exploration de l'espace qui est ainsi émergent. On dispose bien ici d'une hypothèse abductive au sens de Peirce (repris par Tohmé et Crespo, 2013) au

---

<sup>32</sup> L'origine des sources mobilisées ainsi que le détail des colloques etc. est présenté spécifiquement pour chacune des études de cas.

sens où elle est explicative de l'origine d'un phénomène A conduisant à une situation C, économique et testable.

Le test est réalisé ici par des études de cas dont la conjonction permet de rendre compte du fait que les acteurs construisent leur transition en mettant en forme des régimes de production de connaissances et d'activités économiques qui ont pour but d'installer des régularités dans le changement, autrement dit, en vue de maintenir le contrôle sur leur transition et tenter de dominer les autres acteurs. De ce point de vue, la projection dans le futur procède de deux stratégies fondamentales soulevées par Joly (2010) : légitimité et crédibilité. La projection dans le futur de savoirs et pratiques (économiques et de production de connaissances à la fois « scientifique », mais aussi dans l'acte de production) serait donc réinventée en permanence dans l'effort de légitimation de ceux-ci. Par exemple, les stratégies collectives de développement de *technological roadmap* visent bien à inventorier les savoirs légitimes et prometteurs, et donc ceux qui sont crédibles pour le futur.

Il y a donc un enjeu à faire partie des acteurs capables d'imposer les normes de crédibilité (comme les fonctionnalités économiques dont doivent être dotés les produits) qui rendent les produits et les acteurs légitimes pour faire partie du champ. Cette analyse ne doit toutefois pas laisser penser que ce processus est uniquement « intentionnel » : « *Les hommes font leur propre histoire. Mais ils ne la font pas au gré de leur initiative ni dans des circonstances librement choisies ; ils sont manœuvrés par les circonstances du moment telles que les ont créées les évènements et la tradition.* » (Marx, 2001 [1852], p. 172). La régulation du changement, en tant que reproduction de contradictions, prend donc ici le sens de la reproduction dans le changement de logiques internes hétérogènes, héritées de champs divers (les agro-industries, la chimie et les biotechnologies) produisant un champ dont on peut supposer que les frontières seront multiples plutôt qu'uniques et dont les modes de suspension des conflits pourront être multiples.

## Annonce du plan

Afin de rendre compte de la dynamique multiniveau d'émergence et de structuration du champ de la bioéconomie, nous développons notre étude en trois parties.

### Partie 1 : régulation du changement et bioéconomie

La première partie de la thèse vise à élaborer un cadre analytique et à identifier les outils intermédiaires pertinents pour rendre compte de la formation d'un champ, et de la façon dont l'émergence de ce champ est régulée. Pour ce faire, nous menons deux discussions. La première vise à développer une approche régulationniste de l'orientation du changement technique intégrant les apports des travaux évolutionnistes sur les verrous technologiques et l'adoption des innovations environnementales (chapitre 1) à partir d'une étude de cas sur un produit en passe d'être interdit, les formaldéhydes. Les résultats théoriques et les faits stylisés ainsi dégagés permettent d'alimenter une relecture en termes de régulation du changement des travaux mésoéconomiques régulationnistes et évolutionnistes (chapitre 2).

Le premier chapitre a pour point de départ une observation empirique menée durant la thèse. Lors d'un séjour de recherche au nova-Institut, nous avons été confronté à une question qui en réalité, sur le fond était la suivante : comment construire le récit de l'émergence d'une innovation environnementale, les mousses de tanins sans formaldéhydes de façon à renforcer la capacité des

acteurs à lever des fonds européens et à développer des activités économiques ? Il s'agissait donc pour nous disposer d'un cadre analytique permettant une confrontation *in vivo* avec la façon dont des acteurs s'approprient des définitions des innovations environnementales – catégorie qui ne va pas de soi, comme le montre Debref (2014, 2016). Il s'agissait aussi de saisir un mouvement non *ex post*, mais en train de se faire.

Cette confrontation nous a alors conduit à relire les travaux évolutionnistes ayant pour point de départ les systèmes sectoriels d'innovation (notamment Oltra et Saint-Jean, 2009) depuis les approches régulationnistes en termes de désordre technologique et d'orientation du changement. Les résultats de ces derniers proposent une analyse des produits en termes de compromis entre [efficacité productive/performance du produit sur des fonctionnalités attendues/performance environnementale] qui constituent des verrous sur des trajectoires technologiques.

Nous aboutissons ainsi à une première proposition invitant à tester la double hypothèse (1) qu'il y a un enjeu pour les acteurs à sélectionner les verrous technologiques qu'ils peuvent lever et à orienter les apprentissages collectifs sur ces verrous plutôt que d'autres et que (2) c'est l'espérance de rendements croissants d'adoption et les rendements eux-mêmes qui justifient ces apprentissages collectifs. Pour tester cette hypothèse, nous avons ordonné l'étude de cas sur les formaldéhydes – qui sont visés dans la production de mousses de tanins à l'origine de la réflexion exposée ici – autour d'une analyse en longue période. En effet, l'histoire de l'usage du formaldéhyde permet de montrer comment se structure un régime de production de connaissances et d'activités économiques de la production de résines et de colles qui s'appuie sur une forme particulière de la recherche : l'exploration de formulations [phénols + aldéhydes]. Puis, la contestation de ce régime est interrogée pour observer comment les acteurs intègrent la contrainte environnementale dans leur compromis de produit.

Un premier résultat est que l'espace des substitutions n'est pas celui visé par les politiques publiques, et qu'en raison de l'espérance de rendements croissants, des extérieurs qui n'étaient pas nécessairement concernés initialement s'emparent de cette problématique. Un deuxième résultat mène à réinterpréter la notion de base de connaissances d'un secteur des évolutionnistes. Nous la réinterprétons comme un enjeu : des ressources dont disposent les acteurs quand ils s'affrontent, en permanence réinterprétées, et donc, la mise en forme des bases de connaissances est un enjeu stratégique. Ces deux premiers résultats nous invitent alors à considérer que le compte rendu de la variété des trajectoires et des acteurs qui s'affrontent dans un espace donné, est une étape méthodologique fondamentale pour rendre compte de la formation d'un espace de régulation.

Ce chapitre identifie également trois faits stylisés : les acteurs cherchent à articuler des fonctionnalités chimiques qu'ils maîtrisent avec des fonctionnalités économiques attendues pour un produit ; le changement technologique est orienté par des stratégies d'acteurs dont il importe de mettre en évidence qu'elles sont prises dans des histoires de longue période ; les espaces « intermédiaires » formés dans l'exploration de la substitution sont le résultat d'apprentissages orientés par l'assemblage de ressources variées (politiques publiques, problématisation, etc.).

Le chapitre 2 est dédié à une mise en ordre de la littérature sur les dynamiques mésoéconomiques, à partir de ces résultats, notamment ceux issus des travaux du groupe RST pour aboutir à la proposition d'outils théoriques régulationnistes pour analyser les changements en train de se faire. Nous examinons dans un premier temps les travaux régulationnistes portant sur les niveaux de régulation. Cette première sous-section invite à considérer les espaces de régulation comme des

espaces semi-autonomes des dynamiques globales, qui sont structurés par des exercices de problématisation (au sens de Jullien et Smith). Dans ces dynamiques, les acteurs absorbent de façon différenciée les pressions extérieures. Cette absorption différenciée tient au fait que les acteurs vont composer par rapport à ce qu'ils maîtrisent pour gérer l'incertitude de leur espace, et en retour provoquer l'existence de dynamiques de champs diverses. Cette sous-section nous conduit alors à considérer que les acteurs ont besoin de niveaux supérieurs au seul niveau de la firme pour s'ancrer. Cependant, l'interprétation des pressions par l'extérieur conduit à considérer les dynamiques comme une dialectique reproduction/production de nouveauté. Celle-ci nous sert de guide pour formuler une proposition patrimoniale.

Elle tient en l'idée que les espaces de régulation peuvent être décrits à partir de leur structure productive (échanges et transactions) et de leur ordre institutionnel (règles de fonctionnement), adossés à des patrimoines productifs collectifs dans lesquels puisent les acteurs pour conduire leurs actions stratégiques. La seconde section a pour but d'exposer comment il est possible de rendre compte des représentations des acteurs au moment où ils prennent leurs décisions stratégiques. La discussion porte alors sur la construction par les acteurs de dispositifs de légitimation et de crédibilisation de leurs activités par la production de dispositifs institutionnels. Mais cette production doit être reliée à la façon dont les acteurs cherchent à organiser des régularités dans leur exploration de l'espace en formation. C'est à cet endroit que nous proposons de mobiliser la notion de régimes de productions de connaissances et d'activités économiques.

Les deux parties suivantes cherchent à solliciter ces acquis à partir de deux entrées pour l'observation : dans la deuxième partie, on observe la constitution en tant que champ générique à un ensemble très varié d'activités, qui les collectionne pour se donner une cohérence, d'un champ global de la bioéconomie. Dans la troisième partie, on observe le cheminement de la bioéconomie à travers trois produits phares du grand mouvement de substitution des produits d'origine fossile par des produits d'origine renouvelables.

## Partie 2 : la bioéconomie comme espace économique émergent

La deuxième partie traite de la formation de compromis localisés qui participent à ancrer dans l'espace de la bioéconomie des régimes de production de connaissances différents, à travers trois chapitres.

Le chapitre 3 propose un retour sur l'histoire des problématiques de l'usage de ressources renouvelables menées par les acteurs. Pour cela, nous explorons deux périodes : la période des années 30 jusqu'à la Seconde Guerre mondiale aux États-Unis avec la *chemurgy* et le tournant des années 1980 qui a vu monter la question des biotechnologies et des relations pétrochimie/biotechnologies. Il apparaît que les questions qui émergent portent sur l'identification des ressources à assembler dans un espace structuré par des cycles de promesses, constitués par des attentes fondées sur des engagements économiques. Ces résultats invitent à étendre aux dispositifs actuels l'étude de la façon dont se mobilisent les acteurs. Pour cela, on classifie, à partir des rapports institués de Jullien et Smith les représentations du fonctionnement de l'espace économique, ce qui nous permet d'identifier les logiques de qualification qui président à l'identification par les acteurs des autres acteurs faisant partie du champ, à partir de la grille analytique de Billaudot (2010).

Cette réflexion se déploie dans un premier temps au niveau de la façon dont est problématisé le fonctionnement d'une bioéconomie, à partir d'une revue de littérature académique et institutionnelle (chapitre 4). Il en résulte trois conceptions de bioéconomie, dont on montre qu'elles s'inscrivent aujourd'hui dans un compromis dominé par la bioéconomie de la bioraffinerie, qui reprend, intègre et réorganise des éléments des deux autres conceptions – la bioéconomie en tant que conscience des limites environnementales, et la bioéconomie en tant qu'industrialisation de la biologie à partir de la révolution du génie génétique. On montre donc que la régulation du changement repose cette appropriation des conceptions de la bioéconomie par les acteurs.

Il faut noter que l'hyperconcurrence entre matières premières, entre process et semi-produits issus de la chimie de base du végétal et entre les façons de satisfaire les fonctionnalités attendues, participe précisément de la constitution du champ de la bioéconomie, puisque précisément les acteurs viennent se confronter dans le champ. L'espace mésoéconomique peut donc être représenté non comme un secteur disposant d'une base de connaissances, mais comme un espace de controverses et de contestation entre voies de substitutions. Cette concurrence a pour résultat que chaque acteur engagé sur ces voies fait partie du champ de la bioéconomie, et le renforce. Il vient également que la problématisation est prise en charge dans plusieurs niveaux différenciés, et par des acteurs qui arrivent à nouer des niveaux différents en réussissant à convaincre de la validité de leurs promesses technico-économiques.

Les acteurs étant porteurs de solutions différentes et assembleurs de niveaux différents, il vient donc la question d'explorer la diversité interne du compromis dominant, en s'intéressant à l'inscription des RPCAE dans des dispositifs institutionnels (chapitre 5). On ne cherche pas ici à constater les différences, mais à en expliquer les différences et l'origine des différences. Pour cela, les feuilles de route nationales vers une bioéconomie des États-Unis, de l'Allemagne, de la Finlande et de l'Italie sont analysées. Il vient qu'il s'agit de compromis localisés, appuyés sur des patrimoines productifs collectifs qui constituent des points d'ancrage pour les acteurs. Ainsi, la deuxième section est consacrée à la recherche de ces points d'ancrage à d'autres niveaux.

On étudie alors trois projets européens du 7<sup>e</sup> *framework programm* (2010-2014) qui n'ont pas eu pour but de produire des résultats scientifiques, mais de développer des modèles économiques de filières, au sens où ils institueraient des modes de production (première sous-section de la deuxième section du chapitre 5). Il vient de l'analyse de ces trois projets plusieurs niveaux de concurrence : pour les financements, pour la définition du segment des filières et pour l'approvisionnement en matières premières. À la suite de ces projets, la Commission européenne annonce aujourd'hui vouloir refuser de financer les projets qui ne pourraient être rapidement industrialisables, parce qu'ils viseraient à produire des carburants issus de matières premières agricoles pouvant être destinées à l'alimentation et qui pourraient être délocalisés. La démarche de ces trois projets est reprise dans la mise en place d'un Partenariat Public Privé qu'ils ont servi à préfigurer (deuxième sous-section). Ce PPP définit des compromis centrés sur l'appropriation par un acteur dominant d'un segment de filières qu'il peut dominer<sup>33</sup>. Il apparaît que ces compromis contiennent en eux les principes d'évaluation économique participant à organiser la crédibilité et la légitimité des promesses de production formulées en réponse aux appels à projets issus du PPP.

---

<sup>33</sup> Ce point est central dans l'étude des polymères-clés dans la troisième partie.

La seconde section analyse la façon dont les acteurs s'affrontent pour définir l'identité des produits. Pour cela, nous partons de l'observation de journées de réflexions et de colloques de politiques industrielles à partir desquelles nous identifions trois questions que les acteurs se posent sur les produits : qu'est-ce qu'un produit biosourcé ? Comment communiquer et évaluer le contenu biosourcé d'un produit ? Faut-il une norme spécifique à une filière ou transversale pour la bioéconomie ? De l'étude de la formation des normes techniques sur les produits, nous concluons qu'il y a deux types de normalisation en fonction de la position dans les filières, mais également que les acteurs importent des normes qui n'ont pas été développées dans le champ de la bioéconomie.

La première conclusion de cette partie est que c'est la variété des matières premières, des procédés et des produits qui régule le fonctionnement du champ, et le test par les acteurs de compromis sur leur configuration qui régule son changement. Mais la variété des compromis n'est pas infinie, ils sont l'expression des rapports de force liés à la localisation des compromis. Ces compromis localisés ne sont pas reliés parfaitement entre eux, au contraire, ils sont enchâssés, juxtaposés ou superposés. Par ailleurs, le travail de problématisation qui conduit à la mise en forme des dispositifs institutionnels observés conduit à la production de représentations qui deviennent des règles – sous formes de ressources cognitives (donc du patrimoine productif collectif). Ces représentations relèvent d'une théorisation par les acteurs eux-mêmes d'une articulation entre les fonctionnements micro-, méso- et macro-sectoriels.

### Partie 3 : le déploiement de stratégies de polymères-clés

À partir de la conclusion que la problématisation du fonctionnement du champ se déploie à différents niveaux, on se propose d'observer, par trois études de cas emblématiques, comment les acteurs relient leur exploration d'articulation matières premières/procédés/produits sur des molécules spécifiques aux espérances technologiques du champ, et comment ils cherchent à se promouvoir comme les meilleurs performateurs de ces espérances.

On se propose de partir de quatre domaines d'observations (base de connaissance ? Promesses et désappointements ? Compromis temporaires ? hybridations ?) pour étudier les cas du PLA (chapitre 6), de l'acide succinique et de l'acide lévulinique (dans le chapitre 7 pour les deux dernières).

Ces trois produits sont chacun issus de la chimie des sucres et représentent une partie de l'émergence du champ, à partir desquels il est possible d'étudier le rôle des promesses dans la structuration du champ.

Dans la première section du chapitre 6, nous montrons que le PLA s'inscrit dans une histoire de longue période, et un régime de production de connaissances et d'activités économiques issu de la fermentation à travers son précurseur, l'acide lactique. Dans une deuxième section de ce chapitre 6, nous décrivons la formation de la base de connaissance du PLA à partir des brevets fondateurs. L'analyse de ces brevets permet d'identifier les enjeux de la production de PLA qui sont la recherche d'une production en continu, la réduction des coûts de production pour rentrer dans le monde de production des commodités et la gestion de la concurrence entre les plastiques biosourcés et les plastiques fossiles. Ces trois enjeux nous permettent d'étudier la façon dont les acteurs vont gérer ces enjeux en développant une série de mondes de production qui visent à les différencier les uns des autres, à partir de la formation de *joint-ventures* des acteurs les plus importants du domaine. Puis,

cette analyse est mise en mouvement en retraçant les cycles de promesses et de désappointements depuis les brevets fondateurs jusqu'à aujourd'hui. Ce cas permet d'illustrer à partir des promesses, les stratégies de conversion d'un produit qui était d'abord un produit de spécialité (pour les prothèses ou les fils de suture) et que les acteurs cherchent à convertir en produit de commodité. Or cette promesse d'atteindre (à nouveau, après une phase dominée par le pétrole, qui avait évincé les produits d'origine agricole vers les spécialités) des produits chimiques de commodité est un élément constitutif du champ. On comprend donc alors que l'enjeu sur le PLA n'est pas seulement celui de construire une filière nouvelle, mais aussi celui de porter une promesse plus globale.

La deuxième étude de cas, qui ouvre le chapitre 7, celui de l'acide succinique, a été sélectionnée en raison de la publicité dont dispose cette molécule et de sa forte présence dans le champ. On peut parler d'une véritable ruée sur l'acide succinique de la part de firmes majeures du champ, qu'il faut bien expliquer. C'est l'espérance technologique liée à la possibilité de produire cet intermédiaire à des prix d'emblée proches des produits pétroliers qui guide les acteurs. D'où un mimétisme des comportements d'acquisition de droits de propriété intellectuelle sur des souches issues de sociétés des biotechnologies et de *joint-venture* avec ces sociétés. L'économie des promesses fonctionne ici, si l'on ose dire, à plein régime, d'où notre focale sur les cycles de désappointement sur ce produit.

L'étude de cas qui clôt le chapitre 7 est celle de l'acide lévulinique. Sa présence dans les exercices de *backcasting* nous avait étonné : nous avons pu constater le peu d'enthousiasme des chimistes interrogés quant à cette molécule et le peu de publications que l'on a pu identifier dans la littérature à propos de cette molécule en comparaison de l'acide succinique par exemple. A titre d'illustration, on note un rapport d'une publication sur l'acide lévulinique pour dix articles sur l'acide succinique. Or l'intérêt d'une approche en histoire économique longue de ce produit est précisément de pouvoir restituer sa fonction dans la régulation de la construction de l'espace de la bioéconomie. Nous montrerons que la production de l'acide lévulinique biosourcé par voie thermo-chimique est bien connue depuis les années 1940, et que les espérances de produits chimiques issus de cet intermédiaire doté d'une grande versatilité (grande variété d'usages possibles en chimie) ont été documentées de façon systématique. Ces espérances reviennent à intervalle régulier, et c'est tout naturellement vers ce produit que ce tournent les acteurs de la première bioraffinerie aux États-Unis, au point de gagner le soutien du gouvernement sur leurs programmes, et la reconnaissance académique dans les revues de l'État de l'art, durant les années 1990 – donc précisément au moment où se construit l'objet cognitif « bioraffinerie ». Et l'acide lévulinique va rester le produit phare, voire le principal argument de la bioraffinerie thermo-chimique (c'est-à-dire qui ne se situe pas dans l'univers de la bioéconomie des biotechnologies), puisque les *reviews* les plus récentes (sept. 2016) le situent comme un très bon précurseur – non biotechnologique – de... l'acide succinique.

La présente thèse ne vise assurément pas à décrire de façon exhaustive les différentes dimensions de la bioéconomie en train de se faire (les dimensions agricoles ou de pratiques de consommation au niveau des débouchés finaux et de discussion des impacts et défis environnementaux en sont absentes<sup>34</sup>), ni à la décrire en tant que totalité (certaines voies repérées

---

<sup>34</sup> Nieddu et Vivien (2015) insiste sur le fait que le passage à bioéconomie ne sera pas un long fleuve tranquille : demander à nouveau aux ressources renouvelables, non seulement de nourrir les hommes, mais aussi de les

dans l'ANR AEPRC2V n'ont été traitées, mais uniquement évoquées dans cette thèse). Bien plutôt, elle s'efforce de rendre compte des dynamiques fondamentales de constitution du champ de la bioéconomie en un espace mésoéconomique spécifique.

Dans cette étude, deux éléments que les économistes ne retiennent pas nécessairement comme composantes intrinsèques de leur travail ont dû être convoqués.

D'abord l'importance de la matérialité de l'économie : « matter matters too » dirait Georgescu-Roegen (1979, p. 1039). La chimie fait preuve d'une très grande plasticité qui déconcerte parfois l'économiste, et beaucoup des voies technologiques étudiées ici sont fondées sur des molécules précurseurs ou building blocks très versatiles (au sens de pouvant être transformées pour investir un très grand champ d'application). Mais il reste que tout n'est pas possible techniquement, et surtout à des prix acceptables économiquement en dehors du laboratoire. On peut tout faire, en principe et en laboratoire, à partir du carbone, de la très grande variété des matières plastiques au diamant, mais tout n'est pas pertinent économiquement. Et tout n'est pas légitime d'un point de vue social, anthropologique et écologique : il est possible de préparer des steaks à partir de carbone fossile. Ceci explique que nous n'ayons pas pu nous désintéresser en tant qu'économiste de ce qui se passe en chimie. D'où l'intérêt que nous accordons aux apports de la chimie pour mener notre étude.

Ensuite les représentations des acteurs comptent aussi, ce qui justifie qu'on ait assumé d'adopter une position constructiviste dans cette thèse. Ces représentations comptent, car elles sont structurantes de la prise de décision au moment où celle-ci se fait et qu'elle engage une allocation de ressources sur de la recherche, de la construction de démonstrateurs avant même l'allocation sur les investissements de production. Or, ces représentations ne peuvent se construire dans le seul espace de la firme précisément parce qu'elles engagent des « visions du monde » et des « visions du futur » où les acteurs sont interdépendants.

La prise en compte de ces deux composantes est cruciale, car elle permet de comprendre aussi pourquoi nous ne traitons pas des questions économiques dans des espaces globaux indifférenciés. Nous allons chercher à rendre compte de la constitution d'un espace spécifique, structuré par des questions spécifiques, et dans lequel des acteurs se confrontent, car ils cherchent à apporter des solutions différentes. Notre thèse est sous-tendue par l'idée que la compréhension des dynamiques de formation de tels espaces a un enjeu, notamment en matière de politiques publiques dédiées à une transition écologique.

---

habiller, de les loger, de les transporter, de leurs fournir des objets quotidiens à travers des matériaux et des plastiques implique non pas une baisse de la pression sur les milieux, mais une intensification accrue que ce soit au niveau agricole et industriel. Avec Michel Griffon (2015) on doit souhaiter et préparer le chemin d'une « double intensification » économique et écologique.



## PARTIE I

### REGULATION DU CHANGEMENT ET BIOECONOMIE

*« Cela dit, si le monde social, avec ses divisions, est quelque chose que les agents sociaux ont à faire, à construire, individuellement et surtout collectivement, dans la coopération et le conflit, il reste que ces constructions ne s'opèrent pas dans le vide social (...) : la position occupée dans l'espace social, c'est-à-dire dans la structure de la distribution des différentes espèces de capital, qui sont aussi des armes, comment les représentations de cet espace et les prises de position dans les luttes pour le conserver et le transformer. » (Bourdieu, 1994, p. 28)*

*« Quand le système « dépend du chemin », cela signifie qu'il ne suffit pas de connaître son point de départ et les facteurs qui déterminent objectivement le niveau des rendements pour être capable d'en inférer avec certitude le point de convergence. De petits chocs dus au hasard, sans aucune pertinence au regard des données fondamentales du problème, sont capables d'orienter la dynamique à long terme en favorisant la sélection d'un équilibre spécifique. Typiquement, l'économie des grandeurs ne fonctionne plus. Il ne suffit pas de connaître les rendements des options pour savoir celle qui va l'emporter. Pour le comprendre, il faut lui substituer une économie basée sur les relations, qui s'intéresse aux rencontres entre acteurs et aux hasards qu'elles ont produits. » (Orléan, 2013, p. 91)*



# CHAPITRE 1 – UNE LECTURE HISTORICISÉE DES VERROUILLAGES TECHNOLOGIQUES : LE CAS DES FORMALDÉHYDES

Ce chapitre est né d'un séjour au nova-Institut en 2014, durant lequel j'avais été chargé de travailler sur différentes hypothèses de *design* de filières visant à substituer les formaldéhydes. Cette action était liée à un contexte de montée de pressions réglementaires, depuis 2004, ayant entraîné le financement de divers projets européens. Le nova-Institut était par exemple lui-même engagé dans le projet européen Biofoambark<sup>35</sup>. Les acteurs commanditaires de l'étude insistaient sur les innovations de rupture qu'ils apportaient, alors que nous venions au nova-Institut avec un cadre d'analyse des transitions vers une chimie doublement verte et l'usage des ressources renouvelables fondé sur les régularités observées dans les dynamiques de création de connaissances et d'activités économiques, et l'existence de patrimoines productifs collectifs orientant le changement (Nieddu *et alii*, 2014). Ceci nous amenait à travailler à identifier des régimes de production de ces connaissances et activités économiques, à partir de l'idée que dans un même champ, les acteurs se confrontent à différents régimes, soit en portant l'un d'entre eux pour chercher à l'imposer dans le champ, soit en les envisageant comme des portefeuilles d'option pour rester mobiles entre ces régimes.

Une thèse effectuée dans mon laboratoire de rattachement (EA Regards) par R. Debref (2014) montrait que la mobilisation de la littérature relevant de l'économie évolutionniste de l'innovation, dont s'est emparée l'économie écologique, qui semblait relativement aisée et naturelle, s'avérait plus difficile que prévu. Durant les années 1970, dans un contexte de critique du rapport Meadows (1972), certains évolutionnistes, notamment l'équipe de l'Université du Sussex (SPRU), pensent que l'innovation suffira en soit à résoudre les questions environnementales, et ce, malgré les avertissements de Georgescu-Roegen prônant un « programme bioéconomique minimal ». Il va donc émerger durant la décennie suivante un autre débat : celui des critères de qualification d'innovations environnementales en train de se faire, qui aboutit à « l'ouverture d'une "crise existentielle" de ce

---

35

<http://owic.oregonstate.edu/sites/default/files/pubs/Schwab.pdf> ;  
[http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/5233/1/6150%20-%20HCHO\\_survey\\_final\\_report.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/5233/1/6150%20-%20HCHO_survey_final_report.pdf) ;

Et pour quelques exemples d'entreprises actives dans le domaine : <http://www.eco-boards.eu/sample-page/ecoboard-softboard/> ou d'associations [http://www.cei-bois.org/files/REDUCTION\\_OF\\_FORMALDEHYDE\\_EN.pdf](http://www.cei-bois.org/files/REDUCTION_OF_FORMALDEHYDE_EN.pdf) et de projets tanins avec et sans formaldéhydes : <http://www.tondig.com/en/projects/>

Sans formaldéhydes : <http://www.wki.fraunhofer.de/en/departments/vst/profile/research-projects.html> ;  
<http://www.wki.fraunhofer.de/en/departments/vst/profile/research-projects/formaldehyde-free-amino-resins-for-wood-based-materials-and-decorative-paper-coatings.html> ;

<http://www.wki.fraunhofer.de/en/departments/vst/profile/research-projects/alternative-formaldehyde-free-urea-resins-for-wood-based-materials-and-decorative-paper-coatings.html> ;

<http://www.wki.fraunhofer.de/en/departments/vst/profile/research-projects/formaldehyde-emission-from-wood-based-materials.html>

concept. » (Debref, 2014, p.316). Cette « crise existentielle » conduit à distinguer des technologies en « bout de chaîne », cherchant des solutions incrémentales, et des technologies « intrinsèquement propres », ce qui suppose des innovations de rupture, mais aussi d'interroger la problématique schumpetérienne opposant innovation incrémentale et radicale, à partir de la catégorie d'innovation systémique, où l'accent est mis non pas sur la radicalité de l'innovation, mais sur la reconfiguration conjointe du système de production et de l'identité du produit.

L'auteur observait le secteur des revêtements de sols résilients. Ce secteur est, pour ce qui nous intéresse, très ressemblant, par l'usage, dans divers produits du quotidien, d'un PVC suscitant de fortes controverses environnementales à ceux utilisant de façon courante du formaldéhyde – ce secteur étant par ailleurs lui-même fortement utilisateur de colles contenant du formaldéhyde. Or l'observation des dynamiques sectorielles nous a conduit à observer plusieurs voies d'innovations : (1) celles consistant à chercher à substituer terme à terme certaines parties du produit – par exemple en remplaçant certains plastifiants du PVC par des plastifiants d'origine naturelle tels que l'isosorbide de Roquette, selon une stratégie de chimie doublement verte, mais qui maintiennent la forme et les performances du produit ; (2) celles consistant à chercher des améliorations incrémentales de l'impact des revêtements issus de PVC, sur la base d'engagements volontaires des firmes à passer en revue toutes les étapes de leurs *process*, pour obtenir des produits moins impactants ; (3) une innovation de rupture permettant d'éliminer complètement le PVC du revêtement de sol (donc un changement d'identité du produit). Or les acteurs qui défendent cette stratégie de rupture avec le PVC, pour reconfigurer les identités de produit à partir d'une origine biosourcée, doivent être recherchés dans les acteurs défendant un patrimoine productif ancien, celui du linoléum, produit qui avait été démodé par les plastiques synthétiques durant les années 1960-1970<sup>36</sup>.

#### Les enjeux théoriques de l'étude de cas sur les formaldéhydes

Le cas des formaldéhydes pouvait être abordé, de façon classique, comme un cas dans lequel un durcissement de la réglementation est une incitation puissante à ce que les acteurs quittent une trajectoire technologique donnée sur laquelle ils étaient fortement installés depuis des décennies. Le problème devient alors, soit celui des résistances au changement de trajectoire Klitkou *et alii* (2015) qui identifient neuf logiques de lock-in différentes pouvant se combiner, soit celui des technologies à créer pour assurer cette transition (et des résistances à l'adoption de telles technologies ; *cf.* van Loqueren et Baret, 2009 par exemple). Néanmoins, on trouve des éléments dans la littérature empirique (comme Popp *et alii*, 2011 sur les chlorines) pour douter que l'innovation environnementale soit consécutive à l'adoption de réglementations. On observe plutôt un mouvement simultané de réflexion sur de nouvelles voies technologiques et sur la nécessité de réglementer, et l'on peut se demander si la réglementation n'est pas le fruit de compromis qui ne se stabilisent que lorsque des alternatives ont émergé.

Nos travaux dans une perspective régulationniste, tout comme ceux menés dans une perspective évolutionniste néoschumpetérienne par Oltra et Saint Jean (2009), suggèrent d'adopter une autre perspective. Il s'agirait d'observer les changements en train de se faire et la façon dont les

---

<sup>36</sup> On retrouve ainsi l'une des caractéristiques des dynamiques de la chimie verte observées dans le cadre du programme ANR auquel nous avons pu participer (Garnier et Debref, 2014 ; Nieddu *et alii*, 2014) : les chercheurs académiques et industriels cherchent à reparcourir, dans une logique de « rétro-technologies », des sentiers d'exploration des transformations du végétal qui avaient déjà été parcourus, avant l'ère du pétrole peu coûteux.

acteurs nouent concrètement, dans des configurations spécifiques d'industries et de firmes, l'ensemble des contraintes auxquelles ils doivent faire face à partir de leurs capacités réelles, et ce sans préjuger du sens des causalités entre émergences d'institutions et dynamiques économiques : « *The literature on environmental innovations mainly focuses on the role of regulation as a stimulus for technological innovations (...), but not much attention is paid on the innovation process itself and on its features and determinants at the industry and firm levels. A better understanding of the knowledges bases and of the learning processes that underlie the development of environmental innovations may bring new insights on the sources of innovation and on the directions of the resulting technological trajectories.* »<sup>37</sup> (Oltra et Saint-Jean, 2009, p.568). L'enjeu de l'étude de cas est de tester cette démarche afin de dégager un ensemble de questions théoriques qui seront traitées dans le chapitre deux. On suit ici la recommandation de Kemp et Pontoglio (2011) de mobiliser l'étude de cas lorsque les liens entre le régulateur et les acteurs ne sont pas unidimensionnels.

Debref (2016) souligne à cet endroit la difficulté à caractériser *ex ante* des innovations comme environnementales. En effet, il est nécessaire de disposer d'un cadre analytique qui permette de penser les situations en train de se faire, et non de partir de cadre d'analyses *ex post* (par exemple constatant un lock-in à lever ou qu'une innovation est une innovation environnementale). De même, la conclusion de l'article dans la Revue Economique de Nieddu *et alii* (2014) suggère qu'on ne peut se contenter d'un modèle binaire exploration-exploitation sans travailler empiriquement sur ce que les acteurs décident concrètement d'explorer. Ils n'explorent pas dans n'importe quelle direction ni à partir de points de départ pris au hasard et le cycle exploration-exploitation ne répond pas à une séquence linéaire.

#### Plan du chapitre

La première section sera consacrée à la discussion théorique des apports que nous considérons comme convergents de certaines approches évolutionnistes et régulationnistes des innovations environnementales. Pour ce faire, nous montrerons comment ces régulationnistes intègrent ou peuvent intégrer les résultats des approches évolutionnistes autour de la formation de « compromis de produits », ces compromis portant sur le triptyque [efficacité productive/performances du produit sur certaines fonctionnalités attendues/performance environnementale]. Or, ce qui intéresse les régulationnistes, c'est le fait que se constituent des champs spécifiques au sein desquels l'action collective des acteurs se déploie à travers l'opposition de différentes configurations de compromis. Les dynamiques technologiques peuvent alors être interprétées comme résultant de l'action d'acteurs porteurs de patrimoines collectifs hérités qu'ils cherchent à projeter dans le futur, plutôt que comme des verrouillages subis sur des trajectoires qui leur sont imposées. Il y a donc un enjeu pour ces acteurs à sélectionner les verrous technologiques désignés comme devant être levés, et à entraîner l'ensemble des autres acteurs, y compris l'acteur public à participer à cette épreuve, plutôt qu'à d'autres.

---

<sup>37</sup> Pour ne pas prêter à confusion, on rappelle ici que le terme régulation utilisé par nous n'a pas le même sens qu'en anglais ; le *regulation* anglais se réfère à la réglementation publique ; la régulation se réfère à un configuration d'acteurs économiques et d'institution présentant des régularités dans sa dynamique d'évolution, que ce soit dans la co-évolution des dispositifs institutionnels et des organisations ou dans les régimes de fonctionnement économique. Ces configurations historiquement situables peuvent se défaire (lors de « grandes crises ») ou connaître des tensions contenues par des formes de régulation diverses.

Ensuite, nous développerons l'analyse du cas des formaldéhydes en deux temps. Dans la deuxième section, nous avons souhaité resituer le cas sur la longue période correspondant à la mise en place d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques dont le cœur réside dans la mobilisation de la principale propriété économique des formaldéhydes : celle d'être un semi-produit doté, comme disent les chimistes, d'une forte versatilité. Ceux qui contrôlent sa production peuvent déployer ce produit intermédiaire dans un ensemble extrêmement varié de produits de la parachimie. On développera plus particulièrement le cas de la transformation des résines phénoliques en Bakélite. Ce produit, très célèbre, est considéré comme le premier plastique d'origine synthétique industrialisé qui va se décliner dans un ensemble très varié de matériaux moulés, mais aussi stimuler un ensemble de produits dérivés (résines pour vernis, liants et colles, détergents, vernis à ongles ou durcisseurs d'ongles...). Ceux-ci sont à l'origine des principales émissions de composés organiques volatiles dans l'atmosphère à partir de produits de la vie quotidienne.

La dernière section sera consacrée à l'exposé de l'émergence de la contestation des formaldéhydes et, par là même, à la question de l'émergence de régimes de production de connaissances et d'activités économiques alternatives. Elle vise donc à étudier la variété des stratégies de traitement du problème. Une première trajectoire est portée par les firmes de la chimie productrices de formaldéhydes ou de panneaux de bois utilisant des formaldéhydes qui déploient un ensemble de stratégies pour maintenir une utilisation légitime de cette molécule. Deux autres trajectoires, identifiées au sein du projet européen Biofoambark, tiennent dans l'abandon (partiel ou complet) de l'usage des formaldéhydes (« *formaldehyde-free products* »), encore qu'il ne soit pas évident que la substitution par le végétal (respectivement, les tanins et les lignines) ne soit pas une façon de continuer à développer les mêmes produits<sup>38</sup>.

---

<sup>38</sup> Dans un domaine proche, celui du débat sur le bisphénol A, on a pu assister à la recherche d'une voie de production à partir d'épichloridrine biosourcée, d'un bisphénol A biosourcé, et donc de ce fait classé comme un produit de la chimie verte (Caillol, 2011).

# 1. Régulation, évolutionnisme et innovation : quelle lecture des verrous technologiques ?

Il peut paraître étonnant de mobiliser des approches régulationnistes pour traiter de questions d'innovation, alors que celles-ci sont traditionnellement perçues comme des cadres théoriques décrivant la stabilité de structures. Par exemple, Faucher et de Bresson (1991, p.31) critiquèrent Boyer en affirmant que « *nous croyons que la régulation, contrairement à ce que Boyer suggérait dans un texte récent [il s'agit de Boyer, 1988 ; NdA], ne peut pas aider à la compréhension des changements technologiques à cause de sa perspective méthodologique.* ». *L'approche régulationniste ne traiterait la technologie que « comme une constante qui reste externe à la régulation, il est clair que la régulation n'est pas en mesure d'expliquer le processus de changement. » (Ibid., p.32), qui serait par essence « discontinuité et déséquilibre par des chocs endogènes générés par le système économique. » (Ibid., p.33).*

Amable et Lordon (1992) ont fait une réponse circonstanciée (et assez vive...) à cet article, dont nous extrayons les éléments qui nous intéressent pour le débat présent. Les auteurs rappellent que « *la théorie de la Régulation aligne sur le thème du changement technologique des travaux tant théoriques qu'appliqués* » (Amable et Lordon, 1992, p.71). Loin de privilégier la stabilité et la reproduction par rapport au « déséquilibre » d'où seul peut naître le changement, les régulationnistes s'intéressent fondamentalement à la dialectique structure/acteurs : « *La restauration d'une marge de manœuvre des acteurs au sein des structures est précisément le point qui fait le départ de la théorie de la Régulation du marxisme althussérien. À ce titre la Régulation participe pleinement de ce courant d'idées qui, à l'instar de la sociologie de Bourdieu, avec sa notion d'habitus, tente d'assouplir les termes de l'alternative entre structures en reproduction et agents parfaitement autonomes.* » (Ibid., p.72). Cette position apparaît encore plus clairement à la lecture de « **LA TRAME, LA CHAÎNE ET LA RÉGULATION** » (Lipietz, 1988) dont le projet est explicitement de penser « *le ferment d'instabilité et de changement que représente la possible déviance des individus ou des sous-groupes sociaux* » (Ibid., p. 1). La cohérence entre un régime d'accumulation et un mode de régulation s'instaure dans des périodes provisoires de croissance « ordonnée » ou régulière, ce qui n'exclut pas le caractère éminemment transitoire du fonctionnement « en régime » de l'économie.

Néanmoins, la critique est venue également de l'intérieur des approches régulationnistes<sup>39</sup>. Certaines d'entre elles insistent sur la variété des types de progrès techniques dans les industries notamment dans les industries de biens d'équipement ou en continu de produits intermédiaires qui ne peuvent être assimilées aux *process* fordien et mobilisent d'autres bases de connaissances scientifiques (Barrère *et alii*, 1984). Ils insistent alors sur la nécessité que l'analyse n'englobe pas seulement la régulation des structures ou du fonctionnement économique, mais aussi la régulation du mouvement, et donc du changement technique : « *la conception de la régulation reste partielle en privilégiant l'étude de la régulation des structures et du fonctionnement et en faisant relativement l'impasse sur le problème de la régulation du mouvement du système.* » (Barrère *et alii*, 1984, p.494).

De fait, les approches évolutionnistes connaissent des débats identiques sur les rapports entre analyses structurelles (l'approche en termes de paradigmes technologiques par exemple),

---

<sup>39</sup> Du moins si l'on ne réduit pas les approches régulationnistes, comme c'est souvent le cas, à « l'approche parisienne » de la régulation.

changements et régularités observables en dynamique. La dynamique évolutionnaire est le fruit de propriétés émergentes, sélectionnées par l'environnement, et qui installent des régularités à travers un verrouillage sur des trajectoires technologiques. Ces trajectoires technologiques sont, d'après Arthur (1989), le résultat d'accidents historiques initiaux ayant pour conséquence de créer une dépendance au sentier et d'imposer une technologie. Le corollaire de cette position est une conception en termes de dépendance au sentier qui permettrait d'expliquer le maintien dans le temps des situations sous-optimales (comme l'illustre David [1985] par sa célèbre étude de cas du clavier QWERTY). Mais pour d'autres auteurs évolutionnistes, ce sont les bases et connaissances et les routines qu'elles génèrent dans des paradigmes qui forment ces régularités. Toujours est-il que, d'un point de vue régulationniste, les trajectoires des évolutionnistes seraient donc une forme de régulation du changement dont il convient d'explicitier la formation, la stabilité directionnelle (dynamique de changement) et les remises en cause.

Nous nous proposons ici d'exposer deux types de travaux portant sur la régulation du changement qui nous intéressent plus directement de par le champ empirique mobilisé : dans le (1.1.) les travaux régulationnistes de Nieddu (2000) portant sur l'innovation dans les biopolymères et l'articulation trajectoire/régulation du changement ; dans le (1.2.) ceux de Oltra et Saint-Jean (2009) poursuivis par Brouillat *et alii* (2013) sur le champ de l'innovation environnementale dans la chimie ; ceci vise à aboutir dans la sous-section (1.3.) à la discussion sur les lock-in et les innovations incrémentales et radicales, qui nous servira dans l'étude de cas des formaldéhydes.

### 1.1. Une lecture régulationniste de dynamiques économiques : le cas des biopolymères

Les publications de Nieddu (1999, 2000) se sont intéressées à un champ en formation durant les années 1990, celui des « biopolymères » à travers l'étude des brevets de ce champ. Comme dans toutes les constitutions de champs que nous étudions (la bioraffinerie, la chimie verte ou doublement verte, la bioéconomie, le développement durable...), les constructions sémantiques associées ne manquent pas d'ambiguïté puisque le terme était déjà utilisé pour désigner des matériaux polymères à usage médical<sup>40</sup>. Or le terme va être préempté par les agro-industries des producteurs de grande culture qui imaginent que les progrès du génie génétique et de la chimie vont leur permettre d'exercer un métier de « moléculculteurs », c'est-à-dire de producteurs chaînes carbonées, indifféremment à un usage alimentaire et non alimentaire (Hervieu, 1991).

Le champ ainsi constitué correspond au recouvrement de trois sens différents : (1) des polymères issus d'un procédé bioindustriel (au sens de consistant à traiter des matières par des agents biologiques pour produire des biens) sans que ces matières soient nécessairement issues de la biomasse ; (2) des polymères issus de la biomasse réalisés par des procédés enzymatiques ou chimiques, dont le caractère « bio » n'est pas assuré par principe – on a donné l'exemple ailleurs d'une voie bisphénol A biosourcée... — ; des polymères biodégradables, indifféremment issus de substrats agricoles ou fossiles. Cette définition du champ des biopolymères montre qu'il ne s'agit pas d'un

---

<sup>40</sup> Certains matériaux, que l'on va retrouver dans la suite de la thèse, comme les polyacides lactiques vont d'ailleurs « migrer » des applications médicales de matériaux compatibles avec le corps humain (d'où l'appellation biomatériaux) vers d'autres applications intéressant les agro-industries (composition d'emballages biodégradables).

paradigme technologique au sens de Dosi, c'est-à-dire d'un mode dominant de résolution de problèmes productifs utilisant une base de connaissances communes et qui rend prévisibles des évolutions technico-économiques, mais d'un compromis entre acteurs acceptant de reconnaître comme faisant partie du champ des produits de trajectoires différentes.

L'auteur montre alors qu'il existe trois postures régulationnistes différentes posant chacune un problème, de façon différente, mais attirant chacune l'attention sur un pan de la réalité. Dans la première, les changements scientifiques et technologiques exogènes ne sont pas condamnés à induire une voie économique particulière, et il est toujours possible aux dynamiques sociales de les orienter de façon positive (Duharcourt, 1998). Dans la seconde Dockès (1998), ainsi que Berlan (1989, 1998) insistent sur le caractère précoce du marquage de l'innovation par des intérêts économiques du fait de dispositifs sociaux de sélection dominés par ces intérêts lors des orientations données à la recherche : « *loin d'être sélectionnées parce qu'elles sont efficaces, les innovations le sont parce qu'elles reproduisent ou renforcent des rapports sociaux, des formes diverses de domination* » (Dockès 1998, p. 96, cité par Nieddu, *op. cit.*, p.89). D'autres travaux régulationnistes (Amable *et alii*, 1997) tout comme les travaux scandinaves en termes de systèmes d'innovation et de production mettent en évidence une diversité de systèmes aux logiques internes différentes. Dans le cas des systèmes nationaux, Lordon (1997) interprète ce cadre conceptuel comme une généralisation de la théorie de l'avantage comparatif à un « avantage comparatif institutionnel » qui conduit chaque système à posséder une dynamique de mobilisation du système scientifique spécifique, et à se spécialiser sur les productions industrielles correspondantes. « La nature ne fait pas de sauts » dit Lordon et les innovations vont se faire au voisinage de la configuration à un instant donné.

La question centrale posée dans le document est la suivante : comment, dans la phase de désordre technologique liée à la très grande variété des voies de développement de biopolymères et aux incertitudes sur leur développement observée par Nieddu (2000) se forment des régularités de comportement des acteurs principaux ? La réponse que donne l'auteur est la suivante. Même s'ils « ne savent pas l'histoire qu'ils font », les acteurs élaborent des projets stratégiques précisément parce que l'existence de tels projets est le mode de traitement de l'incertitude. Ils savent également que ces projets permettent d'attirer d'autres acteurs pour créer des situations de verrouillage autour des techniques qu'ils explorent. L'auteur mobilise alors les travaux en gestion de l'innovation (Ponsard, 1993) qui montrent que, plutôt qu'une planification rigide, on assiste à la construction de « mythes rationnels » reposant sur une hypothèse rendue crédible par des argumentaires technico-scientifiques sur les espérances de débouchés de long terme. Le mythe opère comme un scénario non figé, capable d'intégrer les contraintes à mesure qu'elles sont identifiées, et surtout de désigner les verrous technologiques à lever sur lesquels orienter l'effort scientifique et les aides publiques. La notion de verrou est alors utilisée dans un autre sens que celui des lock-in sur une trajectoire. Car il s'agit de verrous à lever dans la trajectoire désignée par le mythe rationnel. En situation de désordre technologique, l'éclatement des principes techniques dominants conduit à une variété de mythes rationnels contradictoires.

Les mythes rationnels sont donc des indicateurs particulièrement visibles dans les situations de désordre technologique des stratégies de marquage social de l'innovation, et leurs scénarios incorporent une représentation de ce que doit être le rôle dynamique de la science.

L'auteur montre alors que, dans cette situation de désordre technologique, des régularités significatives peuvent être observées :

- (1) L'orientation de la recherche scientifique et technologique sur des produits agricoles issus des régions mobilisées sur les biopolymères, alors que d'un point de vue scientifique pur, la recherche pouvait se faire sur tout type de substrat végétal voire sur des plantes que la recherche fondamentale considérerait comme plus performantes.
- (2) L'orientation des recherches sur les chaînes carbonées bien connues de la chimie du pétrole, afin de travailler par imitation sur la production de chaînes carbonées identiques, mais à base agricole.
- (3) La recherche du polymère-clé, celui qui permettra de prendre le contrôle de filières en reproduisant en la matière les stratégies schumpétériennes des grands de la chimie, de constitution d'oligopoles spécialisés, à partir de polymères-clés dotés d'une grande versatilité<sup>41</sup>. Pour l'anecdote, l'auteur note que les espérances autour des promesses de polymères candidats à cette position auraient dû attirer une agglomération de firmes utilisatrices provenant de la parachimie.
- (4) Or celles-ci ne sont ni pressées de changer leurs *process*, ni de réaliser de nouveaux investissements, ni d'entrer de nouvelles compositions dérégulant leurs machines et leurs savoir-faire.

L'auteur identifiait donc à la fois des régularités dans les dynamiques d'innovation par conséquent que le changement est ordonné, mais aussi une situation d'échec des stratégies schumpétériennes du fait d'une contradiction fondamentale entre l'appropriation d'une position dominante et la nécessité de coordonner l'effort d'apprentissage sur les nouveaux produits intermédiaires. Ceci explique deux autres régularités observées, la montée en puissance des stratégies de *joint-venture*, et de « projets démonstratifs », comme formes d'exploration des apprentissages.

## 1.2. Au-delà des systèmes sectoriels d'innovation, les régularités de changements dans l'analyse des innovations environnementales

L'approche sectorielle de Malerba a servi de base à Oltra et Saint-Jean pour développer un cadre d'analyse à même de décrire les innovations environnementales. À l'origine, l'approche par les systèmes sectoriels d'innovations et de production (SSIP) (Malerba, 2002, 2005) avait pour but d'analyser les différences intersectorielles et leurs effets sur les différences en termes de croissance et de performances. L'approche par les SSIP observe l'impact de l'innovation sur la formation de secteurs définis par l'articulation entre une base de connaissance, la forme de la demande et les institutions sectorielles : « *In a dynamic way, the focus on knowledge and the technological domain places at the centre of the analysis the issue of sectoral boundaries* » (Malerba, 2005, p.385). Au cœur de ces évolutions, Malerba (2002) reprend deux hypothèses classiques des évolutionnistes. (1) Les dynamiques économiques sont animées par une séquence « création de variété → sélection d'un *dominant design* ». (2) La sélection d'une technologie (et par conséquent la destruction de la variété produite, dans la logique néo-schumpétérienne) se fait sur la base de la détermination de rendements

---

<sup>41</sup> C'est-à-dire utilisables dans les *process* d'un ensemble de domaines. Les cycles d'espérances sur ces polymères-clés conduisent à des ce que certains d'entre occupent la position enviée de vedette médiatique, du moins momentanée. Par exemple, à la fin des années 1990, le polycaprolactone apparaissait comme un bon candidat comme base de co-polymères fossile-biomasse biodégradables.

croissants d'adoption. Par conséquent, l'objectif, lorsqu'on traite de politiques publiques environnementales, est d'orienter le soutien à des trajectoires technologiques considérées comme devant former le nouveau *dominant design*. Néanmoins, Malerba reste gêné à cet endroit par la contradiction en dynamique entre la reconnaissance comme fait stylisé de l'hétérogénéité intrasectorielle et l'homogénéité du *dominant design* (notre entretien avec Malerba lors de l'École d'Été du Réseau de Recherche sur l'Innovation d'août 2012). Ce qui nous intéresse ici est le fait que précisément en utilisant ce cadre analytique, Oltra et Saint Jean dégagent une grande régularité quant à l'existence de voies diversifiées, reposant sur des bases cognitives différentes au sein du même secteur dans les processus d'adoption d'innovation environnementale. Le point qui nous intéresse particulièrement est la façon dont les auteurs vont travailler la variété des « compromis de produits ». On va rappeler d'abord rapidement le contenu de ce modèle canonique et la façon dont les auteurs l'utilisent avant d'aborder cette question.

#### 1.2.1. Le modèle canonique réinterprété pour traiter des questions environnementales

Les auteurs proposent d'utiliser le modèle canonique mettant en interaction les régimes technologiques, la forme de la demande et les institutions. Elles intègrent donc à la fois « the instruments of environmental and innovation policy » du champ concerné (Oltra et Saint-Jean, 2009, p.568). L'objectif est de définir des « *sectoral patterns of environmental innovation* ». Ici, les innovations sont considérées comme suit : « *by acknowledging that environmental innovations, like innovation in general, result from a dynamic and interactive process of knowledge creation and diffusion, the emphasis is put on the coevolution between the various elements of the system* » (*Ibid.*, p. 572).

Les régimes technologiques « *corresponds to a description of the technological environment in which industrial firms operate. It identifies the properties of learning processes, sources of knowledge and nature of knowledge bases that are associated with the innovation processes of firms active in distinct sets of production activities.* » (*Ibid.*, p.568). Cet outil est utilisé pour décrire les dynamiques microéconomiques dans les innovations environnementales. Les auteurs distinguent alors des dynamiques *technology push*, *demand pull* (qui peuvent concerner les attentes des clients industriels et le rôle des niches de marché), ou *institutional push /pull* (effet des instruments de politique publique tels que les normes et labels, information sur les produits et les instruments de stratégie d'innovation tels que normes, subventions, programmes de recherche etc.).

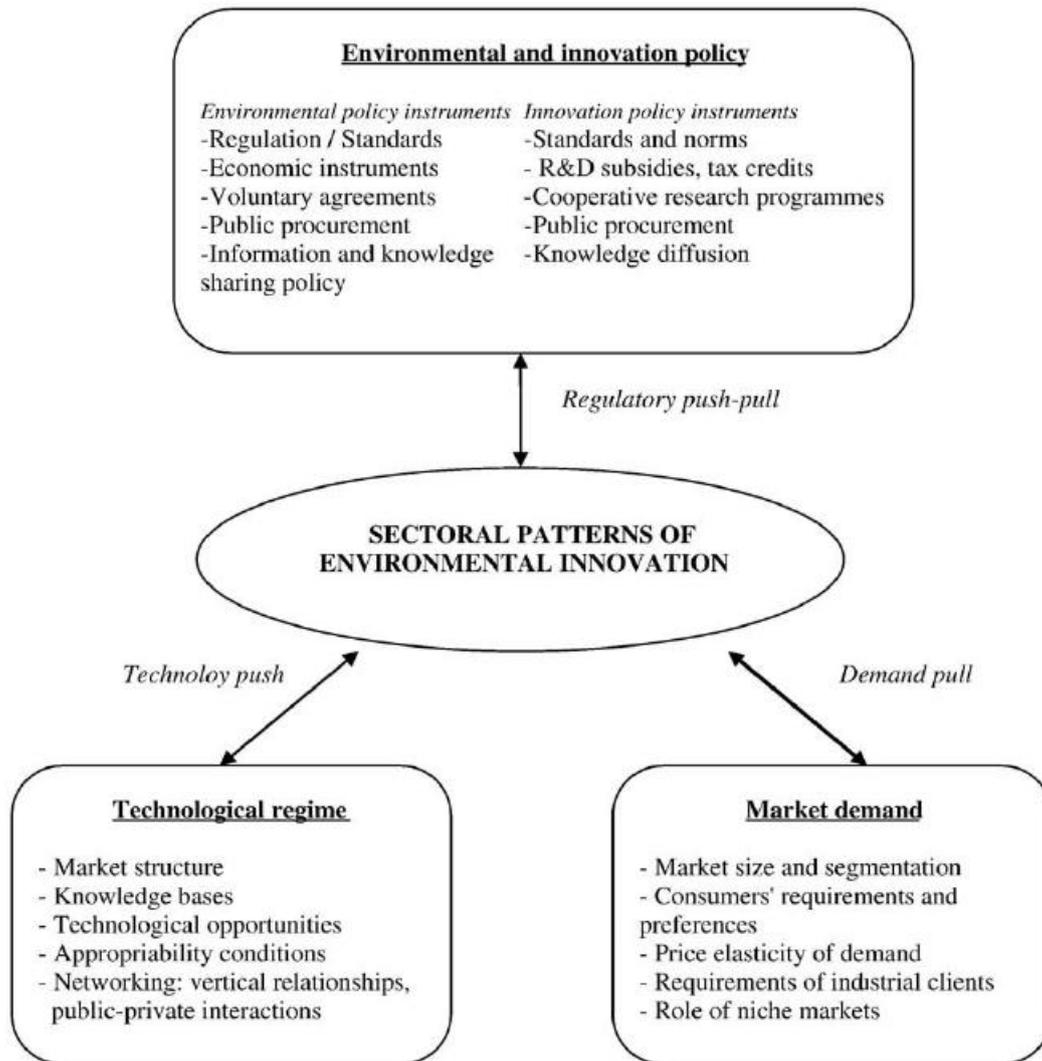


Figure 5 : Le cadre d'analyse évolutionniste sectoriel des innovations environnementales (Oltra et Saint-Jean, 2009, p.572)

Ce cadre a été appliqué par les deux auteurs au cas de l'industrie automobile, et au débat sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre<sup>42</sup>. Sur cette étude, les auteurs dégagent deux scénarios d'exploration, le premier sur la trajectoire dominante (les véhicules à combustion interne), le second sur les trajectoires alternatives (les véhicules à batterie électrique et les batteries à pile à combustibles). Malgré une majorité de brevets déposés appartenant au *dominant design*, les auteurs expliquent que les constructeurs automobiles se constituent peu à peu un portefeuille de brevets sur les technologies alternatives. Néanmoins le scénario-cible implicite reste la question d'un grand basculement d'un *dominant design* dans un autre et des facteurs structurels empêchant ce grand basculement (les acteurs étant agis par ces facteurs structurels).

<sup>42</sup> Le premier véhicule à rouler avec une pile à combustibles fut un tracteur américain à la fin des années 50. Cette technologie a ensuite été utilisée dans l'aérospatiale dans le programme Apollo. Par ailleurs, on trouve une série de véhicules à pile à combustible à partir des années 1990. Notons au passage qu'un des modèles (une Mazda Demio FC-EV) utilisait du méthanol, le précurseur du formaldéhyde, pour le fonctionnement de la pile.

### 1.2.2. Le rôle des politiques publiques pour stimuler l'adoption d'innovations radicales

Les auteurs partent ensuite d'un constat partagé par l'ensemble de la communauté des chercheurs : les réglementations publiques semblent conduire les acteurs à chercher des ajustements rapides par des technologies dites end-of-pipe plutôt que de nouveaux procédés propres nécessitant de revoir l'ensemble des *process*. Ils dessinent ainsi des schémas idéaux de renforcement du management de l'environnement.

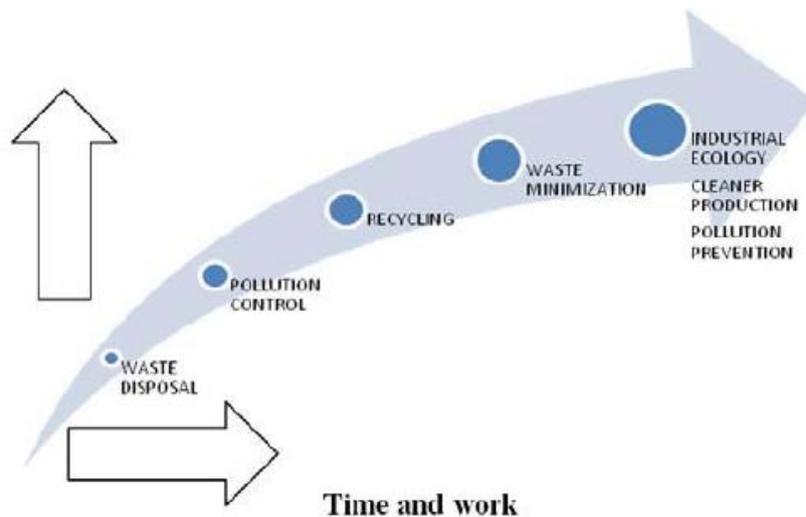


Figure 6 : Un exemple de schéma idéal de management de l'environnement (Dooranasy, 2015, p.61)

Ceci amène un certain nombre d'auteurs du domaine à reclasser les innovations environnementales en deux catégories au nom d'un schéma idéal – qui a son intérêt lorsqu'on veut amorcer des trajectoires de transition vers la soutenabilité, mais ce n'est pas le propos ici. Les innovations radicales sont des « technologies éco-innovantes préventives qui cherchent à réduire ou éliminer la pollution à la source » (Brouillat et alii, 2013) alors que les innovations incrémentales sont des innovations curatives. Les innovations incrémentales auraient tendance à plus se développer que les innovations radicales. La faible diffusion des innovations radicales est attribuée à l'existence de phénomènes de lock-in liés à la nécessité d'intégrer les innovations dans le système productif.

Ces auteurs mettent au centre du processus le développement d'innovations environnementales les politiques publiques : « un des principaux critères pour juger de la performance des instruments de politique environnementale réside dans leur aptitude à stimuler la R et D et l'adoption de technologies respectueuses de l'environnement. L'efficacité dynamique de la réglementation se définit alors comme sa capacité à stimuler le développement et la diffusion d'éco-innovations (...). En effet, en favorisant les firmes les plus vertueuses sur le plan environnemental et en pénalisant les plus faibles, la politique environnementale est à même de redistribuer les cartes sur le marché. Elle offrira de nouvelles opportunités de profits pour certaines firmes, en poussera d'autres vers la sortie et permettra l'entrée de nouvelles. » (Brouillat et alii, op. cit., p.100). La vertu des politiques environnementales est de stimuler des *push-pull effects* mais les effets de ces politiques dépendent de leur degré de sévérité et de leurs orientations. Dans ce cadre, l'espace économique, dans lequel prennent place les stratégies d'acteurs, est donc considéré *a priori* comme celui des politiques publiques.

La méthodologie déployée repose sur une séquence en deux temps : identification du *dominant design* associé à de l'innovation incrémentale, puis identification de trajectoires alternatives, identifiées comme de l'innovation radicale. Ce sont deux niveaux d'analyse qui se superposent. Les innovations au sein du *dominant design* ne pourraient être qu'incrémentales, car elles s'inscrivent dans le *dominant design*. Dans le cas des innovations radicales, elles sont considérées en tant qu'elles ne sont pas issues de la technologie dominante. Mais, comme ces innovations s'inscrivent dans des trajectoires technologiques, décrites comme des voies sur lesquelles le potentiel technologique est exploré, pourquoi ces innovations ne seraient-elles pas, elles aussi, incrémentales ? Ce qui est décrit comme une innovation radicale peut être interprétée comme l'impulsion qui va générer une nouvelle trajectoire, au sein de laquelle se déploient des innovations incrémentales. Si l'on admet qu'au sein de ces trajectoires ne se déploient que des innovations radicales, comment celles-ci peuvent être alors adaptées au sein du système productif ? Par exemple, elles peuvent conduire à la formation de « niches vertes », et rien n'indique que ces niches deviendront par la suite un *dominant design* si l'on tient compte de la variété des trajectoires technologiques, pointées par les auteurs.

On bute ici sur un problème pointé par R. Kemp (2010) dans un texte introduisant cette polémique : « **SUSTAINABLE TECHNOLOGY DO NOT EXIST !** » (en soi). Celui-ci reprend des études de cas notamment sur les façons d'éviter le relargage de chlore dans les processus papetiers. L'étude semble montrer que les *process* « *chlorin-free* » ne sont pas nécessairement plus verts que les *process* utilisant de la chlorure en univers confiné. Kemp souhaite alors attirer l'attention sur la façon dont des innovations ponctuelles s'insèrent dans des systèmes. Cette discussion, en termes de systèmes, entraîne une autre sur les niveaux de complémentarité au sein de ces systèmes : Murmann et Frenken (2006) les traitent en termes de « pléiotropie », un concept importé de la biologie, dans laquelle un gène ou une protéine détermine plusieurs caractères phénotypiques ; ainsi une mutation sur un maïs peut en améliorer le rendement, mais en détériorer la digestibilité.

### 1.2.3. Les innovations environnementales comme compromis

On en arrive alors à la notion de « compromis de produits » (ou « compromis technologiques ») évoquée plus haut, mobilisée par Oltra et Saint Jean (2009) ou Brouillat *et alii* (2013) pour rendre compte des effets directs et indirects des innovations environnementales : « *en particulier, le lien entre les modifications des procédés de production et les caractéristiques de produits est souvent problématique : il faut que les firmes trouvent les bons compromis technologiques consistant à améliorer les performances environnementales de leurs procédés tout en maintenant les exigences au niveau des caractéristiques du produit final* » (Brouillat *et alii*, 2013, p.91). Elles cristallisent des « *arbitrages multiples entre les dimensions technologiques, réglementaires et les exigences des consommateurs* » (Brouillat *et alii*, 2013, p.91).

Les « éco-innovations » (ou les produits) sont décomposées en fonction de leurs performances et des technologies utilisées. Les auteurs retiennent trois dimensions qui forment le compromis de produit : l'efficacité productive, les performances environnementales et les performances du produit. L'efficacité productive évalue « *plusieurs facteurs tels que l'utilisation des matières premières, la consommation énergétique, les coûts de maintenance et de stockage, les coûts de collecte et de traitement des déchets, les rendements et délais de production (...)* » (Brouillat *et alii*, 2013, p.90). Le deuxième facteur évalue les performances environnementales qui sont « *multidimensionnelles selon les milieux ou les polluants visés, mais aussi selon qu'elles concernent la qualité environnementale du*

procédé ou du produit (...). » (*Ibid.*, p.90). Le dernier facteur, les performances du produit concerne « la qualité technique, la durée de vie, la recyclabilité (...). » (*Ibid.*, p.90)<sup>43</sup>.

D'après les auteurs, il existerait une contradiction essentielle entre le respect des normes (comme la diminution des émissions de composés organiques volatiles ou la réduction des émissions de gaz à effet de serre) et le maintien de niveaux performances techniques élevés. Cette hypothèse permet d'établir une représentation stylisée des trajectoires des éco-innovations :

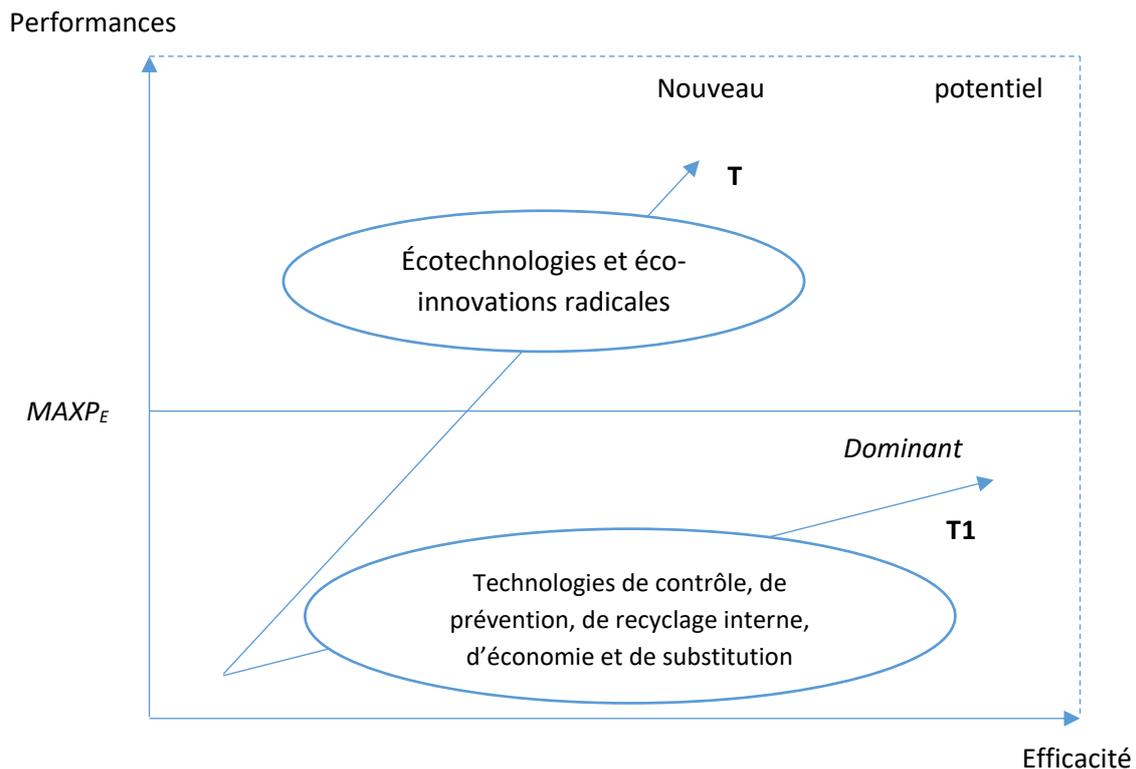


Figure 7 : Les trajectoires technologiques des éco-innovations (d'après Brouillat et alii, 2013, p.93)

Dans ce schéma, la représentation à trois dimensions est réduite à deux probablement pour des raisons de stylisation du propos. La stylisation vise à faire apparaître le point suivant : les innovations réalisées dans le *dominant design* ne peuvent, par hypothèse dans cette stylisation, dépasser un certain niveau d'amélioration environnementale (le plafond marqué par MAXPe), tout en atteignant des performances économiques importantes (ces innovations comprennent les technologies de contrôle, de prévention, de recyclage, d'économie et de substitution d'input. Alors que la seconde trajectoire (T2) « est celle qui permet de changer le modèle dominant et d'ouvrir un nouveau potentiel technologique. » (*Ibid.*, p.93) en matière de gains environnementaux. On remarquera que la stylisation induit l'idée que la nouveauté ne permet pas d'atteindre le même niveau

<sup>43</sup> Il est très curieux que dans la définition de la performance du produit soit prise en compte la recyclabilité et qu'elle ne fasse pas partie de la performance environnementale, alors que dans le cas des plastiques biosourcés par exemple, la non-biodégradabilité et la recyclabilité sont mises en avant comme une performance environnementale (cf. Szaky, 2015 par exemple). Il est probable que les auteurs analyse les produits ici en termes de fonctionnalités, certaines fonctionnalités amenant ou non la recyclabilité dans une perspective de pléiotropie.

(en abscisse) d'efficacité économique, d'où la question du choix de compromis entre les trois dimensions à réaliser par les acteurs.

Cette représentation ambitionne de fournir une caractérisation permettant de différencier d'un point de vue environnemental une innovation incrémentale (T1) d'une innovation radicale (T2). Ces caractérisations sont de fait, dans la pratique des chercheurs des données sur dires d'experts. Elle a en revanche l'intérêt d'attirer l'attention sur deux points.

Le premier est que : « *The literature on environmental innovations mainly focuses on the role of regulation as a stimulus for technological innovations (...), but not much attention is paid on the innovation process itself and on its features and determinants at the industry and firm levels. A better understanding of the knowledges bases and of the learning processes that underlie the development of environmental innovations may bring new insights on the sources of innovation and on the directions of the resulting technological trajectories.* » (Oltra et Saint-Jean, 2009, p.568). Le second est que les compromis décrits par les auteurs sont des compromis hégémoniques comme dans les approches régulationnistes. Les contradictions entre les trois dimensions sont réglées par des acteurs sous la forme de la domination de l'un des éléments qui détermine alors une trajectoire de changement : de ce point de vue, les changements sont bien ordonnés (au sein d'un ordre dominant), et les situations de transition ne relèvent pas d'une simple exploration-exploitation, mais d'une trajectoire où l'exploration est déterminée par un type de compromis. Les auteurs écrivent : « *Dans cette optique, le progrès technologique tend à suivre certaines trajectoires technologiques qui correspondent à un compromis évolutif entre les différentes variables, ou dimensions, définies par le paradigme.* » (*Ibid.*, p.92).

Nous adhérons à l'idée qu'il existe effectivement des « compromis de produits » qui fixent des configurations particulières et des régimes de production de connaissances et d'activité différents selon ces compromis. Néanmoins il nous semble que la définition pose un problème technique, car il s'agit alors de définir les paradigmes concurrents et la façon dont les acteurs s'en emparent. C'est, par exemple, un débat entre les équipes de recherche de Reims et de Bordeaux sur la question de la chimie verte. L'équipe de Bordeaux (Epicoco *et alii*, 2014) retient que la chimie verte constitue un nouveau paradigme, alors que pour l'équipe de Reims (Nieddu et Vivien, 2012 ; Nieddu *et alii*, 2014), c'est un ensemble de principes non contraignants qui permet précisément aux acteurs de sélectionner les principes par eux atteignables. Dans l'article de bilan de l'ANR rémoise sur la chimie verte réalisé pour la revue Nature Sciences et Société (existe-t-il réellement un nouveau paradigme de la chimie verte ?), les auteurs séparent les intentions des fondateurs de la chimie verte, qui sont bien de chercher à créer un nouveau paradigme, de la façon dont le champ social s'est construit entre sciences et techniques et économie. Ils identifient alors de grandes familles de trajectoires qui correspondent à la fois à des bases de connaissances, des *process*, et des progrès possibles qui s'opposent en termes paradigmatiques.

Si l'on articule ce résultat avec celui proposé par R. Kemp (la difficulté à déterminer si une innovation considérée comme radicale, du point de vue environnemental, va réellement produire des effets supérieurs à celle considérée comme incrémentale), on obtient donc l'idée que les acteurs sont porteurs de trajectoires qu'ils cherchent à légitimer en mettant en avant la capacité de celles-ci à tenir des promesses environnementales. On va bien sûr se trouver à propos des formaldéhydes dans cette situation.

## Conclusion de la section : des lock-ins aux patrimoines productifs collectifs, explorer la boîte noire de la sélection des technologies

Arthur (2011) propose trois hypothèses de travail afin d'explorer ce que peuvent être les technologies. La première, habituelle chez lui, tient au constat que les technologies ont été traitées comme des « boîtes noires » : « *the people who have thought hardest about the general questions of technology have mostly been social scientists and philosophers, and understandably they have tended to view technology from the outside as stand-alone objects. There is the steam engine, the railroad, the Bessemer process, the dynamo, and each of these is a boxed-up object with no visible insides – a black box, to use economic historian Nathan Rosenberg's term. (...) If we want to know how they relate to each other, and how they originate and subsequently evolve, we need to open them up and look their inside.* » (Arthur, 2011, p.14). Cette première hypothèse vise à prendre en considération la composition interne de la technologie, ne plus la prendre comme donnée.

La deuxième hypothèse est plus originale, car de notre point de vue nouvelle chez Arthur, et reliée aux observations faites par le laboratoire Regards de Reims sur les patrimoines productifs collectifs mobilisés dans des trajectoires historiques : « *what we should really be looking for is not how Darwin's mechanism should work to produce radical novelty in technology, but how « heredity » might work in technology.* » (*Ibid.*, p.18). D'un certain point de vue, celle-ci peut être opposée à la troisième hypothèse, hypothèse de sélection des technologies sur la base de leur efficacité : « *This is because it has different purposes to fulfill, different environments to operate in (different 'habitats' to adapt to, if you like), and different designers who use different ideas. From these variations, some perform better and are selected for further use and development; they pass on their small differences to future designs. We can then follow Darwin and say that 'it is the steady accumulation, through natural selection, of such differences, when beneficial to the individual, that gives rise to all the more important modifications of structure.' In this way technology evolves.* » (*Ibid.*, p.17). En effet, la reconnaissance du caractère localisé d'une technologie doit entraîner aussi le constat que, pour l'acteur qui la porte, l'efficacité est analysée localement. Tant que l'acteur lui-même n'a pas disparu et qu'il espère toujours qu'elle lui apportera quelque chose, il considère alors la technologie – toutes choses égales par ailleurs – comme lui apportant une compétitivité, il n'y a pas de raison qu'il adopte des technologies considérées par d'autres comme plus efficaces. Ainsi, le processus d'exploration et de sélection des technologies est guidé par l'hérédité portée par ces technologies et, ajoute Arthur, les espérances sur cette hérédité : « *This introduces something not yet considered in our discussion – expectations.* » (Arthur, 1988, p.601).

### Endogénéiser l'analyse des verrous technologiques

Il apparaît donc, à la lumière d'une relecture régalionniste des approches évolutionnistes, qu'il est possible d'endogénéiser la lecture des verrous technologiques et de la sélection des technologies. L'approche par les patrimoines productifs collectifs rend prudent sur l'explication exogène comme les « accidents historiques ». Il est également nécessaire d'amender l'hypothèse des rendements croissants d'adoption ; du moins la notion ne fonctionne en l'état qu'*ex post* : on constate les rendements croissants d'adoption, mais on n'a pas de réponse sur les rendements qu'auraient pu donner des situations alternatives – tout au plus peut-on dire que les acteurs cherchent à agglomérer autour de leurs innovations des utilisateurs pour déclencher le régime de rendements croissants —. Si l'on veut analyser les situations en train de se faire, ce ne sont que les rendements croissants

d'adoptions *espérés* et non réels qui sont les drivers du changement. Nous sommes donc dans une économie des promesses technico-économiques (au sens de Joly, 2010) où la promesse porterait sur la promesse de réussir à lever les verrous identifiés sur la trajectoire pour atteindre la zone des rendements croissants. La lecture que nous proposons peut être résumée comme suit :

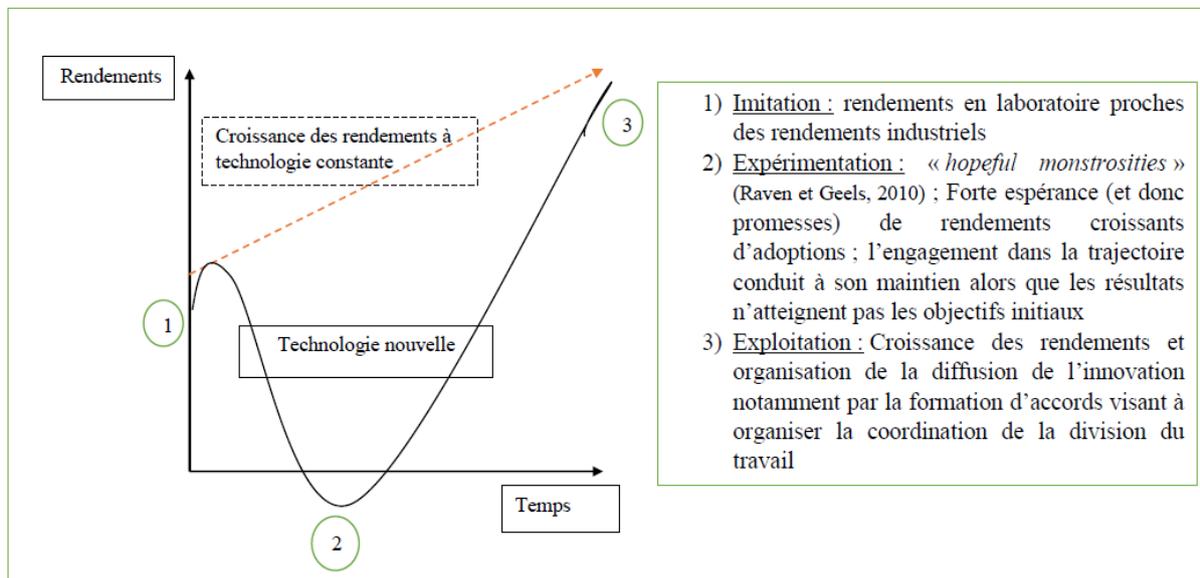


Figure 8 : Représentation stylisée des rendements croissants et rendements croissants espérés

À une première phase de tests en laboratoire d'une nouvelle technologie succède une phase d'expérimentation sur des démonstrateurs et pilotes industriels. La sociologie des sciences décrit cette phase comme des *hopeful monstrosities* (Raven et Geels, 2010), c'est-à-dire des technologies pleines d'espoir de rendements croissants, car elles ont fait leurs preuves en laboratoire, mais dont les performances industrielles sont médiocres. Pourtant l'engagement dans cette trajectoire entraîne un phénomène d'irréversibilité et donc entretient la trajectoire dans laquelle est inscrite l'innovation. La question que pose cette représentation est à la fois d'ordre théorique et important pour les politiques publiques : comment sont choisies les technologies développées et testées ?

Il s'agit donc de comprendre pourquoi des acteurs choisissent d'allouer des ressources sur une technologie plutôt qu'une autre, et pourquoi ils continuent d'allouer des ressources sur ces monstrosities ? Les travaux sur les patrimoines productifs considèrent que les innovations sont le résultat d'un assemblage de ressources collectives et qui orientent le changement (Nieddu *et alii*, 2014). La position d'Arthur sur l'héritage des technologies n'est à ce titre guère éloignée : si l'on considère l'innovation comme la résolution d'un problème, le mode de résolution du problème dépendra effectivement des connaissances héritées.

Le point important est que les changements observables n'obéissent pas au niveau des acteurs à des cycles exploration-exploitation au sens strict, car les explorations se font sur des bases orientées par des patrimoines. Le changement est donc régulé : les compromis de produits y jouent leur rôle, ainsi que les espérances entretenues sur ceux-ci. Il faut donc resituer l'articulation coûts/acteurs/technologies comme des éléments localisés dans des patrimoines et non être comparés dans l'absolu.

## Démarches et « variables proxy » pour l'analyse

Alors que l'approche par les verrous technologiques est *ex post* (on observe qu'il existe des verrous pour un certain nombre de raisons exposées plus haut) et exogène, nous posons l'hypothèse que ces verrous sont le produit des dynamiques économiques des trajectoires. Au lieu de poser un regard strictement surplombant, l'objectif est donc de déployer un dispositif d'observation qui parte des positions des acteurs pour identifier les régularités de comportement et la façon dont les acteurs eux-mêmes – et non l'analyste qui représente des trajectoires soutenables *ex nihilo* – construisent la soutenabilité de leurs trajectoires.

Pour traiter de la formation de régularités dans l'histoire, il est nécessaire de mobiliser un outil intermédiaire comme celui des « régimes »<sup>44</sup>. Cette notion, partagée par les régulationnistes et les évolutionnistes, visera ici à permettre de saisir comment les acteurs puisent dans les bases de connaissances pour lever les verrous technologiques qu'ils identifient. Cette notion de régime permet de faire tenir ensemble l'identification de régularités technologiques au niveau historique et les verrous technologiques travaillés par les acteurs, et la façon dont les acteurs forment des espérances sur la levée de ces verrous. Néanmoins, il y a un enjeu à considérer que les régimes sont pluriels. C'est pourquoi nous cherchons précisément à étudier des phases où ils se confrontent, et où des compromis dominants n'ont pas émergé.

Afin d'étudier les trois trajectoires de substitution du formaldéhyde décrites en introduction de ce chapitre, nous appuyons notre analyse sur les « variables proxy » suivantes :

	La voie traditionnelle	La voie tanin	La voie lignine
Principaux acteurs			
Promesses sur des verrous technologiques			
Stratégies et formes de concurrence			
Patrimoines productifs collectifs et production de connaissance			

Figure 9 : Variables proxy pour l'analyse

Pour chacune des trajectoires, nous chercherons à identifier les principaux acteurs, les promesses sur des verrous technologiques que les acteurs cherchent à lever, leurs stratégies, les possibles concurrences au sein de la trajectoire et la façon dont production de connaissances et patrimoines productifs collectifs. Pour cela, nous réunissons, dans une démarche de triangulation des données (Dumez, 2013), une variété d'éléments hétérogènes dans le but de produire un récit des dynamiques étudiées (Dumez et Jeunemaître, 2005). Pour cela, nous avons collecté un ensemble de brevets, publications académiques, présentations de projets etc. et participé au projet Biofoambark dont le but était de produire un *design* de filières pour des mousses isolantes sans formaldéhydes. Cette démarche, empreinte d'observation participante, nous a permis de collecter des données au plus près de la problématique de la substitution des formaldéhydes.

---

<sup>44</sup> Pour une discussion approfondie de la notion de régimes, se reporter au chapitre 2. Ici, nous considérerons qu'un « régime de production de connaissances et d'activités économiques » permet de rendre compte des régularités identifiables dans un domaine technico-économique : espérances technologiques, stratégies de propriété intellectuelle, formes de développement économique etc.

## 2. Du développement des résines à base de formaldéhydes à leur remise en question

Nous nous sommes proposé de traiter le cas du formaldéhyde, car nous pensons qu'on peut l'utiliser comme un « cas-modèle » (au sens des sciences de la vie, qui travaillent sur une cellule ou un animal témoin sur lequel la connaissance va pouvoir être très exhaustive et des méta-analyses menées). Du point de vue de l'étude de l'impact des politiques publiques, dans une perspective évolutionniste, c'est un « terrain idéal », à savoir un espace relativement clos au sein duquel se déroule une contestation, qui vient essentiellement à partir de la réglementation, et non de stratégies *technology push* ou de besoins identifiés sur des marchés. La dangerosité du produit est, de fait, bien connue depuis l'origine puisque c'est une des raisons de son utilisation originelle comme désinfectant (par exemple sous la forme de formol) ou pour éliminer des verrues (en tant que biocide, donc il faut bien que le produit soit un peu dangereux !). Le problème est que le produit va entrer dans toute une série de compositions d'objets de la vie quotidienne, du dentifrice aux colles utilisées dans les revêtements de sol et aux panneaux de bois utilisés dans les habitations (voire au lit de nourrissons...), et que tous ces objets relâchent dans l'atmosphère intérieure des habitations du formaldéhyde. Le produit a donc été réévalué d'un point de vue environnemental au début des années 1970 et ses effets néfastes pointés dès une première étude en 1976 (Putnam et Graham, 1993). Depuis, les débats habituels ont eu lieu concernant sa dangerosité, réelle ou non. En 2006, l'International Agency for Research on Cancer a reconnu le caractère cancérigène des formaldéhydes. Cette évolution dans la considération des formaldéhydes a conduit la France et les Pays-Bas à mener des actions au niveau européen pour obtenir la classification de la molécule dans REACH afin d'obtenir son interdiction ou sa limitation. Il est vrai que le produit cumulant des propriétés d'irritant, de reprotoxique, de cancérigène et de génotoxique, c'est un candidat particulièrement indiqué – sinon pour la recherche de substituts, du moins pour l'action publique.

Country	Emission limit		Product-specific regulations
	Outdoor air, ppm	Indoor air, ppm	
Canada		0.1 (1982)	Urea – formaldehyde (UF) foam insulation prohibited. Voluntary program of particle board manufacturers to reduce emission, no upper limit. Registration of infection control agents
Denmark		0.12 (1982)	Guidelines for particle board: max. 10 mg/100 g of absolutely dry board (perforator value). Guidelines for furniture and in situ UF foam. Cosmetic regulations. Prohibited for disinfecting bricks, wood, and textiles if there is contact with food
Federal Republic of Germany	0.02 (MIK <sub>D</sub> , 1966) <sup>a</sup> 0.06 (MIK <sub>K</sub> , 1966) <sup>b</sup>	0.1 (1977)	Particle board classification. Guidelines (GefStoffV, Gefahrstoffverordnung) for wood and furniture: upper emission limit 0.1 ppm, corresponding to 10 mg/100 mg of absolutely dry board (perforator value); detergents, cleaning agents, and conditioners: upper limit 0.2%; textiles: compulsory labeling if formaldehyde content >0.15%. Guidelines for in situ UF foam: upper limit 0.1 ppm. Cosmetic regulations
Finland		0.12 0.24 for pre 1983 buildings (1983)	Upper limit for particle board: 50 mg/100 g absolutely dry board (perforator value). Prohibited as an additive in hairsprays and antiperspirants. Guidelines for cosmetics, but as yet (1987) no EEC directives
Great Britain			Upper limit for particle board: 70 mg/100 g of absolutely dry board (perforator value)
Italy		0.1 (1983)	Cosmetic regulations (July 1985)
Japan			Prohibited as an additive in foods, food packaging, and paints. Guidelines for particle board, textiles, wall coverings, and adhesives
The Netherlands		0.1 obligatory for schools and rented accommodation (1978)	Particle board quality standard on a voluntary basis: upper limit 10 mg/100 g of absolutely dry board (perforator value). Particle board regulations in preparation
Sweden		0.4 – 0.7 (1977)	Particle board and plywood quality standards: upper limit 40 mg/100 g of absolutely dry board (perforator value)
Switzerland		0.2 (introduced 1984, came into force 1986)	Particle board quality standard on a voluntary basis: upper limit 10 mg/100 g of absolutely dry board (perforator value, Oct. 1985); quality symbol "Lignum CH 10"
Spain			Regulations for in situ UF foam (1984): upper limit 1000 µg/m <sup>3</sup> = 0.8 ppm, 7 days after installation; 500 µg/m <sup>3</sup> = 0.4 ppm, 30 days after installation
United States		0.4 (Minnesota, 1984) <sup>c</sup> 0.4 (Wisconsin, 1982) <sup>c</sup>	UF foam insulation prohibited in Massachusetts, Connecticut, and New Hampshire; upper limit for existing UF-insulated houses in Massachusetts 0.1 ppm (1986). FDA limit for nailhardening preparations: 5%. Department of housing and urban development (HUD) guidelines for emission from particleboard and plywood for the construction of mobile houses: upper limit 0.3 ppm.

<sup>a</sup>MIK<sub>D</sub>= Maximum allowable concentration for constant immission (mean annual value).

<sup>b</sup>MIK<sub>K</sub>= Maximum allowable concentration for short-term immission (30 min or 24 h).

<sup>c</sup>Replaced by HUD product standards, 1985.

Figure 10 : Les normes internationales sur l'émission de formaldéhydes (Reuss *et alii*, 2000, p.750)

Du point de vue de l'histoire de la chimie et de son économie, cette molécule chimique est un des intermédiaires emblématiques de la substitution de produits d'origine naturelle par des produits d'origine synthétique et de la diffusion des plastiques synthétiques. Elle a d'abord été obtenue à partir de méthanol, issu de la gazéification de bois d'arbre, avant d'entrer dans la chimie des ressources non renouvelables. Pour dessiner un rapide panorama de son émergence, il faut avoir en tête que le formaldéhyde est parmi les aldéhydes la plus petite molécule : elle permet donc de faire de la « chimie de petites molécules », toujours plus simple que celle des macromolécules pour les industriels<sup>45</sup>. C'est aussi la molécule la plus réactive des aldéhydes, ce qui redouble l'intérêt des industriels. Des réactions économiques avec des composés aromatiques sont faciles, d'autant qu'elle se prête à des réactions catalytiques (l'accélération de réactions étant importante pour les industriels). Enfin, il s'agit de la « molécule versatile » — type : une propriété particulièrement recherchée par les industriels qui entendent exploiter sa très grande variété d'utilisation dans toute une série d'intermédiaires chimiques et de produits finaux. Le plus emblématique d'entre eux, qui va entraîner le développement des usages au début du XXe siècle, est la Bakélite (comme l'indique bien le slogan publicitaire ci-dessous). Un autre produit, très symbolique de la modernité des produits synthétiques, est le Formica qui va s'imposer dans nos cuisines dans les années 1960, mais qui apparaît dès les années 1910 en utilisant comme intermédiaire les résines thermodurcissables de la société Bakélite.



Figure 11 : Le slogan de Bakelite

---

<sup>45</sup> Nous retrouverons ce concept et cette idée dans le chapitre trois sur la bioéconomie dans les exercices de prospective des années 1978-1982.

## Acteurs et filières du formaldéhyde

Bob Crichton présente de la façon suivante la success-story et progression du produit dans une conférence donnée à l'association Formacare, l'association de défense des producteurs de formaldéhydes :

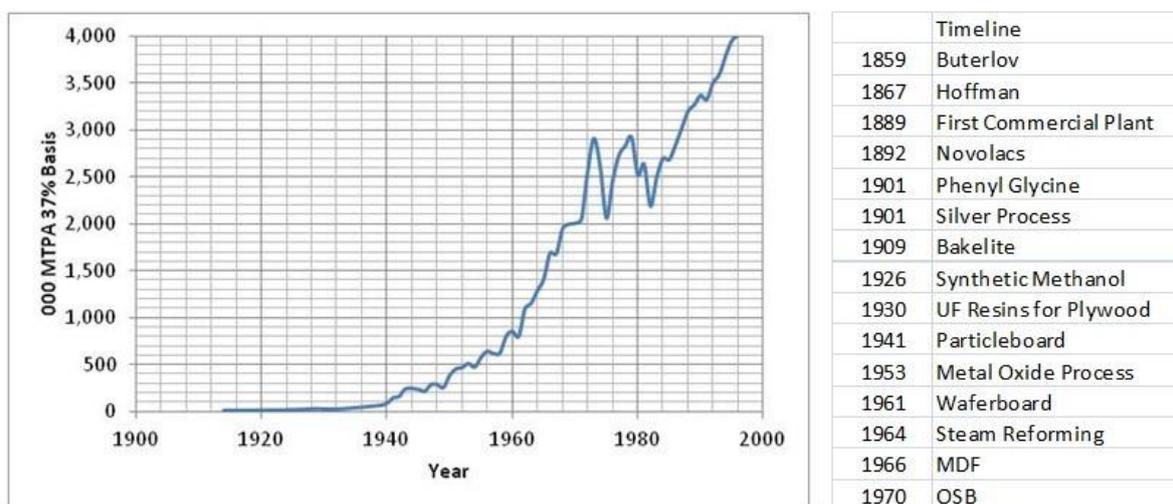


Figure 12 : Évolution de la demande mondiale de formaldéhydes aux États-Unis (d'après Formacare)<sup>46</sup>

Sur ce graphique, on peut retrouver l'accélérateur qu'a été la guerre 1940-1945, et une progression constante qui n'a pas été entamée par les contestations écologiques ou l'entrée en vigueur de réglementations. — si on excepte les chocs pétroliers. Sur la droite du graphique sont indiquées les dates-clés de la découverte du formaldéhyde en 1859 aux premières tentatives d'utilisation, puis à la découverte du *silver process* (procédé catalytique développé industriellement par BASF dès 1905) et de la Bakélite en 1909. La Bakélite a son importance, car c'est le premier polymère, n'existant pas dans la nature, créé par l'homme. Une autre étape importante est 1926 avec la mise au point du *process* de production de méthanol sur matière première fossile, qui va faire des formaldéhydes un produit, non plus d'origine naturelle, mais synthétique, et participer au grand mouvement de la chimie de substitution des matières premières naturelles par des matières premières fossiles. La mise au point des panneaux de bois va suivre l'invention des colles et résines des années 1930<sup>47</sup>.

En 2012, l'étude de marché réalisée par Merchant Research and Consulting (2016) indique une production mondiale de formaldéhyde s'élevant à 46,4 millions de tonnes. Nous ne sommes pas certains de ce chiffre qui s'écarte d'autres, observés par ailleurs, mais ceux-ci corroborent les proportions entre pays producteurs. La production s'est essentiellement concentrée dans la zone Asie-Pacifique (56 %) avec une large domination de la Chine<sup>48</sup>. À elle seule, la Chine produit plus de 50 % de

<sup>46</sup> <http://www.formacare.org/september-2015-a-short-history-of-formaldehyde/>, consultée le 30/07/2016.

<sup>47</sup> Nous verrons dans le chapitre 4 qu'un grand nombre de produits qu'il est aujourd'hui souhaité de produire à partir de ressources renouvelables l'ont déjà été à la fin du 19<sup>e</sup> – début du 20<sup>e</sup> siècle.

<sup>48</sup> On notera ici le grand basculement de la chimie de base vers la Chine, car la recension de Reuss *et alii* (2000) ne mentionne pas la Chine, mais indique comme producteurs dominants l'Allemagne, les États-Unis et le Japon.

la production mondiale. Elle est suivie par les États-Unis (14.47 % de la production totale), l'Allemagne (6.68 % de la production totale) et 5.52 % pour la Russie.

Les acteurs des formaldéhydes sont (1) soit des producteurs de méthanol (comme Celanese ou Johnson Matthey Formox), (2) des producteurs de formaldéhydes : ceux cités par l'étude de marché de 2016 sont Momentive Specialty Chemicals, Dynea, Perstorp, Georgia-Pacific Corp, Celanese, Ercros, BASF AG, Sadepan Chimica et Metafrax, c'est-à-dire des firmes de la chimie traditionnelle, (3) de grands industriels de la chimie (comme BASF ou DuPont) ou des producteurs de résines et panneaux de bois (Advachem, AkzoNobel etc.) (cf. figure 14 pour une liste des acteurs). Néanmoins, il est difficile de positionner ces firmes en terme de filière, notamment parce que les grands acteurs disposent de *business-unit* amont ou aval, dans un paysage changeant au gré du jeu de mécano des restructurations financières.

Producteur	Type de production
Advachem	Résines
AkzoNobel Casco Adhesives	Adhésifs
Alder	Résines (panneaux de bois)
Ashland	Formaldéhydes
BASF	Formaldéhydes
Caldic	Formaldéhydes
Celanese	Formaldéhydes
ChemCom Industries	Formaldéhydes
Chemisol	Résines
Chimica Pomponesco	Formaldéhydes et résines
DuPont	Formaldéhydes
Dynea	Formaldéhydes et résines
Eastman	Formaldéhydes
EMPA	Association producteurs mélamine
Ercros	Formaldéhydes
EuroResinas	Résines
Fantoni	Résines/mousses
FAR	Acide formique --> formaldéhydes
FORESA	Formaldéhydes et résines
INEOS Melamines	Mélamines
INEOS Paraform	Formaldéhydes
Johnson Matthey Formox	Licences et <i>design</i> industriel formaldéhydes
Kronochem	Résines (panneaux de bois)
Lanxess	Formaldéhydes
LERG	Résines et adhésifs
MEtaDynea	Formaldéhydes et résines
Metafrax	Méthanol --> formaldéhydes
Methanex	Méthanol --> formaldéhydes
Mitsubishi Gas Chemical Europe	Formaldéhydes
Momentive	Résines
OXEA	Formaldéhydes
Perstorp	Résines et adhésifs

Sadepan	Formaldéhydes, colles et résines
Silekol	Résines et adhésifs
Silvateam/Ledoga	Résines et adhésifs
Synthite/BIP	Formaldéhydes et résines
Georgia Pacific	Résines
Huntsman Corporation	Résines
Momentive Specialty Chemicals	Résines
Hercules	Formaldéhydes

Figure 13 : Les acteurs du champ des formaldéhydes

Nous nous intéresserons particulièrement à ceux qui sont actifs dans un domaine visé par les substitutions de l'usage principal des formaldéhydes : la formulation de résines thermodurcissables. Il existe trois grands types de formulations qui sont, les résines mélamine-formaldéhydes (le Formica, résines aminoplastes (ou urée-formol, UF) et les phénoplastes (phénol-formol, PF). De fait, en usage courant du terme, les trois types sont souvent regroupés sous une même famille de phénoplastes. Ces résines sont utilisées comme durcisseurs, solvants, charges, vernis, lubrifiants et colorants pigmentaires (Farhi *et alii*, 2006).

Le schéma suivant représente les débouchés pour ce type de produits. Sur la figure on peut voir que l'usage principal du formaldéhyde réside dans la production de résines (58.5 %), puis de petites molécules chimiques et enfin quelques usages de détergence. Cette position en fait un produit d'amont des filières de la chimie, car il constitue un intrant pour la production de molécules intermédiaires (comme le 1,4 BDO)<sup>49</sup>. En vue de limiter le champ de notre étude, comme les résines sont le débouché principal des formaldéhydes, nous nous limiterons à ce cas. Nous sommes conscients à cet endroit que nous introduisons une simplification sur laquelle il faudra revenir. En effet, les entreprises dominantes ou venant contester le champ, travaillent sur des substituts qui peuvent se trouver, du fait du caractère versatile des molécules ou composés moléculaires, en concurrence sur plusieurs champs. Par exemple, les acteurs des tanins vont développer des produits à la fois concurrents des résines et des polyuréthanes pour lesquels les grandes firmes peuvent développer des produits de substitution biobasés. Par exemple Dupont développe dans une *joint-venture* avec Tate and Lyle, à partir d'un 1,3 propanediol un produit appelé Susterra, destiné à substituer les polyuréthanes dans toute une série d'applications.

<sup>49</sup> Le cas du 1,4 BDO est traité dans le chapitre 4 dans le cadre de l'étude du cas de l'acide succinique.

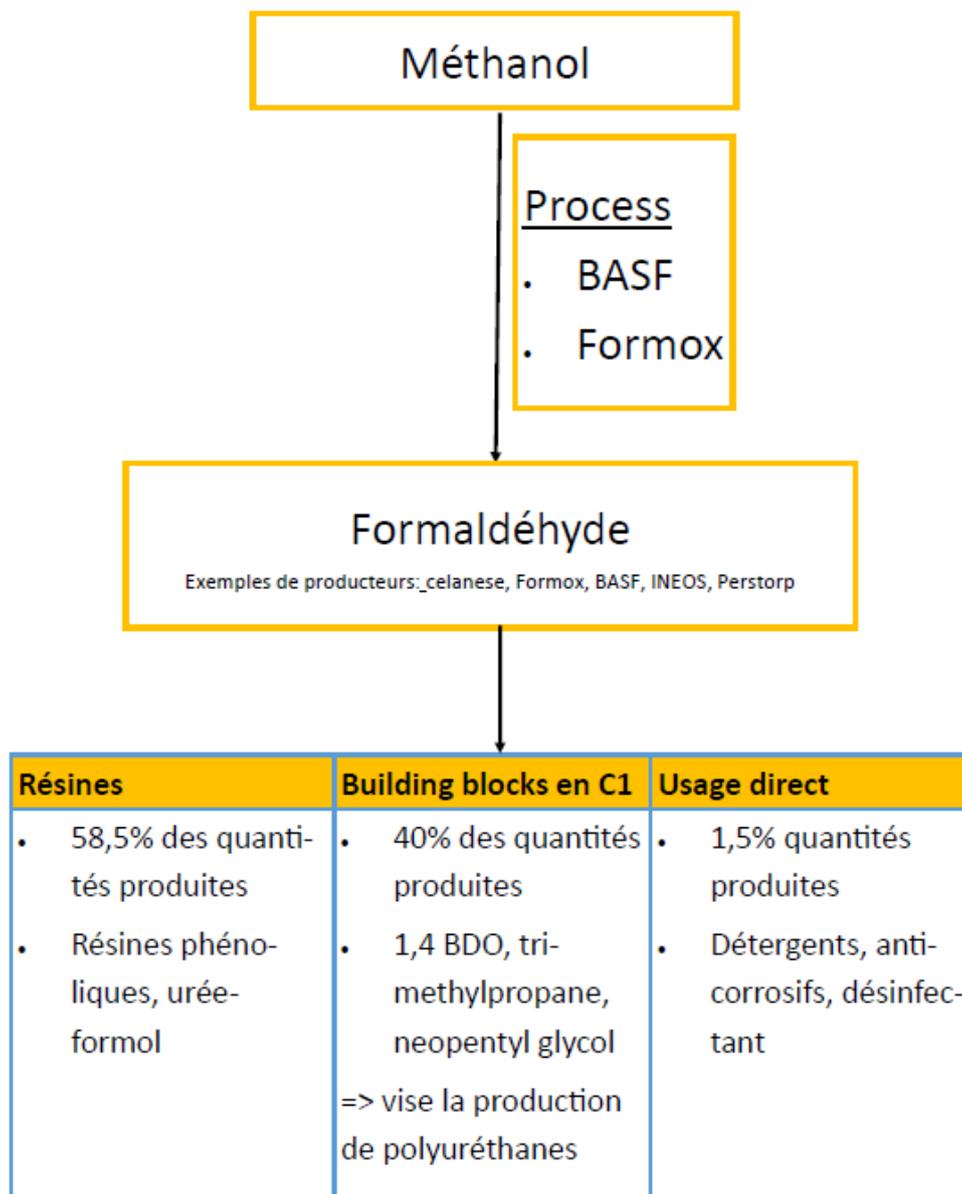


Figure 14 : La filière technique du formaldéhyde et ses différents usages (d'après Reuss *et alii*, 2000 ; notre adaptation)

#### Plan de la section et méthodologie

Suivant les résultats de la section précédente, l'utilisation du formaldéhyde est replacée dans le contexte de la formalisation d'une base de connaissances de la production de résines et de la constitution de patrimoines productifs collectifs. Il s'agit donc de remonter au développement de ces produits afin de souligner comment il a été produit, sur la base de quelles connaissances assemblées et quels verrous il était question de lever.

Les premières études sur les phénols et les formaldéhydes ont été menées respectivement par Bayer et Losekam à la fin du dix-neuvième siècle (Ibeh, 1999). Le grand résultat de ces études a été l'observation de la réactivité des phénols avec les aldéhydes. L'étude de cette grande réactivité des phénols avec un second composé va devenir la routine de travail des chimistes, constitutive de la trajectoire. En effet, durant nos entretiens avec des chimistes tels que A. Pizzi, l'évocation de cette réactivité leur paraissait l'évidence même de leur travail. De manière explicite, les chimistes nous

résumaient ce travail comme une variation autour de « des phénols + un composé auxquels on ajoute un catalyseur ».

Pour montrer que la dynamique de formation du verrouillage technologique est endogène aux comportements économiques des acteurs, nous nous intéressons au cas de la Bakélite. Nous avons indiqué plus haut que cette résine formaldéhyde, inventée en 1907 par L. Baekland, fut le premier plastique industriel n'étant pas d'origine naturelle. Ce cas est emblématique du développement de l'usage des plastiques et de la société de consommation : téléphones, objets de la vie quotidienne, pièces de voiture (comme des pare-chocs) ou de mécanique furent produits à partir de ce matériau. Il nous fournit donc un cas idéal pour traiter de la formation d'une base de connaissances spécifique (2.1). Dans la sous-section suivante on traite d'abord à partir de ce résultat la formalisation du « régime de production de connaissances et d'activités économiques » des formaldéhydes dont la Bakélite a été le cœur (2.2.1.). Puis on traite de la remise en cause par la réglementation de ce produit devenu emblématique à la fois de la modernité de la chimie et de ses pollutions (2.2.2)

## 2.1. La Bakélite comme cas du développement des résines phénols-formaldéhydes : l'hybridation entre deux bases de connaissances

Il pourrait être surprenant de s'intéresser au cas de la Bakélite pour travailler sur le formaldéhyde, mais celui-ci entre dans la composition de ce qui est le premier plastique industriel et dont la formulation (aldéhyde + un phénol) est toujours utilisée aujourd'hui pour produire les résines PF/UF. Nous exposons (2.1.1.) comment ce cas a déjà été traité par Bijker en vue de développer un cadre sur la construction sociale des technologies, avant d'exposer la dynamique de structuration de nouvelles fonctionnalités.

### 2.1.1. Le cadre développé par Bijker sur la construction sociale des technologies

Ce « détour de production » vise à resituer ces résultats obtenus grâce une méthodologie proche de celle déployée par nous, à savoir, analyser les trajectoires non pas comme produit d'un choc exogène créé par des technologies, mais comme une construction sociale : « *Evolutionary models, however, tend to reify that which is being modified through processes of variations and selection. To avoid this connotation of a reified technology, which would be contradictory to my general constructivist approach, I have diminished this evolutionary element.* » (Bijker, 1995, p.293). L'auteur critique donc le caractère exogène de l'attention portée aux processus de sélection en vue d'adopter un point de vue endogène en rendant compte du point de vue des acteurs. Par conséquent, il est possible de mobiliser les données rassemblées par l'auteur.

Pour Bijker, les objets sont des « ensembles sociotechniques », et ce, afin de rendre compte que les objets ne sont pas que des objets « matériels », mais également une construction sociale. Ces « ensembles » sont partagés par un « *relevant social group* ». Concept méthodologique, il vise à identifier les membres d'un groupe social, mais l'identification d'un tel groupe implique de le délimiter et conduit à identifier les différents groupes impliqués. Ce qui rend la communauté identifiée « pertinente », c'est que dans l'approche constructiviste, ce sont les acteurs eux-mêmes qui désignent qui sont les membres pertinents de la communauté. Ces différents groupes sont dotés de pouvoir qui leur permettent de s'imposer et d'imposer leurs constructions des technologies, concept plus

pertinent dans les STS pour expliquer plus l'imposition d'un standard technologique qu'une supposée supériorité technologique. Bijker considère que les groupes sociaux partagent une interprétation propre à chacun des groupes des ensembles sociotechniques. Il est alors question de « flexibilité interprétative ». Le partage d'une interprétation de l'artefact est ce qui construit l'artefact. Il se produit un phénomène de clôture (« *closure mechanism* ») du groupe sur lui-même, par stabilisation d'une controverse quand l'interprétation d'un groupe social devient dominante et donc, s'impose.

L'exposition de ces concepts permet de saisir que le cadre développé par Bijker est proche des propositions que nous avons formulées. Ainsi, quand Bijker parle de « flexibilité interprétative », il s'agit des façons dont les acteurs se représentent l'artefact traité. Dans notre cadre, il s'agit de la façon dont les acteurs donnent du sens aux objets et forment des espérances sur telle ou telle technologie sachant qu'il n'existe pas d'avantage particulier pour l'une d'entre elles dans les moments de mise en place de trajectoires. De même, considérer l'imposition des technologies comme la stabilisation d'une controverse rejette l'idée que les accidents historiques permettent d'expliquer la domination d'une technologie. La domination d'un artefact s'explique alors pas les luttes de pouvoir entre les groupes sociaux porteurs de patrimoines spécifiques.

#### 2.1.2. La recherche de nouvelles fonctionnalités qui guide l'exploration technologique

##### 2.1.2.1. Les nouvelles fonctionnalités attendues pour un plastique

De l'Égypte antique jusqu'au dix-neuvième siècle, les plastiques et caoutchoucs étaient considérés comme des produits luxueux (Bijker, 1995). La localisation et les modes d'extraction ne permettaient pas de fournir des quantités suffisantes pour être utilisées pour des applications plus standards que la bijouterie ou l'élaboration de meubles luxueux alors que des matières souples étaient demandées notamment pour produire des gaines de câbles électriques. Les caractéristiques attendues étaient les suivantes : « *new groups showed a great interest in employing these novel molding materials, which did not have the limitations of the traditional materials such as steel, glass, wood, and ceramics. Their interest pointed to the need for materials that had not the coldness, weight, and chemical activity of metals; nor the fragility and costs of ceramics and glass; nor the transience of natural materials; but that had artistic appeal and offered the possibility for coloring. Although none of the industrial natural plastics then available could meet all these requirements, there clearly was a rapidly growing demand for such molding materials.* » (Bijker, *Ibid.*, p.106). Le plastique utilisé devait donc permettre d'offrir à la fois des produits dotés d'une identité luxueuse (notamment par la possibilité d'en changer la couleur), mais devait également être solides et peu coûteux.

L'objectif des premiers développements industriels dans ce domaine a été de réaliser la substitution de matériaux d'origine naturelle comme le caoutchouc et le shellac. Le shellac est une pâte extraite d'une cochenille asiatique qui était principalement utilisée pour la décoration et le surfacage des meubles. Or, la production d'un kilogramme de shellac nécessitait les sécrétions de trois-cent mille insectes. C'est la rareté des polymères naturels qui explique l'intérêt des technologues. De plus, face à la demande croissante et une offre limitée, les prix ont fortement augmenté. Le premier brevet sur les résines PF déposé par A. Smith en 1899 en témoigne (Tobiason, 1990). L'objectif était de remplacer le shellac pour la production de gaines souples pour les fils électriques. Dans ce contexte, Blumen déposa un brevet en 1902 sur la base des travaux de Meyer considéré comme celui ayant réussi à synthétiser le shellac. Ce brevet permit de débiter la production du Laccain dans une usine

installée à gf en Allemagne. Il s'agit donc de la première production industrielle de PF. Ce produit fut un échec commercial en raison de l'odeur qu'il laissait et de l'assombrissement qu'il produisait sur les meubles sur lesquels il était utilisé (Kossmehl, 2010). Malgré tout, le Laccain fut renommé « Novolac » par Baekland. On trouve encore des publications en chimie académique mobilisant le procédé ayant servi à la production de Laccain. D'autres solutions techniques furent également explorées : la parkesine, l'ivoride ou le celluloïd, mais chacune, pour des raisons diverses (problème d'intégration dans les chaînes de valeur, produits fortement inflammables etc.) n'ont pas été retenues.

#### 2.1.2.2. L'exploration de nouvelles fonctionnalités chimiques

L'intérêt pour les résines phénols-formaldéhydes et le succès ultérieur de la Bakélite ne doivent pas masquer le fait que les PF ne sont pas le succès foudroyant que les success-stories décrivent : « *at the time, formaldehyde could not be produced on an industrial scale; it was merely a laboratory curiosity* » (Bijker, *Ibid.*, p.116). Cet aldéhyde n'a, au départ, pas été retenu, car il ne colorait pas les résines. La couleur était, à la fin du dix-neuvième siècle, interprétée comme le signe de bonnes réactions chimiques. Le résultat de ces premières recherches était la constatation de la coproduction d'une substance qui pourrait éventuellement fournir une application industrielle. Face aux échecs des celluloïds et une demande croissante pour l'usage de plastiques, les recherches sur ces « résines étranges » (pour reprendre l'expression les décrivant), se sont poursuivies du point de vue de la « stabilisation » de la réaction. Un des problèmes des celluloïds était de réussir à produire en grandes quantités, et non inflammables, des produits moulables, ce qui suppose de pouvoir les porter à une température élevée. En 1899, Smith a montré qu'il était possible de donner une forme, après chauffage, à une résine principalement composée de phénols-formaldéhydes. Ce sont donc les recherches sur les solvants et l'évolution du point de vue sur les formaldéhydes qui ont conduits au développement de son usage.

Baekland, qui était un électrochimiste de formation, ne travaillait pas comme les « chimistes du plastique », notamment européens. Bijker (1995), par l'analyse des cahiers de recherche de Baekland, montre comment sa formation préalable l'a conduit à appliquer une évaluation minutieuse de chacune des réactions alors que les études sur les plastiques étaient menées « tous azimuts » : « *when he started his research on phenol-formaldehyde, his work was primarily structured by the technological frames of photo chemists and electrochemists. In those frames there was no obvious reason to focus on the solvent in the condensation reaction. Rather, a detailed analysis of all reaction variables was to be expected. In the construction process of Bakelite that followed, however, Baekland interacted with the relevant social groupe of celluloid chemists (...) and gradually got more and more involved.* » (Bijker, *Ibid.*, p.150). La Bakélite est donc le résultat de deux types de pratiques en chimie : d'une part, l'exploration fine des interactions chimiques et, d'autre part, la recherche sur les solvants. Le croisement de ces deux pratiques a ainsi tracé la trajectoire de l'étude et de la production des résines et des plastiques à base de formaldéhydes. On retrouvera, plus loin dans ce chapitre, cette même stratégie de recherche consistant à étudier systématiquement des réactions « phénols + aldéhydes » dans le cas de l'usage de phénols biosourcés (*cf.* section 3).

## 2.2. L'adoption de la Bakélite : la formation d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques et sa contestation

L'invention de la Bakélite est le résultat de deux dynamiques. D'une part, la recherche de fonctionnalités économiques « attendues » par le consommateur et les producteurs de biens finis : des produits colorables à l'image luxueuse, plus solide que les matériaux traditionnels, souples pour produire des gaines électriques. La seconde dynamique est celle de l'exploration de fonctionnalités chimiques, ici, la forte réactivité des formaldéhydes en présence d'un phénol. On a donc la formation d'un ensemble de cibles en termes de fonctionnalités à partir d'un produit intermédiaire unique. Pour cela, les recherches menées ne l'ont pas été « tous azimuts », mais, comme l'explique Bijker (1995) dans la citation précédente, influencées par le nouveau « technological frame » décrit plus haut (savoirs sur les solvants couplés à celui de l'électrochimie). Le verrou technologique à lever pour eux réside dans la contrainte de puiser dans des connaissances qu'ils maîtrisaient pour produire des résines à même de répondre aux fonctionnalités attendues. On a vu que certains produits ne répondaient pas aux fonctionnalités attendues comme le Laccain qui se ternissait et laissait une odeur désagréable.

La rencontre de ces deux dynamiques (recherche de fonctionnalités attendues dans le produit et recherche sur les fonctionnalités chimiques du produit intermédiaire) permet d'expliquer comment la Bakélite a été développée et dans quel contexte, mais il s'agit désormais d'expliquer comment le produit a été diffusé et adopté (2.2.1.). Il s'agit ici de traiter la question de la diffusion du produit : a-t-il été adopté, car il était techniquement supérieur aux autres ou y-a-t-il des explications complémentaires à apporter ? Si c'est le cas, quelles peuvent en être les raisons ? On va donc s'intéresser à la façon dont l'image de la Bakélite est construite par Baekland, et ce, afin d'identifier la formation d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques préalable à la diffusion.

### 2.2.1. La diffusion de la Bakélite

#### 2.2.1.1. Les trois modes de diffusion de la Bakélite

Nous pouvons relever trois dimensions qui ont permis à Baekland d'organiser l'industrialisation de son procédé. Tout d'abord, Baekland a poursuivi, parallèlement au développement des procédés pour la Bakélite, une partie d'un travail qu'il menait sur le Novolac. Toutefois, après avoir corrigé la première version de son brevet, il fit parvenir à plusieurs industriels des échantillons de Bakélite – à titre d'objet démonstratif. Le résultat immédiat a été l'augmentation des commandes entre 1908 et 1909 (Bijker, 1987).

La deuxième dimension tient dans la communication au sein de communautés scientifiques de ses résultats. Bijker relate une conférence donnée par Baekland en 1909 à la section New-Yorkaise de l'American Chemical Society qui fut, par la suite, publiée dans le *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (Baekland, 1909). Dans cette contribution, Baekland présente sa méthode de production de la Bakélite et dresse le tableau des promesses technologiques et économiques du produit : « *we are now bringing about some unexpected possibilities in the manufacture of furniture and the wood-working industry in general. But I intend to devote a special evening to this subject and show you then how with cheap soft wood we are able to accomplish results which never have been obtained even with the most expensive hard wood (...). It is not so flexible as celluloid, but it is more durable, stands heat, does not*

*smell, does not catch fire and at the same time is less expensive.* » (Baekland, *Ibid.*, p.157). L'énumération se poursuit dans l'article sur près d'une page supplémentaire et se conclut sur l'argument suivant : la Bakélite, comparée au celluloid, et par extension aux autres matériaux utilisés jusqu'alors, peut être moulée par chauffage et pression.

En 1911, Baekland publia un nouvel article dans cette revue dans laquelle il décrit avoir enrichi l'éventail des possibilités de son produit : « *I found that we can enormously increase the practical uses of Bakelite by incorporating it with structural fillers, like fibrous or cellular bodies.* » (Baekland, *Ibid.*, p.937). Derrière ces avancées se trouve l'optimisation de la condensation et de la quantité de formaldéhydes utilisées. Dans les études qui ont conduit Baekland à mettre au point la Bakélite, ce sont ces deux principes qui ont été au cœur des travaux. Il n'est pas anodin de trouver ces résultats dans le Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Ce journal, fondé en 1909, précise dans l'éditorial du premier numéro sa volonté de développer un espace permettant la rencontre entre la chimie, l'ingénierie chimique et leur passage dans l'industrie. En publiant à cet endroit, Baekland poursuit alors clairement sa stratégie d'implication de la communauté des chimistes dans la construction d'un objet de recherche qui est avant tout un produit industriel et d'industriels pouvant être intéressés par son produit intermédiaire.

La diffusion de la Bakélite a ainsi été assurée par la création de nouveaux produits, assurés par des accords de licence notamment dans l'industrie automobile, l'électricité et la radio, après-guerre. Il faut noter ici que comme à d'autres endroits (le cinéma décrit par Mangolte, 2011), la période a été marquée par une guerre de brevets peu productive. Celle-ci a lieu entre Baekland et la firme allemande Knoll and Company et son issue est tout à fait intéressante. A travers diverses publications, Baekland et Lebach, le titulaire des brevets litigieux, polémiquèrent sur la nature de leurs produits, les dates d'invention et les applications. Il s'est avéré que les brevets de Baekland ne couvraient pas complètement la production de la Bakélite, car ils portaient essentiellement sur le *process* de production. Ainsi, les brevets allemands permettaient de produire des résines similaires, mais avec des *process* moins coûteux. Pour défendre son produit, la firme allemande rédigea le brevet avec une forme très similaire à celle de Baekland. La solution pour régler cette guerre des brevets, une licence exclusive sur la Bakélite fut accordée à une co-entreprise (Bakelit Gesellschaft GmbH) fondée entre Knoll and Company, Rütgerswerke AG. La création de cette entreprise, et l'embauche de Lebach, permit de résoudre le conflit sur les brevets et d'élargir encore la diffusion de la Bakélite en Europe. Cette guerre des brevets eut lieu entre 1909 et 1913 (date à laquelle Baekland reconnut l'efficacité du procédé allemand), et la solution de la mise en commun de *process* et l'intégration de ces derniers dans le patrimoine productif de la Bakélite sera reproduite lors des deux autres guerres des brevets ayant eu lieu en 1915 et durant les années 1920.

Les *designers* industriels étaient tentés d'utiliser des matériaux biosourcés ou naturels et non plus les techniques de chimie industrielle, trop associée aux efforts de guerre de 1914-1918. Les *designers* industriels étaient donc une cible privilégiée pour Bakélite, car leur rôle croissant (ainsi que celle des ingénieurs) dans l'industrie des plastiques faisait d'eux un bon moyen pour renouveler le patrimoine productif de la Bakélite. La formation de ces *designers* a conduit à l'évolution des machines, mais aussi des procédés de transformation qui ont permis de remettre à la mode l'usage de ces plastiques.

Les trois modes de clôture ont donc été la mobilisation de la communauté des ingénieurs, le partage des revenus plutôt que la guerre des brevets et l'appel aux designers industriels

#### 2.2.1.2. D'une base de connaissances à la formation d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques

L'étude de la production de la Bakélite, décrit comme le premier plastique industriel, permet de mettre en évidence la base de connaissance et les formes d'échanges et de constitution de communautés associées aux résines phénols-formaldéhydes. Ces résines sont issues de recherches portant sur les réactions entre celluloids et solvants (ou aldéhydes) et l'attention systématique portée aux réactions dans l'électrochimie de la fin du dix-neuvième siècle. Dès lors, la mise en place d'un procédé reposant sur le chauffage et la mise sous pression de la matière ont permis de développer un ensemble de produits à base de résines. Les travaux de mise au point de la Bakélite ont été menés sous la forme d'exploration systématique (comme pour les celluloids), mais contrôlée des réactions entre les phénols et différents aldéhydes. Du point de vue de l'origine des matières premières, les phénols étaient à l'origine issus de coke, lui-même dérivé de charbon. En revanche, les formaldéhydes étaient d'origine naturelle. La large diffusion des formaldéhydes n'a pas été le résultat d'une stratégie de rupture technologique, mais (1) de la recherche de fonctionnalités spécifiques adaptées à la demande et de (2) la diffusion auprès d'acteurs académiques et industriels, y compris pendant des guerres de brevets, des méthodes de production et d'usage de ces produits.

Du point de vue de la demande, celle-ci était centrée, à l'origine, sur la substitution de matières premières d'origine naturelle dont la disponibilité était limitée. Par la suite, conséquemment à la construction de l'usage de la technologie de la Bakélite par la structuration de communautés scientifiques et industrielles, les usages de la Bakélite se sont multipliés. Il y a donc un lien fort entre la structuration de la base de connaissances et la forme de la demande pour ces produits. L'exemple le plus illustratif est l'organisation de symposiums industriels à destination des designers industriels.

Face à la désaffection de la demande de plastiques constatée dans les années 1930, la stratégie de Baekeland a été de reconstruire l'identité des produits par une « remise au goût du jour » de ces matériaux. La reconstruction de la forme des produits a permis de relancer la demande par une nouvelle projection dans le futur de l'usage de ces matériaux en mobilisant les compétences des *designers*. Comme nous le confirmait P. Ribault, une chercheuse en *design* de l'ESAD de Reims, une des grandes caractéristiques du travail des designers industriels est de reprendre et retravailler des produits abandonnés ou délaissés. Ainsi, c'est bien un régime de production de connaissances et d'activités économiques qui s'est développé, car, malgré l'absence de visibilité sur les prix relatifs avant la Première Guerre et sa contestation, puis la crise des années 1930, l'effort de production dans l'axe de ce régime s'est maintenu dans des périodes différentes.

Ce faisant, nous nous trouvons dans la perspective évolutionniste de l'étude des innovations environnementales. Nous avons identifié ce qui constitue la base de connaissances, la forme de la demande et des pratiques de consommation qui se sont institutionnalisées au cours du vingtième siècle. Il se forme donc un régime dans lequel la consommation d'un produit n'apparaît pas ex nihilo, mais est expliquée par des facteurs socio-économiques comme la construction de la demande par des groupes influents (la communauté des chimistes-ingénieurs par exemple) ou encore le travail des *designers* sur l'identité du produit. La mise en patrimoine de compétences et objets industriels est

donc la dynamique de ce qui est désormais reconnu comme la première résine plastique industrielle. Autour de ce produit se noue une série de relations à la fois dans la communauté scientifique, mais aussi économique pour diffuser et industrialiser la production de la Bakélite. On a donc bien l'institutionnalisation d'une production et consommation d'un produit, portée par des organisations.

### 2.2.2. La contestation du régime de production de connaissances et d'activités économiques ? L'évolution de la législation depuis les années 70

L'analyse menée jusque-là nous a permis d'identifier la formation d'un régime des résines PF grâce au cas de la Bakélite, qui va ouvrir une voie royale aux PF jusqu'aux années 1980. Il s'agit donc désormais d'étudier comment sont érigées des institutions qui contraindraient les compromis de produits des acteurs pour pouvoir ensuite s'interroger si la réglementation constitue seulement une contrainte.

#### 2.2.2.1. La législation sur le formaldéhyde

C'est à partir de 1987 que le formaldéhyde a été reconnu par l'EPA comme probablement cancérigène pour l'Homme en cas d'exposition à des taux anormalement élevés ou normaux et prolongés. En 1992, toujours aux États-Unis, les taux d'expositions quotidiens autorisés ont été diminués de 25 %, passant de 1 ppm à 0,75 ppm (Zanini *et alii*, 2012). C'est en 2009 et 2012 que l'International Agency for Research on Cancer (IARC) a démontré clairement le lien entre l'exposition aux formaldéhydes et des leucémies. En Europe, la législation sur les formaldéhydes est partagée entre la directive sur les émissions de Composés Organiques Volatiles (COV) et le règlement européen Registration, Évaluation, Autorisation and Restriction of Chemicals (REACH).

La directive européenne portant sur les COV a été adoptée en 1999. Son objectif est de contrôler et réduire la diffusion de solvants dans l'environnement. Par suite, cette directive a été transcrite quasiment à l'identique dans la législation française (Journal officiel du 13 août 2000 ; Bellis-Bergouignan *et alii*, 2004). Bellis-Bergouignan *et alii* (2004) précisent que cette directive est le résultat d'un processus entamé par la Convention de Genève de 1979 sur le contrôle transfrontalier des émissions de COV. La directive porte sur les activités d'impression et copiage, de traitements des surfaces, de laquages ou de vernissages, de nettoyage à sec, de production de produits pharmaceutiques et de traitement du bois. C'est cette dernière activité qui nous intéresse particulièrement. La Directive invite les acteurs à utiliser « *the best available techniques at an economically acceptable cost, or by obtaining an equivalent reduction via any other method.* » (Bellis-Bergouignan *et alii*, 2004, p.217). Au rang de ces techniques, on peut trouver des techniques de captation des émissions, de diminution des émissions ou de substitution des molécules. Nous verrons dans la section suivante que chacune des options est exploitée dans le cas des formaldéhydes.

À la différence des directives européennes, REACH est un règlement. Il n'a pas besoin d'être transcrit dans les droits nationaux pour être appliqué. Le principe de REACH est d'imposer aux utilisateurs (fabricants ou importateurs) de molécules chimiques sur le sol européen de faire la démonstration de l'innocuité des produits chimiques utilisés. La réglementation REACH repose sur l'enregistrement et l'évaluation des produits, induisant une maîtrise de leurs produits et de leurs effets par les firmes. Ainsi, elles doivent « mettre en œuvre des mesures de gestion des risques afin d'en assurer une utilisation sécuritaire tout au long de la chaîne d'approvisionnement (fabricants,

formulateurs, distributeurs, etc.) et jusqu'à l'utilisateur final » (Lagriffoul, 2013, p. 24). Le numéro spécial de la revue « Gérer et comprendre » dont est extraite la citation insiste particulièrement sur deux aspects. La charge de la preuve est renversée, c'est à la firme de faire la démonstration que le produit n'est pas dangereux et qu'il n'a pas à être inscrit dans les substances dont l'usage est limité, l'affichage signalétique modifié, ou interdites. Dans le cas du formaldéhyde, la France et les Pays-Bas se sont mobilisés pour porter la limitation des formaldéhydes. D'après les entretiens que nous avons menés et les déclarations de Formacare, l'organe collectif des producteurs de formaldéhyde en Europe, la décision est en suspens entre une limitation et une interdiction.

#### 2.2.2.2. La réglementation REACH comme opportunité

La réglementation REACH, au-delà de la limitation qu'elle entraîne, est perçue par une partie des chercheurs et des industriels comme une opportunité. Par exemple, dans un ouvrage consacré à la « chimie durable », Desmoulin-Canselier et Léca (2011, p. 159) écrivent qu'« *il s'inscrit dans un mouvement général en faveur du développement durable, avec des dispositions qui s'articulent autour des principes de précaution, de prévention et de substitution* ». Du côté des industriels, c'est en partie la teneur du numéro de « Responsabilité et Environnement » (2013) consacré à REACH. Dans sa contribution, Clamadieu<sup>50</sup> et de Gerlache (2013) expliquent que REACH permet aux industriels de redéfinir l'identité de leurs produits en communiquant sur leur autorisation dans le cadre de Reach. Enfin, en 2010, C. Rupp-Dahlem, responsable de l'Association Chimie du Végétal, déclarait : « *A court terme, Reach représente de nombreuses contraintes, assure Christophe Rupp-Dahlem, le président de l'association chimie du végétal et directeur de programme au sein du groupe Roquette. Mais cette réglementation est un accélérateur pour la mise sur le marché de certaines de nos molécules.* » (l'Usine Nouvelle, 2010).

Les dispositifs législatifs mis en place ouvrent des opportunités pour les acteurs de la chimie du végétal. Par conséquent, cette nouvelle contrainte ne peut être considérée uniquement comme une contrainte, mais nous invite à considérer les stratégies d'adaptation des firmes à ces nouvelles règles.

### Conclusion de la section

L'hypothèse évolutionniste standard nous aurait conduits à penser que l'adoption de la Bakélite se serait imposée en raison d'accidents historiques exogènes. Nous avons privilégié une hypothèse adverse considérant que les dynamiques d'invention, de diffusion et d'adoption du produit sont le résultat de dynamiques endogènes. Ces dynamiques relèvent d'une recherche de nouvelles fonctionnalités économiques pour les consommateurs (solidité, image luxueuse) et par les producteurs intermédiaires (la possibilité de modeler la matière). La recherche de la satisfaction de ces fonctionnalités attendues a pris forme dans l'exploration d'une variété de trajectoires technologiques parmi lesquelles celle des résines phénols-formaldéhydes développées par Baekland se sont imposées. Pour imposer ce produit, trois stratégies ont été mises en place : le travail pour attirer une communauté d'ingénieurs et de chimistes vers l'utilisation de ce produit intermédiaire, un

---

<sup>50</sup> Précisons que Clamadieu est Président du comité exécutif de Solvay et G. de Gerlache est responsable de la communication du groupe.

renversement de la stratégie de gestion de la propriété intellectuelle par la guerre des brevets au profit d'un partage des revenus, et la mobilisation des *designers* pour renouveler l'image de la Bakélite.

La méthode que nous avons utilisée dans cette section reposait sur l'idée que la Bakélite était un produit tellement emblématique de la diffusion des plastiques et surtout des résines PF que son étude permettait d'en tirer des conclusions sur la formation du régime. Et c'est exactement les résultats que nous avons obtenus : cette méthode nous a permis non pas de constater la formation d'une trajectoire technologique, mais d'expliquer la formation de celle-ci, de l'hybridation de bases de connaissances jusqu'à une première contestation du produit à l'issue de la Première Guerre mondiale. On aurait pu penser que la contestation du régime aurait conduit le produit à disparaître, mais il s'avère que son usage, et les utilisations qui en découlent, se sont maintenues tout au long du XXe siècle. Par conséquent, l'évolution de la législation sur le formaldéhyde, et notamment l'impact de REACH ont donc été exposés également comme une probable source d'opportunités de production d'activités économiques. La question qui vient est de déterminer comment est intégrée la « contrainte réglementaire » dans le compromis de produit.

### 3. La variété des compromis de produits en réponse à la contrainte sur l'utilisation des formaldéhydes

Si l'on suit le raisonnement évolutionniste, il est nécessaire d'étudier la façon dont les acteurs réagissent dans leur compromis de produits à la contrainte réglementaire qui devraient les conduire à modifier leurs productions<sup>51</sup>, ou à créer de la nouveauté. Pour cela, il est nécessaire d'identifier comment les acteurs modifient leurs compromis de produits ou proposent de nouveaux compromis. Le point sur lequel on souhaite attirer l'attention ici est que la question réglementaire amène à la constitution d'un champ qui se définit par rapport au problème posé, et non plus par rapport au seul problème de « comment élaborer des produits proposant telle ou telle fonctionnalité économique à partir de formaldéhydes ? », qui avait été celui des créateurs du régime de production de connaissances et d'activités économiques des formaldéhydes. Les acteurs peuplant l'espace de la substitution ne peuvent donc être seulement ceux venant de l'espace visé par la politique publique, donc des producteurs de formaldéhydes et de résines, les utilisant, voire cherchant à en réduire l'usage. Il comprend aussi bien sûr des acteurs venant proposer d'autres solutions (« *formaldehyde-free* ») et qui posent donc la question d'une recomposition des réseaux d'acteurs participant à la solution des produits finaux, voire même à un changement complet de ces produits.

Dans l'espace complexe des stratégies de substitution, nous avons écarté de notre champ d'étude les solutions les plus éloignées comme renoncer totalement aux produits de placage-bois au profit de bois bruts, ou pour donner un autre exemple extrême, choisir des solutions n'impliquant pas d'adhésifs pour la raison suivante : les acteurs qui se confrontent sur le champ rencontré cherchent des solutions « à proximité » du paradigme antérieur. Les problématiques restent fondamentalement proches si l'on prend le cas des panneaux mélamine-bois, fondés sur un couple matrice bois/liant ou dans le cas des substitutions de mousses dites polyuréthanes, fondée sur la même logique de réaction et les mêmes fonctionnalités (isolation, adhésion). Ceci n'exclut pas que des acteurs (ceux de la lignine comme on le verra plus bas) viennent de plus loin, à partir de leurs préoccupations propres (valorisation d'un coproduit d'une autre activité). Mais l'important est qu'ils viennent s'inscrire dans le champ de la même façon que les acteurs traditionnels en revendiquant être des acteurs de la résolution du problème constitutif du champ (le « *problem-solving* » de Bijker, à partir d'un autre artefact). C'est pourquoi nous analysons le champ à la fois dans son unité, mais également comme étant traversé par des acteurs porteurs de patrimoines productifs différents, dont le champ peut n'être qu'une opportunité de domaine d'application parmi d'autres, parce que la versatilité de leur produit leur permet cela.

Nous proposons un exposé graduel de la façon dont les compromis de produits sont repensés. Dans un premier temps, nous exposons comment réagit l'industrie de la chimie à travers une problématisation collective de l'interdiction des formaldéhydes et ensuite, par des stratégies de firmes. Dans un second temps, nous discutons les stratégies d'entrée dans la problématique des résines par les voies technologiques prétendant rendre ces produits biosourcés.

---

<sup>51</sup> On raisonne ici toute chose égale par ailleurs, car il est évident que les acteurs cherchent aussi à peser sur la contrainte, en jouant sur les calendriers d'application notamment.

### 3.1. De la défense d'un compromis inchangé à sa labellisation

L'organisme principal de défense des producteurs de formaldéhydes en Europe est Formacare. Il s'agit d'un groupe thématique rattaché à l'European Chemical Industry Council, qui constitue l'organisation collective de l'industrie de la chimie en Europe. Formacare réunit trente-six membres. Parmi les adhérents, l'on retrouve des firmes telles que BASF, DuPont ou Celanese qui sont des grandes firmes de la chimie, pour certaines existant depuis le début de l'histoire des formaldéhydes. On trouve aussi des producteurs de panneaux de bois ou de résines (Kronochem, Fantoni ou le groupe Frati représenté par Chimica Pomponesco). Enfin, quelques producteurs nationaux comme Ercros ou Euroresinas sont aussi membres de l'association. Nous commençons par analyser des communiqués de presse produits par Formacare depuis 2012<sup>52</sup> afin de mettre en lumière la problématisation (au sens de Jullien et Smith) de la limitation de l'usage des formaldéhydes (3.1.1.). Puis nous avons exploré les stratégies de substitution des membres de Formacare (3.1.2.). Enfin, nous montrons comment se développent des stratégies fondées sur des compromis de produits affichant de faibles émissions de formaldéhydes (3.1.3.).

#### 3.1.1. La problématisation collective du formaldéhyde par les représentants de cette industrie

Dans le commentaire d'une étude danoise, publié par Formacare, on trouve la citation suivante : « Formacare Secretary General, Phil Hope, comments: « *Formaldehyde is released naturally in the environment, and it is estimated that less than 1% of global formaldehyde emissions arise from industrial manufacture and use.* »<sup>53</sup>. En 2011, le secrétaire général de Formacare développait un argument relativement similaire à propos de la limitation de l'usage des formaldéhydes aux États-Unis : « *Formaldehyde has been used safely for over a hundred years. The substance has been extensively examined, with numerous studies into potential carcinogenic effects.* »<sup>54</sup>. Cette approche vise à relativiser la dangerosité de la présence des formaldéhydes en raison de leur présence dans la nature – comme la très large majorité des molécules chimiques –, mais ne répond pas sur le problème de la surexposition due aux formulations des produits chimiques qui est le cœur de l'objectif de son interdiction.

Fin 2014, Formacare a renchéri en titrant sa lettre d'information mensuelle « *Small application, big benefits* ». Dans celle-ci, l'organisme fait la promotion du formaldéhyde en mettant en avant l'identité de produits finaux apportant un bénéfice social : ici la fabrication de supports de ceintures de sécurité à partir de résines « à haute performance ». Après la relativisation de la dangerosité des formaldéhydes, les résines sont promues ici comme des moyens d'éviter l'usage du métal dans la fabrication des ceintures, et donc l'industrie des formaldéhydes participerait à la sécurité de tous : « *When it comes to road safety, reliability is the key word. Even at very low speeds, the stress on the mechanism is huge, particularly in case of frontal impact. Today, polyacetal resins are the only polymers that can resist the repeated impact tests, under extreme temperature conditions, required by vehicle specifications.* »<sup>55</sup>.

---

<sup>52</sup> Seuls les communiqués de presse depuis 2012 sont disponibles.

<sup>53</sup> <http://www.formacare.org/european-commission-report-on-danish-nmvoc-study/>, consultée le 29/01/2015

<sup>54</sup> <http://www.formacare.org/formacare-statement-on-12-roc>, consultée le 29/01/2015

<sup>55</sup> <http://www.formacare.org/november-2014-small-application-big-benefits/>, consultée le 29/01/2015

La troisième dimension de la problématisation tient dans l'appel à une certaine communauté scientifique susceptible de légitimer l'usage des formaldéhydes. En 2012, alors que la Commission européenne était sur le point de délibérer sur la reclassification des formaldéhydes visant à limiter sa diffusion, Formacare organisait avec la fédération européenne des producteurs de panneaux de bois une conférence scientifique dont le but était de « *hold an open and objective public debate on formaldehyde science, to enable all stakeholders to hear about the latest scientific research directly from the authors. These fascinating debates showed unequivocally that the body of evidence on the carcinogenicity of formaldehyde remains highly controversial among the scientific community. In our view a reclassification of formaldehyde is far from being warranted.* »<sup>56</sup>. L'enjeu de ce colloque était de souligner l'incertitude des débats existants sur la toxicité des formaldéhydes, avec l'appui d'une partie de la communauté scientifique. Il est intéressant de noter que dans le communiqué de presse faisant le compte-rendu de cette conférence, ce sont les études d'organismes de santé publique comme l'International Agency for Research on Cancer (IARC) ou le U.S. National Cancer Institute (NCI) qui sont critiquées pour avoir utilisé ce qui serait la seule étude établissant un lien entre des cancers du nez et des formaldéhydes avec des données qui n'auraient pas été publiées. La dernière phrase de la citation précédente est particulièrement intéressante pour son double sens. D'une part, P. Hope souligne la controverse scientifique, aussi alimentée par l'industrie des formaldéhydes. Celle-ci serait encore ouverte. D'autre part, cette phrase indique que Formacare, et ses adhérents vont encore se mobiliser pour s'opposer à la reclassification des formaldéhydes.

### 3.1.2. « Business as usual » (ou presque) pour les industries du formaldéhyde

Cette expression n'est pas de nous, mais d'A. Magnusson, responsable développement de produits chez Johnson Matthey Formox, dans une communication à l'Asian Methanol Conference 2013. Son intervention intitulée « **FORMOX AND FORMALDEHYDE MARKET UPDATE – A TURBO IN THE FUTURE ?** » visait à présenter la vision pour le futur de sa firme. Dans son discours, l'auteur relie la croissance de la demande de formaldéhydes à la croissance économique asiatique et particulièrement chinoise. À cela s'ajoute l'usage en Chine du formaldéhyde comme intermédiaire dans la production de carburants à base de charbon. Rappelant que « *formaldehyde is very much a local product; it depends on the local supply and demand situation so plants will be built in some areas and closed in others* » (p. 5), la firme envisage un développement en Chine. Dès lors, la firme ne s'inquiète pas des débouchés pour ses produits. Pour la firme, la problématique des formaldéhydes est une question pour l'aval des filières, c'est-à-dire, soit pour les utilisateurs de panneaux de bois, ou pour les clients de la firme qui achèteront des licences d'exploitation. Le message de la firme est donc d'affirmer que peu importe les réglementations sur les usages du formaldéhyde, elle continuera d'en produire dans des pays où cela est possible (comme en Chine ou en Inde).

Des firmes comme Dynea et Celanese ne l'expriment pas aussi clairement que Johnson Matthey Formox, mais elles suivent une stratégie similaire. Par exemple, Dynea a contracté une *joint-venture* avec Metafrax, la firme historique productrice de méthanal d'abord en URSS puis en Russie, c'est-à-dire, le précurseur essentiel à la production de formaldéhydes et par conséquent, de résines UF et PF. Cette *joint-venture* est le moyen pour Dynea de s'assurer la fourniture de matières premières

---

<sup>56</sup> <http://www.formacare.org/scientists-divided-on-potential-carcinogenicity-of-formaldehyde/>, consultée le 29/01/2015

et de débouchés pour ses produits en Russie et pour Metafrax de bénéficier des connaissances de Dynea dans la production de panneaux de bois. À ce titre, notons qu'un brevet a été publié fin janvier 2015 sur la production de panneaux de bois à haute performance, sur la base de formaldéhydes (US patents 8940127).

Si le discours des firmes étudiées ici n'évoque pas véritablement la limitation des usages du formaldéhyde, il s'avère qu'elles développent des stratégies prenant en compte l'évolution de la législation. Certaines prennent position en Asie ou en Russie, c'est-à-dire, dans des zones géographiques avec une demande croissante de résines phénoliques et une législation sur les émissions de COV inexistantes. Cela témoigne donc d'une première stratégie d'adaptation à la montée en puissance des réglementations sur le formaldéhyde. Ici, le compromis de produit est inchangé, les produits restent identiques.

### 3.1.3. Vers des produits à faibles émissions : identité des produits et *greenwashing*

Dans la « gradation » des trajectoires technologiques, nous avons d'abord montré comment les acteurs producteurs de méthanol et de formaldéhydes réagissaient à l'interdiction du formaldéhyde en considérant que cette réglementation n'aurait aucun effet sur leur activité. Il s'agit ici de montrer comment des stratégies de modification de l'identité du produit sont développées.

#### 3.1.3.1. Remplacer le formaldéhyde par le glyoxal

Dans la trajectoire de maintien d'usages inchangés, des firmes développent des pratiques visant à verdir leurs produits à base de formaldéhydes. Pour cela, la première stratégie que nous identifions est celle de BASF qui vise à remplacer le formaldéhyde par le glyoxal. Le glyoxal est un produit de la chaîne de transformation [naphta →éthylène →éthylène glycol →glyoxal] maîtrisé de longue date par BASF et déjà disponible pour différentes applications. Cette molécule, très semblable au formaldéhyde, pourrait être utilisée aisément, mais, comme nous l'a indiqué un médecin de l'INRS lors d'un entretien, cette molécule ne règle pas le problème des COV.

La firme a produit deux documents visant à bâtir une nouvelle identité pour ses produits : « *Glyoxal shows high potential in the substitution of aldehydes, e.g. for formaldehydes or glutaraldehyde* » (Brochure BASF, 2008, p. 6). Le second document de BASF dont l'objectif est de faire la promotion du glyoxal est du même type. Dès la deuxième page, il est écrit : « *What do we deliver ? (...) Sustainable development of customers' products with glyoxal from BASF* ». Ainsi, et c'est aussi ce que l'on retrouve dans la brochure évoquée précédemment, BASF se propose, à l'image du tournant qu'a pris l'industrie de la chimie dans les années 60-70, de participer à la définition du produit de ses clients : « *to discover new fields of use, we are working with our customers in innovative partnerships. As their partner we are highly interested in supporting our customers with our expertise to maximize their innovative outcome.* » (Brochure BASF, p. 3). Ce que fait BASF en procédant ainsi, c'est travailler l'identité des applications au sein desquelles il y aurait une substitution du formaldéhyde par du glyoxal. La promotion de l'usage de cette molécule se fait sur la base de la remise en avant d'une partie du portefeuille d'activités de BASF qui en produit depuis une cinquantaine d'années.

Néanmoins, on notera que l'hypothèse de substitution des formaldéhydes par le glyoxal n'est pas vraiment nouvelle : un brevet de la Sun Chemical Compagny datant de 1984 proposait déjà de remplacer le formaldéhyde dans les résines UF pour obtenir une résine « UG » aux mêmes propriétés.

### 3.1.3.2. Les guides d'usage du formaldéhyde

Des firmes comme DuPont ou Momentive produisent des guides d'usages de leurs produits. Elles revendiquent des arguments similaires aux positions de Formacare en expliquant que le formaldéhyde est un produit naturel : « *Formaldehyde is a naturally occurring compound present in all living organisms – plants, animals and humans. As a one-carbon compound, it is used in numerous metabolic processes for the biosynthesis of more complex molecules.* » (Momentive, 2012). DuPont tient un discours du même type. Dans une brochure ayant l'apparence d'un document officiel de l'Occupational Safety and Health Administration américaine, chargée de la prévention des risques pour la santé au travail, la firme reprend, elle aussi cet argument de non dangerosité des formaldéhydes en raison de leur présence dans la nature : « *formaldehyde is a simple compound made of carbon, hydrogen and oxygen. It is found everywhere and is produced naturally by plants, animals and humans as part of the normal life.* »<sup>57</sup> (Dupont, p. 3). Etabli sous forme de questions-réponses, il est écrit : « *How do i minimize exposure to formaldehyde in my jobs ?* » (Dupont, *Ibid.*, p.8). Il s'ensuit alors une page de recommandations concernant l'aération des espaces des unités de production dans lesquelles sont utilisés les formaldéhydes et la limitation de la diffusion de poussières par l'installation de protections autour des machines. R. Vincent, ingénieur chimiste à l'INRS, nous confirmait l'utilité d'installations de ce genre, mais rappelait qu'elles n'empêchaient pas complètement la diffusion de particules de formaldéhydes et bien entendu, ne réglaient pas le problème de leurs émissions dans les produits finaux.

### 3.1.3.3. La certification des produits à faible émission

Une autre stratégie possible retenue par certaines firmes est de travailler la question du relargage dans l'environnement de la vie quotidienne. Différentes solutions sont explorées – et notre problème ici, tout comme pour la solution glyoxal n'est pas de savoir si la solution fonctionne, mais quel(s) verrou(s) technologique(s) la firme ou le réseau portant la solution va se donner comme défi à résoudre. Ici, plusieurs solutions sont agitées, ce qui est logique en univers technologique où les solutions sont plutôt multifactorielles qu'unitaires. Celles-ci vont de l'optimisation de la quantité de liant utilisée, à la baisse de la quantité de formaldéhyde dans la formulation et à l'amélioration du comportement mécanique de dégradation (par exemple en faisant un pressage à pression plus élevée qui va limiter les possibilités de relargage ou en faisant un traitement de surface pour empêcher celui-ci).

À cet endroit, il faut bien être conscient que les industriels ont besoin non seulement de savoir-faire, mais aussi de faire-savoir. Car il faut bien qu'ils trouvent le moyen de faire rémunérer leurs efforts en la matière. Les firmes développant cette stratégie ont donc besoin d'un cadre institutionnalisé spécifique de reconnaissance de l'identité de leurs produits.

Ces firmes revendiquent donc une certification de leurs produits à faibles émissions de formaldéhydes. Elles sont principalement des firmes productrices de panneaux de bois, c'est-à-dire en

---

<sup>57</sup> Ce document n'est pas daté.

aval des filières. À ce titre, nous avons identifié Advachem, Chimica Pomponesco, Fantoni et Kronochem (qui dispose également d'accords avec AkzoNobel une firme qui développe aussi une stratégie de substitution des phénols d'origine fossile par des tanins). La stratégie de ces firmes repose sur deux axes. D'une part, elles développent des systèmes permettant de produire des panneaux de bois (ou isolants dans le cas de Fantoni) à faibles émissions. Par exemple, Advachem a déposé un brevet en 2011 (Advachem, 2012) qui constitue une partie de son portefeuille d'activité (ECHA, 2012). Dans cette optique, Kronochem développe également un discours installant une gradation entre les différentes qualités de ses produits. La firme se définit comme productrice de produits non toxiques par différenciation. En effet, elle raconte son développement depuis 1985 comme un « journey to low emission products »<sup>58</sup>. L'histoire de la firme mise en récit par l'exposé de la réussite de la production de produits atteignant ou dépassant des standards présentés comme contraignants.

Le second axe tient en la certification des produits et des *process* de production. Par exemple, la firme Frati, productrice de panneaux de bois, affiche neuf certifications sur ses produits. Ainsi, Frati se positionne comme un producteur de produits à forte consommation soutenable, garantis par des certifications diverses. Ce modèle économique se rapproche de celui de Fantoni. Cette firme italienne est spécialisée dans la production de panneaux d'isolation sonore. Dans son catalogue de présentation des produits, il est fait mention pour chacun de la faible émission de COV sans toutefois revendiquer un aussi grand nombre de certifications que Frati.

Conclusion intermédiaire : quel verrouillage des trajectoires ?

Si on se place dans une stratégie de classement des trajectoires comme Brouillat *et alii* (2013), les stratégies de problématisation collective et du maintien du compromis de produits inchangé correspondent à du pur lobbying. On peut ensuite avoir un débat sur la stratégie de remplacement du formaldéhyde par du glyoxal (classé comme le plus petit des aldéhydes) et sur les stratégies de différenciation des producteurs de panneaux à faible émission. *A priori* dans un schéma tel que présenté plus haut, la stratégie de remplacement du formaldéhyde par le glyoxal pourrait apparaître comme la solution radicale (« *formaldehyde-free* ») et la stratégie d'amélioration comme la stratégie incrémentale. Néanmoins on retrouve le problème posé par Kemp (2010) : il n'est pas évident de savoir laquelle des deux solutions est supérieure, ni même si la substitution par le glyoxal ne change pas fondamentalement le problème. Par ailleurs ce produit reste très clairement dans le paradigme décrit par les chimistes que nous avons interviewés (urée ou phénol + aldéhyde + catalyseur).

---

<sup>58</sup> [Http://www.kronospan-worldwide.com/environment/our-journey-to-low-emission-products/](http://www.kronospan-worldwide.com/environment/our-journey-to-low-emission-products/), consultée le 17/02/2015

## 3.2. Des produits biosourcés, une réponse radicale ?

Parallèlement au travail de problématisation des industries du formaldéhyde ou des industries de la chimie, il se développe un phénomène d'exploration de la production de mousses et résines biosourcées, qui visent également à remplacer le formaldéhyde. Cette réponse ne vient pas directement de l'industrie des formaldéhydes, mais entre autre d'une firme italienne (Ledoga) spécialisée dans la production de ce type de produits et de panneaux de bois. En première analyse, on pourrait penser qu'il s'agit d'une innovation radicale, or il est nécessaire de mettre en évidence la façon dont est développé le produit pour répondre à cette question (3.2.1.). Une seconde réponse vient de l'industrie de la lignine qui se mobilise sur la production de résine PF biosourcées surtout en raison du contexte du développement de l'usage de ce produit (3.2.2.).

### 3.2.1. La trajectoire des tanins

#### 3.2.1.1. Divers usages des tanins à travers l'Histoire

J.-P. Brun, dans la leçon inaugurale de la chaire « Techniques et économies de la Méditerranée antique » du Collège de France décrit les ateliers de tannage du cuir destiné aux armées d'occupation de l'Empire Romain stationnées sur le Rhin ainsi : « *les cuirs ont été fabriqués selon des procédés efficaces et standardisés par tannage végétal, c'est-à-dire en traitant les peaux dans des bains contenant des écorces de chênes broyées ou de la noix de galle* » (Brun, 2012, n.p.). Le procédé décrit ici est la base de la préparation dont le principe n'a pas changé (une extraction à l'eau des molécules d'intérêt) tel que l'on peut l'identifier dans le projet Biofoambark. C'est-à-dire que 1) les tanins sont d'un usage ancien, mais également que 2) le processus d'extraction de ces molécules est lui-même connu depuis l'Antiquité.

On comprend donc que la première chimie industrielle se soit développée sur cette base des tanins utilisés dans le textile et comme colorants. Dans son article du journal *Wood Science and Technology* (1967), un chercheur évoque ses premières recherches en 1916 sur les tanins et les lignines sur une problématique proche de celle qui va être évoquée ici. Dans sa « **CONTRIBUTION A L'HISTOIRE INDUSTRIELLE DES POLYMERES EN FRANCE** », J.-M. Michel rappelle que les tanins ont été très largement utilisés dans la production de la soie à la fois dans le bassin lyonnais et dans le Massif Central. La firme Gillet était spécialisée dans la production de ces tanins qui venaient d'abord du châtaignier puis d'Argentine et de l'exploitation du quebracho, du campêche, du mimosa et du myrobolan et en exportait dans le monde entier dès 1906. Il est à noter que la firme Gillet s'est installée comme société chimique. Peu après l'Armistice de 1918, la firme Gillet a regroupé toutes ses activités chimiques, comme la production de chlore, dans une filiale, Progil. Une part de l'activité de cette firme était la production de tanins de châtaignier. En 1960, elle fabriquait la moitié de la production française. La firme avait trois débouchés : le textile, les panneaux de bois et la cellulose papetière. De fait pour comprendre le patrimoine de la firme, il faut avoir en tête que les tanins sont des structures phénoliques pouvant réagir avec des aldéhydes : on peut donc retrouver ici dans la pratique la même structure de pensée [un phénol + un aldéhyde + un catalyseur] : parallèlement, Progil va produire des tanins synthétiques, c'est-à-dire des condensats de formol avec des sulfones, c'est-à-dire, un aldéhyde. Progil possédait également une filiale fondée en 1922 spécialisée dans la production de résines et colles synthétiques à base de formulations formol + tanins de châtaignier.

Ainsi, l'usage industriel des tanins s'est poursuivi jusqu'aux années 60. A. Pizzi, considéré comme le « pape » de la chimie des tanins pour les adhésifs et résines, continue de s'appuyer sur des publications situées entre 1938 et 1958 (Pizzi, 2000). Cette dernière contribution est particulièrement éclairante, car on peut considérer que ce patrimoine aurait pu disparaître. Pizzi écrit que lorsqu'il débuta ses travaux sur les tanins comme adhésifs, il ne restait qu'une firme australienne qui les utilisait, avec sa propre formulation. Durant les années 90, cet auteur a poursuivi ses travaux sur la formulation des résines et adhésifs à base de tanins et le développement de technologies de compression et de moulage pour une variété d'applications, qui rentrent dans les fonctions de produits explorés dès le développement de la Bakélite, et pour ce qui est d'aujourd'hui, dans le champ de voies possibles pour la substitution des formaldéhydes.

3.2.1.2. La problématisation de l'usage des tanins dans la bioraffinerie pour tester l'hypothèse des coûts comme verrou technologique

3.2.1.2.1. *Le développement d'un modèle économique de filière*

Notre rôle dans le projet Biofoambark était de développer un modèle économique de filière pour l'utilisation de ces tanins. Le procédé technique est le suivant. En s'appuyant sur l'extraction des tanins, l'objectif est de provoquer leur réaction avec un aldéhyde, à l'image des techniques pour les résines et colles à base de formaldéhyde. À cette première production serait ajoutée une seconde transformation : les écorces détanisées seraient alors utilisées pour produire du gaz. Afin de remplacer les formaldéhydes, il est annoncé dans le descriptif du projet que le glycérol et le furfural pourraient servir d'aldéhyde biosourcé en remplacement du formaldéhyde, s'inscrivant alors dans le contexte de la bioraffinerie. En effet, ces deux produits sont des coproduits de la production de carburants biosourcés. Le schéma suivant représente ces différentes étapes de production :

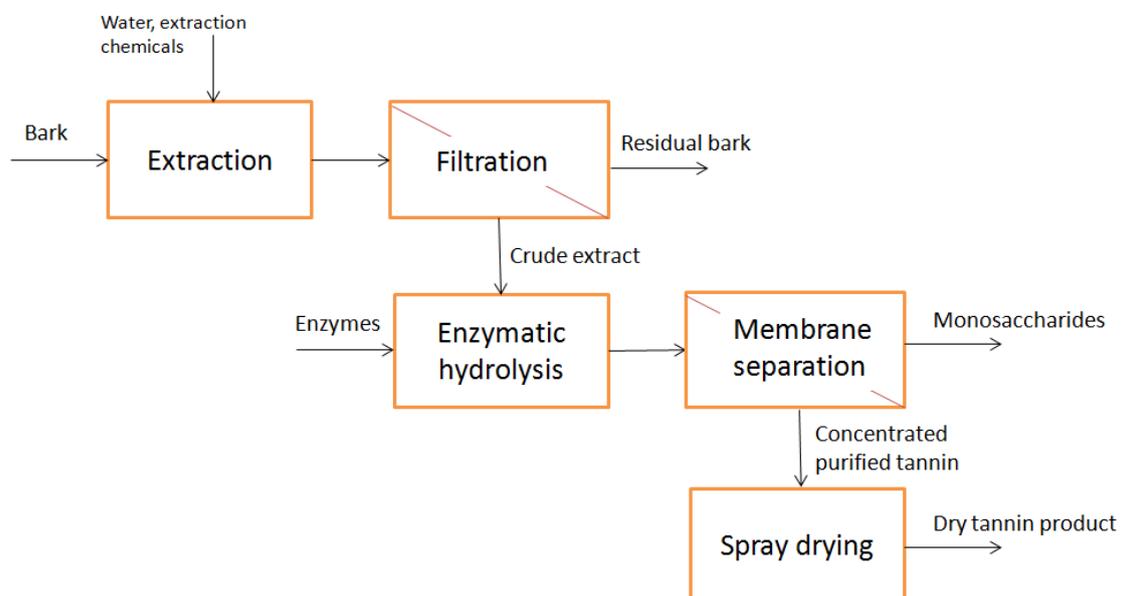


Figure 15 : Représentation des étapes clés dans l'extraction des tanins (schéma du VTT, documents internes au projet)

Ce point de départ a été établi par le VTT qui cherchait en fait à aller au-delà de la simple mise en ordre des techniques nécessaires au développement d'une mousse isolante. Ils cherchaient de fait à inscrire leur représentation dans une vision plus large, dans laquelle ils pourraient superposer plusieurs problématiques : ici les travaux sur la bioraffinerie viennent clairement influencer le champ de la réflexion sur la substitution des formaldéhydes puisque les acteurs se demandaient s'ils pouvaient tirer parti à la fois du schéma de la bioraffinerie pour montrer un type d'espérances technologiques particulier et s'ils ne pouvaient pas tenter des compositions de résines à base de tanins et de produits emblématiques de la bioraffinerie (de fait on a des papiers testant des résines tanin + glycerol, cf. Lima *et alii*, 2016). Afin de structurer les réflexions autour de la coordination des activités, nous avons proposé aux acteurs du projet la représentation suivante qu'ils ont validée :

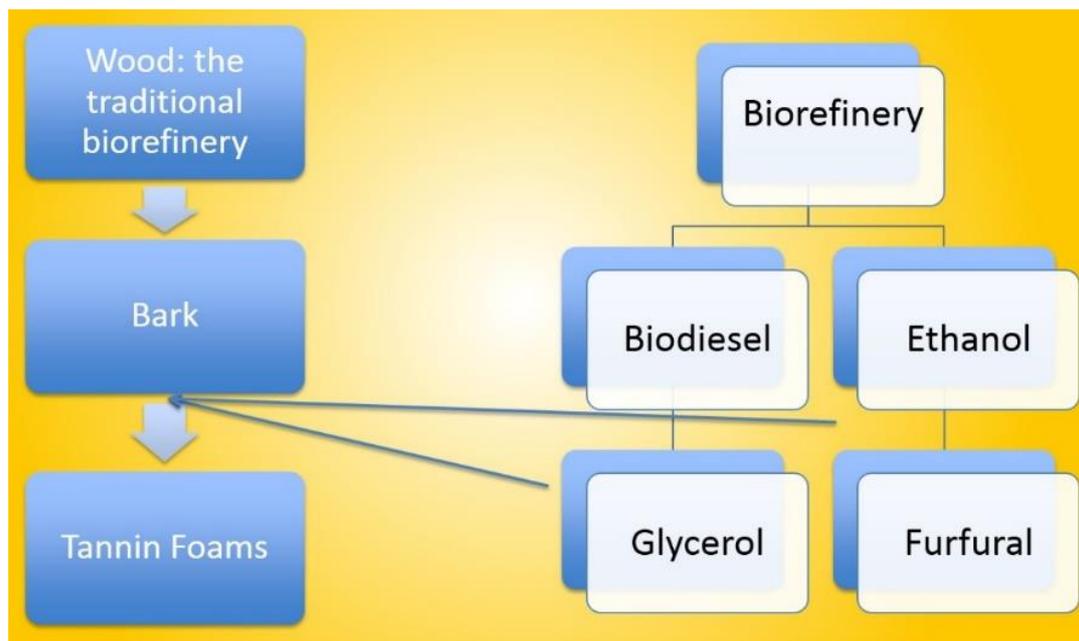


Figure 16 : Représentation de la chaîne de valeur à l'origine du projet Biofoambark (d'après Raschka *et alii*, 2014)

### 3.2.1.2.2. La problématisation de l'usage des tanins dans la bioraffinerie

Dans le projet Biofoambark, les tanins ont été retenus, car leur structure moléculaire est très proche de celle des phénols d'origine fossile utilisés habituellement. Par ailleurs, ils ont la caractéristique d'être très réactifs. Le point de départ de ce projet est de tenter de valoriser les écorces d'arbres issues d'exploitations forestières qui ne sont utilisées, pour l'instant que pour le chauffage. Une des contributions issues du projet théorise, en ce sens, l'usage de l'écorce pour la production de matériaux : « *This volume of bark, now being combusted for energy, could provide components suitable for upgrading to higher value products, for instance adhesives, resins and plastics, before being combusted in the end of their life-cycle.* » (Kemppainen *et alii*, 2014, p.158). Les auteurs poursuivent en vantant les applications pour l'usage des tanins grâce à leurs fonctionnalités chimiques : « *Because of their phenolic nature, tannins can be used to replace fossil-based phenol in many applications such as insulating foams and adhesives (...). Current main industrial sources of tannin, acacia, quebracho, hemlock, tara, chesnut and sumach species are not abundant enough to provide tannin outside the current markets covering leather tanning, wine industry, animal nutrition, and some industrial uses such*

*as mineral flotation, and oil drilling (...).* » (Kemppainen *et alii*, *Ibid.*, p.158). Pour bien saisir cette dernière citation, il faut avoir à l'esprit que deux des participants au projet sont directement impliqués dans une des industries concernées. Kemppainen, l'auteur principal de l'article cité précédemment, est membre du VTT qui est très impliqué dans la recherche et développement pour l'industrie du bois finlandaise. Le second acteur particulièrement impliqué est Ledoga. Elle fait partie d'un groupe, producteur de furfural qui peut être utilisé comme aldéhyde dans la production de mousses de tanins, qui a développé l'exploitation de tanins de quebracho en Argentine. Il se trouve que Silvateam, le groupe dont fait partie Ledoga, produit également des panneaux de bois.

On a donc des acteurs qui positionnent le projet comme appartenant au champ de la bioraffinerie en se donnant une vision ordonnée des verrous technologiques qu'ils auraient à lever sur cette trajectoire : identification des espèces d'arbres pertinentes, formulation de la réaction, production d'un produit soutenable et production d'un modèle économique de filière. Cet extrait de la description du projet abonde en ce sens : « *Besides the environmental performance also a techno-economical study for the new technology and the bark/tannin supply chains as well as a study on market potentials will be conducted. The collected data and the investigated scenarios will help to define the most competitive technologies and chain supplies for European tannin foams based on sustainability and techno-economic criteria.* »<sup>59</sup>.

#### 3.2.1.2.3. Les coûts : véritables lock-ins ?

Dans une intervention, Winter et Laborie (2014) – deux animateurs du projet – précisent que l'objectif est de pouvoir produire des mousses isolantes aux caractéristiques similaires à celles utilisées en Europe, tout en utilisant une technique maîtrisée depuis la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, et encore très répandue en Amérique du Sud. La prise de position de Ledoga sur cette trajectoire des mousses de tanins peut être déduite de brevets déposés avec A. Pizzi (var. réf.), mais aussi de la participation matérielle à des thèses encadrées par ce dernier (comme Tondi, 2009 par exemple). L'intérêt pour Ledoga réside aussi dans une stratégie de différenciation par un produit sans formaldéhyde dans la concurrence avec les autres producteurs de panneaux de bois italiens bâtissant une stratégie de certifications « faibles émissions » comme Fratti par exemple.

Dans cette présentation, Winter et Laborie (2014), les auteurs sont revenus sur les différents verrous technologiques fondant les travaux des groupes de travail du projet : le type de ressources, l'extraction des tanins, la formation de la mousse, la possibilité de production de gaz et l'analyse de cycle de vie des produits. Ce n'est qu'à la fin de la présentation qu'est évoquée l'analyse en terme de coûts et seulement par l'intermédiaire du green premium price. Ce concept est mobilisé par le nova-Institut sous deux angles. Le premier, qui s'inspire de la gestion, vise à étudier si les consommateurs sont prêts à payer un supplément pour un produit « haut de gamme environnementale ». Le second, et c'est de cette façon qu'il est travaillé au nova-Institute (Carus *et alii*, 2012), vise à promouvoir chez les producteurs l'idée qu'ils doivent sortir de la seule concurrence par les prix en acceptant que l'identité « verte » du produit soit associée d'emblée à un prix plus élevé. Ainsi, il s'opère un glissement vers une assimilation entre coûts et prix de vente, qui transforme une contrainte que serait un éventuel coût plus élevé en une opportunité : « *for the tannin-based foams an opportunity for 'green premium' might be given : 10-20% higher prices* » (Winter et Laborie, *Ibid.*, 2014). Dès lors, si dans le

---

<sup>59</sup> <https://www.biofoambark.uni-freiburg.de/Project%20Description/OBJ>, consultée le 23/02/2015

développement du projet, le coût n'est pas le facteur limitant la production de nouvelles mousses isolantes, il est nécessaire de se tourner vers les deux autres facteurs pointés par Cecere *et alii* (2014) qui sont les technologies et les acteurs. En effet, la présentation de Winter et Laborie présente l'objectif du projet comme suit : « *Core objective of Biofoambark : Development of insulating rigid foams based on bark tannins from European softwood species* » (Winter et Laborie, *Ibid.*, 2014). Plus loin, la perspective du projet est encore plus claire : « *Original (tropical) tannin formulations and kinetics have to be adapted.* » (Winter et Laborie, *Ibid.*, 2014). Il ne s'agit pas, bien sûr pour les porteurs du projet de chercher les arbres tropicaux les plus propices à la production de tanins, mais de se choisir un autre verrou à lever : réussir à produire ces tanins à partir de variétés de pins européennes. Dès lors, l'hypothèse que la question du coût est centrale dans la transition est fortement affaiblie.

### 3.2.1.3. Les verrous à lever pour la production de mousses à base de tanins

Pour montrer comment sont travaillés les verrous technologiques par les acteurs, nous proposons une mise en ordre des publications réalisées au sein du projet. Pour cela, nous nous appuyons sur un travail de synthèse que nous avons réalisé pour évaluer l'avancée du projet. Rappelons que les grandes étapes de production de la mousse de tanins sont l'exploitation de la forêt (dans le cas du projet, des espèces européennes) puis le découpage en rondins et la récupération des écorces, la préparation des écorces, l'extraction des tanins à partir d'eau chaude puis la formulation (le phénol étant le tanin, un aldéhyde autre que le formaldéhyde et un catalyseur). Chacun des tableaux propose un bref résumé des articles étudiés.

#### 3.2.1.3.1. La production des matières premières

Le premier groupe de publications porte sur la production de matières premières et la réalisation d'analyses de cycles de vie en fonction des différents modes de gestion des forêts et du type de bois utilisé. Malgré tout, il apparaît que c'est essentiellement la question du choix de l'espèce à utiliser qui est travaillée.

Titre	Résumé
Gonzalez-Garcia <i>et alii</i> (2013). « The influence of forest management systems on the environmental impacts for Douglas-fir production in France »	- Une des espèces les plus répandues dans le monde - Productif et adaptable ; bonnes propriétés pour la production de matériaux pour l'extérieur - Très présente en France et en Allemagne
Gonzalez-Garcia <i>et alii</i> (2013). « Cradle-to-gate life cycle inventory and environmental performance of Douglas-fir roundwood production in Germany »	- Étude similaire à la précédente - Problème de soutenabilité causé par l'étape de production de rondins
Gonzalez-Garcia <i>et alii</i> (2013). « Environmental evaluation and comparison of Douglas-fir wood production in french and german stands »	- Comparaison des deux études précédentes => même problème de soutenabilité lié à la production de rondins
Gonzalez-Garcia <i>et alii</i> (2014). « Divergences on the environmental impact associated to the production of maritime pine wood in Europe : French and Portuguese case studies »	- Étude similaire - Étape de production de rondins la plus polluante
Gonzalez-Garcia <i>et alii</i> (2014). « Cradle-to-Gate Life Cycle Assesment of forest operations in Europe : environmental and energy profiles »	- Études sur 7 espèces les plus courantes en Europe. - Correspond aux nationalités des membres du projet ( <i>cf.</i> carte p.190)

Figure 17 : Résumé des publications portant sur les analyses de cycle de vie et la disponibilité des ressources (Béfort, 2014)

### 3.2.1.3.2. Déterminer le couple écorce/aldéhyde pertinent

Les deux tableaux suivants illustrent que la question du projet est bien de réaliser une étude croisant les types d'essences utilisées et les aldéhydes. Par exemple, l'article 2) de Lacoste *et alii* (2013) étudie trois formulations en vue de comparer l'usage du pin ou du mimosa. Dans un second article, les mêmes auteurs vont tester deux aldéhydes différents : le glyoxal et le glutaraldéhyde. De même, l'article de Garcia *et alii* (2014) teste l'utilisation de 12 aldéhydes (*cf.* figure suivante) afin d'identifier lesquels sont les plus efficaces à utiliser avec le pin. Dans ce cas, il s'avère que le glyoxal et le glutaraldéhyde sont les plus efficaces.

C <sup>a</sup>	Common name	IUPAC name	Content (%) <sup>f</sup>	Abreviation
1	Formaldehyde <sup>b</sup>	Methanal	37	F
2	Acetaldehyde <sup>b</sup>	Ethanal	≥99	C <sub>2</sub>
3	Propionaldehyde <sup>b</sup>	Propanal	97	C <sub>3</sub>
4	n-butyraldehyde <sup>b</sup>	Butanal	≥98	nC <sub>4</sub>
4	iso-butyraldehyde <sup>b</sup>	2-methylpropanal	≥98	isoC <sub>4</sub>
4	trans-crotonaldehyde <sup>b</sup>	(2E)-but-2-enal	≥99	tC <sub>4</sub>
5	Furfural <sup>c</sup>	Furan-2-carbaldehyde	≥98	Fur
6	Hydroxymethylfurfural <sup>c</sup>	5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde	≥99	HMF
9	trans-cinnamaldehyde <sup>c</sup>	(2E)-3-phenylprop-2-enal	≥98	Cin
10	Citral <sup>c</sup>	3,7-dimethylocta-2,6-dienal (E/Z isomers mixture)	≥98	Cit
2	Glyoxal <sup>d</sup>	Ethane-1,2-dione	~40	Gly
5	Glutaraldehyde <sup>d</sup>	Pentane-1,5-dial	25	Glu

Figure 18 : Liste des aldéhydes testés (d'après Garcia *et alii*, 2014, p. 86)

Cette méthode d'exploration reprend bien la méthode utilisée pour développer la Bakélite, à savoir une exploration systématique de réactions entre un phénol et un aldéhyde, prolongeant donc cette trajectoire. Les échanges que nous avons pu avoir avec les membres du projet à propos de la question des aldéhydes ont été régulièrement occupés par la question de l'usage du furfural. Coproduit de la bioraffinerie, il semble que son utilisation était une des cibles du projet. Ceci peut s'expliquer par le fait que la firme italienne Ledoga participait au projet.

Titre	Résumé
Garcia <i>et alii</i> (2013). « Hydropropyl tannin derivatives from Pinatus Pinaster »	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanins/furanic très présents dans la matière (2<sup>e</sup> après la lignine)</li> <li>- Tanins principalement utilisés sont ceux issus de mimosa et quebracho (disponibles et utilisés pour la production de polymères//colles et résines)</li> <li>- Pinus Pinaster peu utilisé, car très réactif et très visqueux =&gt; modifier ces phénols pour pouvoir les utiliser plutôt que d'utiliser des espèces exotiques</li> </ul>
Lacoste <i>et alii</i> (2013). « Pine tannin-based rigid foams: mechanical and thermal properties »	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraction de tanins issus de mimosa et de quebracho limitée en quantité =&gt; étendre la production au Pin</li> <li>- Gérer la réactivité du Pin</li> <li>- Promesse : produire une mousse résistante, soutenable (biosourcée et sans formaldéhydes, car furfural comme aldéhyde) avec ressources locales</li> </ul>
Lacoste <i>et alii</i> (2013). « Bioresourced pine tannin/furanic foams with glyoxal and glutaraldehyde »	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produit biosourcé et utilisation de glyoxal ou glutaraldéhyde pour produire des mousses sans émissions</li> <li>- Tanins/furanic + formaldéhyde = propriétés identiques au synthétique</li> <li>- Tanins/furanic + aldéhydes autre = meilleure conductivité thermique, mais résistance mécanique plus faible</li> <li>- Ccl : glyoxal permet d'avoir faible conductivité thermique et bonne isolation</li> </ul>

Lacoste <i>et alii</i> (2014). « Pinus Pinaster tannin/furanic foams : Part I. Formulation. »	- 1 <sup>re</sup> génération : tanins issus d'espèces exotiques + formaldéhydes 2 <sup>e</sup> génération : exploration actuelle sur nouveaux solvants (camphre, glycérol), nouveaux aldéhydes, nouvelles sources de tanins (pinus pinaster principalement) - Problème de gestion de la réaction des tanins
Kemppainen <i>et alii</i> (2014). « Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. »	- Ressources en tanins issus d'espèces exotiques ou de châtaigniers ne sont pas assez élevées => trouver de nouvelles sources - Utiliser les écorces d'arbres issues des exploitations forestières d'épicéa => optimiser procédé d'extraction de tanins - Pourrait être utilisé dans une bioraffinerie lignocellulosique pour les matériaux plutôt que pour l'énergie
Garcia <i>et alii</i> (2014). « Substitution pattern elucidation of hydroxypropyl Pinus Pinaster bark polyflavonoids derivatives by ESI( — ) — MS/MS »	- Étude de la structure des tanins de Pinus Pinaster
Cop <i>et alii</i> (2014). « Curing characterization of spruce tannin-based foams using the advanced isoconversional method »	- Utilisation des écorces comme matières premières et non comme déchets - Problème de gestion de la réactivité - Formulations avec tanins et glycérol
Cop <i>et alii</i> (2015). « Characterization of the curing process of mixed pine and spruce tannin-based foams by different methods »	- Étude du séchage des résines et colles issues de tanins
Cop <i>et alii</i> (2015). « The effect of the composition of spruce and pine tannin-based foams on their physical, morphological and compression properties »	- Performances similaires avec les PUR - Tests pour identifier les effets de différentes formulations sur les mousses à partir de Pinus Radiata et Pinus Pinaster
Garcia <i>et alii</i> (2015). « Hydroxypropyl tannin from Pinus pinaster bark as polyol source in urethane chemistry »	- Tanins peuvent être utilisés pour remplacer partiellement les polyols nécessaires à la production de PUR - Production de mousses rigides à partir de Pinus Pinaster => autre façon de raconter le projet
Lacoste <i>et alii</i> (2015). « Pine ( <i>P. pinaster</i> ) and quebracho ( <i>S. lorentzii</i> ) tannin-based foams as green acoustic absorbers »	- Démonstration d'une fonctionnalité des mousses de tanins issus du Pinus Pinaster qui est l'absorption des sons
Lacoste <i>et alii</i> (2015). « Biobased foams from condensed tannin extracts from Norway spruce ( <i>Picea abies</i> ) bark »	- Test de production de mousses de tanins (même procédé) à partir d'écorce d'épicéa

Figure 19 : résumé des publications issues du projet 2/2 (Béfort, 2014)

La lecture des résumés de ces différentes publications nous confirme que le but est bien de choisir les verrous technologiques auxquels on s'attaque : les bois sud-américains comme le quebracho doivent être remplacés par des espèces locales (comme le pin), le formaldéhyde doit être remplacé par un autre aldéhyde.

### 3.2.2. La voie lignine

Une seconde trajectoire de production de résines phénols-formaldéhydes est celle de l'exploration de la lignine. Nous exposons tout d'abord le contexte du développement de son étude (3.2.2.1.) puis les travaux visant à l'utiliser pour produire des résines (3.2.2.2.).

#### 3.2.2.1. Le contexte des études sur la lignine

La dernière trajectoire technologique existante est celle de l'usage des lignines. La fonction des lignines pour les colles et résines est similaire à celle des tanins dans le sens où elles contiennent des phénols. La poussée récente pour l'usage des lignines dans la production de matériaux s'inscrit dans le contexte d'émergence de la bioraffinerie. Institutionnellement, cette matière première a été reconnue comme une matière première cible du développement dans les premiers exercices de

prospective comme StarColibri ou plus récemment par le projet Biocore qui s'est terminé en 2014. La lignine est le deuxième polymère (après la cellulose) présent dans la biomasse et environ 90-95 % de la production mondiale de lignine est brûlée pour la production d'énergie. La connaissance de la lignine est relativement ancienne, car les premiers travaux ayant montré son existence datent de 1890. Malgré cela, la caractérisation fine de la lignine n'a été réalisée qu'à la fin des années 1990. Dans ce contexte, deux grands types d'usage s'affrontent. D'une part, l'industrie papetière produit de grandes quantités de lignine qui sont des coproduits destinés à être valorisés en biocarburants par un procédé Fisher-Tropsch. Lors d'un colloque de politique industrielle qui s'est tenu en 2012, un représentant de la société papetière finlandaise UPM expliquait que « *ce procédé était innovant et largement maîtrisé, car connu depuis la Deuxième Guerre mondiale* ». Ce procédé repose sur le fractionnement des macromolécules de la lignine en atomes de carbone en vue de produire des carburants d'origine végétale. Cette démarche s'inscrit dans l'extension des portefeuilles de produits des firmes papetières par la valorisation de déchets désormais traités comme des coproduits. Cette vision relève de la construction politique de filières de la bioraffinerie centrées sur une bioraffinerie dédiée en priorité à la production de carburants et avec les coproduits de cette production, le développement de matériaux biosourcés. La grande problématique de cette filière réside dans le coût élevé que représente le fractionnement de la lignine. Celle-ci constitue la structure même de la plante. Par conséquent, cela suppose de grandes quantités d'énergie pour déconstruire la plante, augmentant largement le coût de production. La solution envisagée serait de disposer d'unités de production de grande taille, mais les différentes crises de la chimie industrielle indiquent que les investissements nécessaires pour permettre la rentabilité, hors crise, de ces produits à faible valeur ajoutée font peser une forte incertitude sur les firmes spécialisées dans ces productions (Galambos *et alii*, 2007).

#### 3.2.2.2. La lignine pour la production de panneaux bio-sourcés

Parallèlement à cette vision, des approches centrées sur l'usage des fonctionnalités de la plante sont développées. La revue de littérature de Laurichesse et Avérous (2014) s'inscrit clairement dans cette seconde trajectoire. Ils décrivent la lignine ainsi : « *lignin is recognized as a highly branched polymer with a variety of functional groups: aliphatic and phenolic hydroxyls, carboxylic, carbonyl and methoxyl.* » (Laurichesse et Avérous, *Ibid.*, p.1268). L'idée est donc de séparer les fractions de la lignine contenant ces fonctions afin d'obtenir les fonctionnalités attendues pour la production de polymères. Dans le cas de la production de mousses et résines biosourcées sans formaldéhydes, il s'agit alors d'isoler les fonctions phénoliques de la matière. Nous avons identifié deux grands acteurs porteurs de cette stratégie. Le premier est la firme Chimie Industrielle des Matières Végétales (CIMV) et le second le FCBA (centre de recherche collectif des exploitants forestiers et producteurs de matériaux à base de bois). CIMV a construit une promesse technologique de procédés permettant de produire des lignines à des niveaux de pureté très élevés, tout en préservant leurs fonctionnalités, devenant pour un moment l'une des entreprises vedettes de la chimie du végétal. La présentation de da Silva *et alii* (2011) s'oriente très clairement en ce sens.

Dans une intervention en 2010 lors d'une rencontre du pôle de compétitivité AXELERA, da Silva Perez *et alii* (chercheurs au FCBA) soulignent le paradoxe que la lignine est présente en grande quantité naturellement et que 50 millions de tonnes de lignines sont extraites par an, mais que le marché de la lignine ne représente que 805 000 tonnes par an. Toute la lignine qui n'est pas utilisée est transformée en pellets pour du bois de chauffage. Ce faisant, les auteurs pointent le problème posé par la

conception de la lignine comme co-produit de l'industrie papetière et proposent de renverser cette vision : « *La lignine n'est ni un sous-produit, ni un déchet de l'industrie papetière !!* » (da Silva Perez *et alii, Ibid.*). Cette prise de position forte témoigne de la tentative de formalisation d'un modèle de filière alternatif par le FCBA et CIMV. Une note de 2011 issue du projet Panneaux Verts financé par l'ADEME précise que « *de nouvelles formulations d'adhésifs basées sur une chimie verte mettant en œuvre des résidus de l'industrie papetière ont été développées au cours de ce projet* » (Petit-Conil et Tapin-Lingua, 2011, p.2). Ce projet réunissait le FCBA, CIMV, l'équipe de recherche de Pizzi et le producteur de pâte à papier TEMBEC. Il est donc notable que le FCBA s'oppose aussi vivement à ne faire que de la valorisation des déchets de l'industrie papetière. Nous pouvons déduire du soutien du CIMV à cette position en raison du produit qu'ils offrent.

Les travaux menés dans le projet Panneaux Verts se sont aussi focalisés sur le choix de la matière première à utiliser par des tests réalisés conjointement entre la CIMV et le LERMAB (laboratoire de l'équipe de recherche de Pizzi). La question qui a guidé cette opération a été de déterminer les espèces européennes dont la teneur en phénols est la plus élevée. Le résultat principal a été de pointer la réactivité limitée de la lignine. Ce problème a été résolu par l'usage de glyoxal. Ainsi, les filières fondées sur la lignine et les tanins partagent des problématiques similaires en amont quant à l'origine des produits utilisés. Le projet Panneaux Verts a conduit les acteurs impliqués dans la production de résines et colles biosourcées non émettrices de formaldéhydes à tester des solutions techniques mélangeant tanins et lignines. Etant donnée la nature différente de ces matières premières (qui sont utilisées pour leur contenu en tanins), il est nécessaire de procéder à un traitement différencié des matières premières (hexamine pour les tanins et glyoxal pour la lignine). Cette différence de traitement nécessaire pour les deux matières premières introduit une nouvelle problématique dans la réflexion sur la transition qui vise à déterminer s'il va exister une hybridation entre les deux voies technologiques. Le projet Panneaux Verts illustre une exploration d'une possible hybridation tout en fournissant aux acteurs des voies tanins et lignine la possibilité de renforcer leurs trajectoires respectives sous la « bannière » d'un modèle de filière alternatif à celle fondée sur le fractionnement par les industries papetières de leurs propres déchets.

### Conclusion de la section

Comme annoncé dans la première section, voici une synthèse de l'étude des différentes trajectoires technologiques dans cette section :

	<u>La voie traditionnelle</u>	<u>La voie tanin</u>	<u>La voie lignine</u>
<u>Principaux acteurs</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formacare</li> <li>• Producteurs de formaldéhydes et de panneaux de bois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipe d'A. Pizzi</li> <li>• Ledoga</li> <li>• Projet Biofoambark</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIMV</li> <li>• FCBA</li> <li>• Projet Panneaux Verts</li> </ul>
<u>Promesses sur les verrous technologiques à lever</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenir inchangé l'usage des formaldéhydes</li> <li>• Simple limitation des formaldéhydes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• « <i>Core objective of Biofoambark : development of insulating rigid foams based on bark tanins from European softwood species (...)</i> Original (tropical) tannin formulations and kinetics have to be adapted » (Winter et Laborie, 2014)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• « <i>La lignine n'est ni un sous-produit, ni un déchet de l'industrie papetière !!</i> » (da Silva Perez et al., 2010)</li> </ul>
<u>Stratégies et formes de concurrence</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lobbying</li> <li>• Délocalisations</li> <li>• Guides d'usage</li> <li>• Certificats de faibles émissions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discours d'ancrage dans la bioraffinerie</li> <li>• Différenciation des producteurs traditionnels par l'abandon des formaldéhydes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioraffinerie lignocellulosique</li> <li>• Mousses isolantes comme exemple de produits à haute valeur ajoutée dans la concurrence avec les carburants liquides</li> </ul>
<u>Patrimoines productifs collectifs et production de connaissances</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimisation des procédés dans des filières existantes</li> <li>• Patrimoine productif de la production de résines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transition dans les matières premières mais pas dans les formulations</li> <li>• Patrimoines productifs de la production de résine et de la sylviculture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulation identique</li> <li>• Hybridation avec la voie tannins</li> <li>• Patrimoines productifs de la production de résine et de l'industrie de la lignine</li> </ul>

Figure 20 : synthèse de l'étude des stratégies de réponse aux verrous technologiques

On aurait pu supposer *a priori* que les trajectoires de production de résines biosourcées étaient des innovations radicales au regard des stratégies de maintien d'un compromis de produit inchangé ou modifié à la marge par le remplacement du formaldéhyde par le glyoxal.

Notre première conclusion est que, pour chacune des trajectoires étudiées, elles s'inscrivaient toutes dans le régime de production de connaissances et d'activités économiques des résines phénols-formaldéhydes. Concernant la production de connaissances, c'est par exemple le cas du projet Biofoambark qui nous a permis de constater que le mode d'étude des réactions était identique à celui qui avait conduit au développement de la Bakélite. Concernant la production d'activités économiques, il s'avère que la façon de penser le compromis de produit est inchangée : il s'agit toujours de résines phénols-formaldéhydes. Cette persistance est apparue très clairement dans le projet Biofoambark sur la question des espèces de bois à utiliser : il s'agissait d'attirer des techniques déjà maîtrisées vers des variétés européennes de bois. Par conséquent, l'apprentissage en vue de lever des verrous technologiques est orienté par des patrimoines productifs existants. C'est à partir de ceux-ci, et leur nécessaire reproduction, que les acteurs identifient les verrous qu'ils souhaitent lever.

La deuxième conclusion que l'on peut tirer de cette section est que la question des coûts de production n'est pas première dans la façon d'ordonner l'effort de recherche des acteurs y compris privés. Ceux-ci tolèrent la phase d'exploration au-delà de ce que nous aurions imaginé. L'atteinte d'un objectif de coût est plutôt un des verrous sur la trajectoire que les acteurs décident d'affronter qu'une réflexion conduisant à un choix entre deux solutions alternatives. Par exemple, A. Pizzi nous a confié qu'en l'état les projets de résines à base de tanins n'étaient pas encore industrialisables. Pourtant, les acteurs continuent de faire vivre ces trajectoires technologiques.

La troisième conclusion est que le champ formé par l'émergence du problème à résoudre ne correspond pas au seul espace des producteurs de formaldéhydes visés par la politique publique. En effet, l'interdiction des formaldéhydes touche principalement les producteurs de cette molécule et les producteurs de résines/panneaux de bois. Pourtant, les industriels de la lignine ont investi cette question par une autre entrée.

La quatrième conclusion que l'on peut tirer tient au fait que les trajectoires du biosourcé auraient pu paraître radicales. Pourtant, comme le montre le tableau suivant reprenant les différentes stratégies de substitution, on peut constater que chacune des stratégies entre dans le tableau basé sur la formulation initiale des résines phénoliques.

Type de substitution	Phénol	Aldéhyde
Industrie de la chimie	Inchangé	Inchangé ou glyoxal
Tanins	Tanins	Tentatives de substitution par du furfural ou du glyoxal, voire du camphre
Lignine	Lignine	Tentatives de substitution furfural ou glyoxal

Figure 21 : Types de substitutions par rapport à la conception des produits dans le régime de production de connaissances et d'activités économiques des résines phénoliques

Dans tous les cas, les stratégies s'inspirent de la façon de concevoir les produits dans le régime. Ainsi, le mode de raisonnement des deux trajectoires du biosourcé est identique à celui de l'industrie

de la chimie s'il s'agit de distinguer quelle conception du produit est radicale et l'autre non. Méthodologiquement, c'est en considérant la production de connaissances à partir des patrimoines scientifiques hérités que l'on a pu faire cette démonstration.

La cinquième conclusion est qu'il y a bien constitution d'un champ où sans qu'il n'y ait nécessairement, ni encore de trajectoires dominantes, des acteurs s'affrontent autour et de problèmes communs, mais d'artefacts différents. C'est ce qui produit les régularités dans les directions de recherche et les différences dans le régime de production de connaissances et d'activités économiques ; Le schéma ci-dessous résume la formation du champ autour de cinq solutions qui s'affrontent. Le champ est alimenté par des acteurs de deux mondes — la chimie traditionnelle (formaldéhydes et glyoxal) et la chimie du végétal (tanins et lignines) – venant à la rencontre des acteurs des industries de transformation aval. Ces acteurs n'ont pas les mêmes intérêts ni les mêmes stratégies exploratoires. Pour les acteurs de l'amont, il s'agit de proposer leurs propres produits intermédiaires à la coordination entre acteurs. Pour les acteurs de l'aval, les solutions proposées représentent des portefeuilles d'options – d'où les recensions de littérature globale sur le champ ainsi constitué, plus ou moins agnostiques d'ailleurs sur ces solutions qui sont les témoins de l'existence réelle du champ (Demaille, 2014, par exemple).

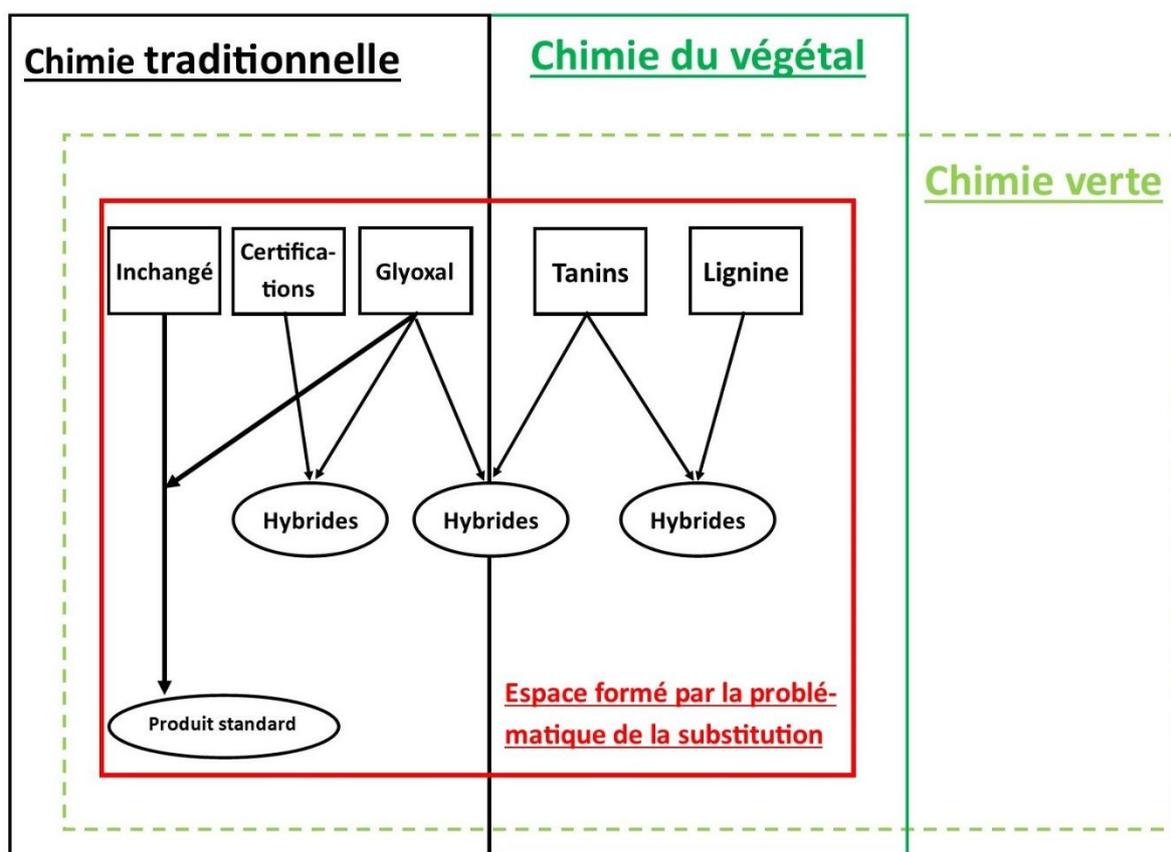


Figure 22 : L'emboîtement des trajectoires de substitution dans les champs

Ce qui nous intéresse dans le schéma est l'emboîtement de différents champs, la chimie verte voit ses principes représentés dans les cas de réductions d'émission (principe 3 et 4 de la chimie verte quand il s'agit d'utiliser des produits moins toxiques ou en la minimisant comme pour le glyoxal ou les certificats d'émission) ou de substitution par des ressources renouvelables (principe n° 7 pour l'usage

de tanins ou de lignine). Les champs sont donc structurés dans le domaine qui nous intéresse par le problème productif à résoudre.

## Conclusion du chapitre

Quatre résultats sur les verrous technologiques, les espaces de régulation et la diversité des trajectoires technologiques

L'objet de ce chapitre était d'un certain point de vue de poursuivre le débat ouvert sur les convergences entre approches régulationnistes et évolutionnistes par un papier de Dosi et Coriat (1995). Nous avons porté la discussion à trois endroits. Premièrement, nous avons proposé de comprendre les verrous technologiques non comme des constructions analytiques *ex post*, mais comme le résultat de contraintes que se donnent les acteurs qui organisent le verrouillage de la trajectoire à laquelle ils appartiennent, et ce, afin de maintenir une position dominante. Nous proposons donc de comprendre les verrous technologiques comme un élément de la régulation du changement.

Ceci pose donc la question de l'historicisation de l'analyse. Si les travaux récents sur les innovations environnementales comme Cecere *et alii* (2014) identifient des facteurs de verrouillage technologique, la perspective n'est pas explicitement historiciste, ne permettant pas alors de rendre compte de la façon dont ces verrous sont projetés. Nous avons mis en évidence que plus que les rendements croissants d'adoption réels, c'est l'**espérance** de rendements croissants d'adoption qui justifie pour les acteurs de s'investir sur une trajectoire et leur permet d'agglomérer sur la base de croyances partagées, la même vision du futur. Ceci permet d'intégrer les éléments de théorie évolutionniste dans une approche régulationniste, afin de rendre compte du processus de formation d'un régime.

Deuxièmement, il se pose la question, chez les régulationnistes et les évolutionnistes, de l'espace dans lequel va prendre forme le changement technique. Dans les approches évolutionnistes des innovations environnementales, l'espace est celui des SSIP bordé institutionnellement par les politiques environnementales. Les approches régulationnistes englobent cette vision en considérant non pas le système sectoriel comme un espace clôturé par des institutions, mais un espace dont les frontières sont le produit des interactions des acteurs lors des activités de production de connaissances d'abord, d'activités économiques ensuite. Les causes des évolutions et transformations sont alors à trouver dans les dynamiques endogènes. Dès lors, si l'on déborde de l'espace des politiques publiques, on a pu saisir en quoi la politique environnementale d'interdiction des formaldéhydes ouvrait des opportunités pour des acteurs extérieurs à ce domaine en entraînant une recomposition du champ dans lequel s'affrontent les acteurs. Par conséquent, cela ouvre une question concernant l'analyse de l'émergence d'un espace de la bioéconomie : à partir de quelle(s) « variable(s) proxy » peut-on aborder ce problème ? Quels mondes viennent s'inviter dans ce champ ? C'est-à-dire que plutôt que de supposer *a priori* la forme de l'espace de régulation, il s'agit de comprendre comment des acteurs hétérogènes contribuent à la construction d'un champ.

Troisièmement, il semble, à la lumière de notre étude de cas, que les catégories des SSIP peuvent être réinterprétées. Concernant les bases de connaissances, il est apparu clairement qu'elles jouent un rôle fondamental à deux niveaux. D'une part, si la constitution d'une base de connaissance est le produit d'une dynamique d'exploration dans un domaine particulier, ce domaine peut être le lieu d'affrontement de plusieurs bases de connaissance (ou de leur hybridation comme l'a montré le développement de la Bakélite). D'autre part, elles constituent une forme de « stocks » de

connaissances, toujours réinterprétées et également sujettes à des rapports de force en raison des dynamiques propres à la sphère scientifique, sur laquelle les acteurs économiques peuvent essayer d'influer par l'intermédiaire de projets de recherche,<sup>60</sup> mais également dans laquelle ils peuvent puiser pour mettre en forme les réponses qui leur paraissent pertinentes aux problèmes productifs qu'ils rencontrent ou se posent.

À titre d'illustration, la base de connaissances sur les tanins est prise dans une dynamique historique de (très) longue période tout en étant travaillée actuellement par A. Pizzi, qui multiplie les projets de recherche sur le sujet. Un certain nombre d'acteurs ont donc identifié des opportunités. En effet, nous avons avancé l'idée que c'est l'espérance de rendements croissants d'adoption qui donne une raison aux acteurs pour explorer une trajectoire à partir des représentations des verrous qu'ils se font. Or les verrous n'étant pas strictement technologiques, on pourrait parler de « problèmes productifs ». C'est-à-dire que les acteurs mettent en forme une question technico-économique à laquelle ils promettent de répondre, à partir de leurs patrimoines productifs collectifs, qui guident la façon dont ils puisent dans les bases de connaissances à la fois pour mettre en forme la question et la direction dans laquelle ils espèrent trouver la réponse.

Quatrièmement, à la lumière de notre résultat sur la forme de l'espace et sa clôture, il apparaît que pour comprendre la formation d'un espace de régulation, il est nécessaire de rechercher la diversité des trajectoires technologiques qui se confrontent en son sein. Brouillat *et alii* (2013) l'exposent en vue de classer les innovations environnementales, à partir du modèle à deux trajectoires exprimé en termes évolutionnistes en innovations incrémentales et radicales. Notre premier résultat invite alors à partir de l'existence de cette diversité, non de façon normative, mais par une approche constructiviste. Celle-ci viserait à rendre compte de la variété des trajectoires, de la façon dont celles-ci sont entretenues, et de comment leurs configurations donnent une forme spécifique à l'espace dans lequel elles sont prises.

## Faits stylisés et conclusions méthodologiques

La poursuite du débat évolutionnistes/régulationnistes a porté sur les verrous technologiques, mais ce point d'entrée avait également pour but de nous permettre d'identifier une série de faits stylisés sur la question du changement technique et de l'émergence de nouvelles technologies. Méthodologiquement, nous avons pris modèle sur les travaux évolutionnistes célèbres qui mobilisent des études de cas pour dégager des faits stylisés. C'est en cela que l'outil d'identification des régimes de production de connaissances et d'activités économiques a été utile : il a permis d'identifier ce qui relevait ou non de régularités dans les dynamiques.

Le premier fait stylisé est que les acteurs cherchent à articuler des fonctionnalités chimiques et des fonctionnalités économiques dans le développement d'un nouveau produit ou d'une nouvelle technologie. Dans le processus d'exploration conduisant au développement de la Bakélite, nous avons montré que les acteurs ont essayé d'articuler les propriétés intrinsèques des réactions chimiques (la très grande réactivité des formaldéhydes) avec des *process* électrotechniques pour fournir des fonctionnalités économiques attendues. Cette même logique a été identifiée dans le projet Biofoambark quand les membres du projet essaient d'articuler bois/procédé/produit. Les jeux sur les

---

<sup>60</sup> On considère donc que les dynamiques au sein des bases de connaissances sont partiellement autonomes du système étudié.

classifications des différents types de bois pertinents pour la production reposent sur la recherche d'une contestation de la position d'acteurs bien installés sur des patrimoines anciens à partir d'espèces sélectionnés par eux (le patrimoine de Ledoga), à savoir produire des mousses à base de tanins, mais avec des essences d'arbres pouvant être rattachées aux patrimoines territoriaux d'autres acteurs européens.

Enfin, la question du coût entre en jeu, mais c'est plus en tant que cible à atteindre dans le compromis de produit lui-même en formation, pour lesquelles les propriétés déjà mises au point ou découvertes ne sont pas encore au point d'offrir un produit viable. Cela signifie donc que les stratégies de reproduction qui guident le développement de ces nouveaux produits prennent le pas sur les coûts à un instant t. Le choix peut être fait soit de poursuivre sur la levée du verrou que représente le coût par rapport à un marché donné soit de construire l'identité des produits de telle façon que cette identité « déplace » la question des coûts et la relativise dans la formation du compromis de produit.

Le deuxième fait stylisé que l'on peut identifier est que le changement est doté d'une direction. Les dynamiques sont à la fois très actuelles et très anciennes. La formation du régime des résines PF date de la fin du 19e siècle et son mode d'étude est toujours le même et les travaux les plus récents mobilisent cette façon de penser. C'est finalement ce que nous a permis la discussion de la distinction entre innovations incrémentales et radicale et l'approche historiciste mobilisée. Par conséquent, la formation des espérances des acteurs doit être replacée dans le contexte de leur formation et dans des trajectoires de longue période sans lesquelles on ne peut saisir s'il s'agit d'espérances ni comment elles sont orientées. On a par ailleurs constaté que les apprentissages sont localisés au voisinage de trajectoires technologiques existantes – voire même de plusieurs déjà existantes, pouvant conduire à les hybrider par exemple.

Le troisième fait stylisé porte sur le fait que l'espace considéré est travaillé par les acteurs dans la diversité de ses dimensions : production de politiques publiques, contestation de ces politiques, problématisation de l'espace autour de l'opportunité ou non d'interdire un produit, mise en forme de problématique de développement durable etc. Ces différentes stratégies conduisent à des formes hétérogènes d'apprentissage : sur les identités des produits, sur des programmes de recherche différents, etc. Ces divers apprentissages forment alors des espaces intermédiaires partiellement reliés à ceux qui les ont générés. Par exemple, dans le cas Biofoambark, on assiste à l'emprunt d'un discours de la bioraffinerie, associée à une problématique de remplacement des formaldéhydes. Méthodologiquement, c'est le fait que cet espace soit travaillé par les acteurs qui le rend visible. C'est-à-dire qu'à la manière dont les régulationnistes travaillent sur les crises en tant que moment où les contradictions se donnent à voir, la contestation d'un espace, d'un produit etc. donnent à voir les stratégies des acteurs et l'espace dans lequel ils agissent.



## CHAPITRE 2 – TRANSITION ET REGULATION DU CHANGEMENT : UNE ECONOMIE INDUSTRIELLE EMPIRIQUE

*« Loin d'être en face d'un univers sans pesanteur ni contraintes, où ils pourraient développer à loisir leurs stratégies, les agents sont affrontés à un espace de possibilités qui dépendent très étroitement de la position qu'ils occupent dans le champ. Une part de liberté est laissée au jeu, au sens d'art de jouer, par rapport au jeu, au sens de donne, de portefeuille d'atouts, et elle est sans doute plus grande qu'en d'autres champs du fait du degré particulièrement élevé auquel, en dehors même de la théorie économique, utilisée surtout comme instrument de légitimation, les moyens et les fins de l'action, donc les stratégies, sont portés à l'explicitation, notamment sous la forme de "théories indigènes" de l'action stratégique (...), expressément produits en vue d'assister les agents, et en particulier les dirigeants, dans leurs décisions (...) »*  
(Bourdieu, 1997, p.56)

Dans le premier chapitre, nous avons dégagé quatre idées qui vont présider à la réflexion conduite dans ce chapitre. La première idée est que pour étudier tels qu'ils sont en train de se faire les comportements réels d'acteurs, il est nécessaire de se poser la question de la constitution de l'espace dans lequel se construit cette action. Ceci nous amène à poser les grandes lignes d'une méthode mésoéconomique ; en soi les problématiques mésoéconomiques ne sont pas nouvelles (pour une recension, voir Nieddu, 1998), mais elles connaissent un renouvellement important<sup>61</sup>. La deuxième idée est qu'il est nécessaire de disposer d'un outil analytique qui ne soit pas *ex post*, mais qui prenne en compte les intentions des acteurs *au moment de leurs actions* (par exemple, suivre une stratégie de substitution ou d'amélioration incrémentale). Or, ces intentions sont structurées par des espérances technologiques, économiques ou environnementales, portant sur les promesses que les produits ou les *process* nouveaux ou anciens proposent. Pour l'essentiel, cette économie des

---

<sup>61</sup> Dans leurs recensions récentes, Grouiez *et alii* (2016), Lamarche *et alii* (2016, à paraître) notent que cet intérêt est partagé par diverses communautés de chercheurs (Zezza et Llambi, 2002, Dopfer *et alii*, 2004, Elsner *et alii*, 2015), notamment parce que dans les processus d'ajustement structurel, les institutions internationales ont découvert que leurs systèmes d'incitations, qu'elles soient macro ou micro, dysfonctionnaient. Mais ils rappellent que dès les années 1970, des auteurs tels que L. Gillard (1975) et A. Barrère (1978) soulignent la nécessité de construire conceptuellement une analyse méso à partir des propositions suivantes : Il ne s'agit pas de « s'intercaler plus ou moins bien entre la micro et la macro-analyse » ni de réaliser un simple découpage en sous-ensembles intermédiaires. Il s'agit plutôt de les traiter en tant qu'entités analytiques propres ; la mésoanalyse a pour objet l'étude d'espaces économiques complexes au sein desquels se nouent des dynamiques spécifiques. Ils rappellent aussi que Simon (1991) dessine des espaces de confrontation de stratégies d'acteurs dont la configuration est contingente à l'histoire du système, et des espaces de construction de croyances partagées dans des objectifs, des technologies et des compétences spécifiques visant à réduire le niveau d'incertitude ; et que les néo-institutionnalistes, à la suite de North ou Williamson dessinent des sous-systèmes dotés d'arrangements institutionnels spécifiques (les méso-institutions de Ménard [2014]).

promesses (et des déceptions) reste de notre point de vue à faire<sup>62</sup>. La troisième idée est que se forment par différenciation des champs spécifiques (qui sont des champs orientés sur un problème social ou économique spécifique) dans lesquels se manifeste l'action d'acteurs hétérogènes<sup>63</sup>. Ces champs laissent place à l'exploration d'une pluralité de compromis de produits et à leur confrontation, mais tous les acteurs n'explorent pas tous les compromis. Au contraire, ils partent de leurs patrimoines existants, qu'il s'agit de projeter dans le futur en les transformant éventuellement – et ceux-ci ne sont pas exclusivement des patrimoines privés. La quatrième idée est que les champs sont multiples, avec des emboîtements (les tanins dans les principes de la chimie du végétal, par exemple), mais aussi des intersections (le champ du conflit sur les formaldéhydes et celui de la chimie verte) qu'il est nécessaire d'étudier.

Ce chapitre se concentre essentiellement sur une recension ordonnée de la littérature, orientée par le cas qui nous occupe. Il vise à fonder les raisons pour lesquelles à partir de l'étude de cas exploratoire, nous allons travailler deux niveaux distincts dans les chapitres 3 et 4 : celui de la formation d'un champ de la bioéconomie dédié à l'usage des ressources renouvelables (qui vient aujourd'hui transcender et englober d'autres champs tels que celui de la chimie verte ou doublement verte ou celui des biotechnologies) dans le chapitre 3, et celui des espaces d'espérances technologiques engendrés par trois produits intermédiaires emblématiques de la transition vers l'usage des ressources renouvelables dans le chapitre 4 que l'on considérera comme des sous-champs de la bioéconomie à intersections multiples.

L'objectif du chapitre est alors de constituer le corpus de « concepts intermédiaires » permettant d'appréhender la régulation du changement dans des espaces mésoéconomiques, qui nous permettront de travailler dans les deux chapitres ultérieurs. Usuellement, ces recensions de littérature se font en séparant les courants de pensée. Néanmoins, fidèle à notre méthode intégrative de différentes approches évolutionnistes et régulationnistes dans une réflexion sur la régulation du changement, nous avons préféré ne pas les séparer et les discuter conjointement, pour leurs apports ou limites, dans les deux sections qui constituent ce chapitre.

Nous partons dans la première section de la question des « niveaux » de régulation (et de leurs articulations). Ce terme de « niveau », usuellement utilisé par tous les économistes dans des séquences [micro-méso-macro] pose problème au sens où il s'agit plutôt de trois dispositifs analytiques ayant chacun leur cohérence interne. Certains auteurs font de la microéconomie de

---

<sup>62</sup> Il est alors nécessaire de prêter attention au rôle, dans les dynamiques économiques de ces fictions, que sont les « visions du futur » portées par des acteurs pour structurer des pragmatiques d'action dans des mondes incertains. Ceci constitue aujourd'hui un front de recherche qui n'est pas réservé à notre objet ; par exemple l'introduction du dernier grand colloque de la Régulation a été introduit par deux conférenciers traitant de ce thème, Beckert et Boyer [pour des publications déjà faites voir Beckert, 2013 ; Nieddu et Vivien, 2015]

<sup>63</sup> La question de l'unité d'un champ ne sera pas traitée ici, car elle est analytiquement complexe, et fondamentalement, comme le montre de Bandt (1989) à propos des sous-systèmes industriels pertinents pour l'analyse. Elle est pour le chercheur à la fois une hypothèse abductive de départ et un des résultats de l'analyse. Elle dépend étroitement de la configuration nouée par les stratégies des acteurs. Par exemple l'agriculture peut être réduite par les acteurs de l'agriculture intensive au seul espace des agriculteurs appliquant ses méthodes, pour devenir un champ dominé par la croissance de la production, à l'exclusion des agriculteurs considérés comme non efficaces ; mais les frontières du champ peuvent se modifier à mesure que la question du « *problem solving* » et des artefacts utilisés pour le résoudre changent.

systèmes globaux, d'autres de la macroéconomie (l'étude des liens entre grands agrégats). La mésoéconomie vise si l'on suit les auteurs évolutionnistes (Dorpfel ou Elsner par exemple) à étudier la façon dont se constituent des groupes de taille limitée (un « *maximum relevant group* » dit Elsner, 2010, p.449) comme condition du déploiement de la coopération économique. Pour les régulationnistes (Grouiez *et alii*, 2016 ; Lamarche *et alii*, 2016), elle vise à étudier dans les sociétés contemporaines les formes de différenciation de l'espace global en espaces rendant les tensions dans l'accumulation soutenables (des espaces nationaux dans lesquels se sont construits des capitalismes par unification/protection de marchés nationaux, des secteurs aux institutions différentes pour accompagner le changement, etc.). La coopération n'est donc qu'une des formes pour rendre ces tensions acceptables se combinant avec d'autres formes, concurrence et domination institutionnalisée, coopération, etc<sup>64</sup>.

Nous allons par conséquent dans cette section visiter d'abord des approches régulationnistes qui se sont intéressées à la constitution d'espaces mésoéconomiques spécifiques, pour en dégager les concepts intermédiaires retenus par leurs auteurs. Nous avons d'abord accordé dans la première sous-section une place particulière aux auteurs ayant travaillé dans le groupe Régulation sectorielle et territoriale (RST) depuis la fin des années 1990 (*cf.* pour une publication de synthèse, Laurent et du Tertre *dir.*, 2008), dont un des résultats a été de construire une approche mésoéconomique régulationniste. Nous mobiliserons ensuite deux approches, l'une évolutionniste et l'autre régulationniste : (1) celle du Sustainable Transition Management Network (STRN ; pour une présentation de ce courant : *cf.* Nieddu, 2013 et Nieddu *et alii* 2014), afin de montrer comment il appréhende la question de la régulation du changement dans un schéma introduisant un niveau mésoéconomique (celui des régimes sociotechniques) et comment il est discuté par les auteurs du RST sous cet angle de la régulation du changement ; (2) celle de Jullien & Smith qui propose une construction sur la façon dont les acteurs problématisent la constitution en industries de domaines d'activités. La relecture de Jullien et Smith permet d'aboutir à la notion d'identité de l'industrie.

La deuxième sous-section est consacrée à une présentation de l'approche patrimoniale régulationniste des chercheurs rémois en Economie Industrielle (Nieddu *et alii*, 2007, 2010, 2012, 2014a et b ; Gallois, 2012 ; Béfort, 2013, 2016). De cette sous-section, on dégagera des résultats intégrant les différentes approches dans trois dimensions analytiques : la formation de systèmes complexes et hétérogènes de ressources mises en œuvre en commun par des acteurs spécifiques, la dimension synchronique de l'unité de ces systèmes, et la dimension diachronique du changement. On obtient alors un premier appareillage destiné à penser la régulation du changement, avec la constitution d'espaces spécifiques, des trajectoires de transformation de régimes sociotechniques, qui englobent la transformation d'identités d'industries et de produits au nom de visions du futur, ainsi qu'une « proposition analytique patrimoniale » qui se décline selon deux points de vue : les patrimoines sont ce qui dote les acteurs d'identités et ce qu'ils cherchent à préserver en les projetant dans le futur.

---

<sup>64</sup> Le méso n'est donc pas en soi un niveau, même si pour des raisons de commodités de langage, on est amené à parler ainsi ; mais c'est précisément pour décrire des boucles de rétroaction entre des espaces différents. Par exemple dans la thèse de M. Fruleux (2015) il est montré que c'est l'action conduite dans l'espace des agro-industries brésiliennes tournées vers l'international, qu'il faut chercher l'explication d'un résultat qui se lit dans une analyse macroéconomique comme une « croissance relativement désindustrialisante » pour reprendre l'expression de Salama.

La deuxième section vise dès lors à réaménager un certain nombre de concepts intermédiaires, pour les intégrer dans cette interrogation centrale : s'il s'agit d'étudier, non pas *ex post*, mais une bioéconomie *en train de se faire*, il importe de savoir comment les acteurs pensent l'espace dans lequel ils vont déployer leurs actions collectives et quelles visions du futur s'affrontent. Il s'agit donc d'opérationnaliser des concepts intermédiaires par ailleurs relativement bien connus, pour qu'ils soient orientés vers cette question. La section se divisera donc en deux parties. La première vise à dynamiser les concepts de dispositifs institutionnels et de régimes – pour en faire des constructions d'acteurs, qui rétroagissent sur eux. La deuxième partie s'empare de la représentation commune qu'ont les acteurs des notions de base en économie telles que celles de filières, chaînes de valeur et modèles d'affaires. La question de la régulation du changement réside alors dans : (1) la façon dont les acteurs inscrivent les filières dans des espaces économiques (au sens de champs de confrontation sur des questions orientées par un problème) ; (2) comment ils pensent l'unité de ces filières. C'est-à-dire comment ils problématisent la « verticalité » de la filière pour qu'elle soit cohérente en termes de coordination, comment ils jouent de sa modularité pour la décomposer en chaînes de valeur pour définir leurs espaces d'action, comment ils pensent leur *business model* propre dans cette décomposition – notamment, comme on le montrera, s'affrontent différents régimes de production de connaissances et d'activités économiques, comment des formes peuvent être amenées à se situer dans différents mondes de production, par le jeu d'un portefeuille d'options<sup>65</sup> ; comment ils proposent des fonctionnalités aux autres acteurs, lesquelles sont des promesses technico-économiques ou sociales, qui doivent être légitimées socialement – c'est le rôle des constructions institutionnalisées des visions du futur – et rendues crédibles économiquement.

Il s'agit de rendre compte d'une complexité d'articulations, à laquelle est confronté l'ensemble des auteurs cherchant à travailler des dynamiques de transition comme l'illustre le schéma ci-dessous à propos du véhicule à hydrogène, repris de Dijk *et alii* (2016).

---

<sup>65</sup> C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de penser au niveau de la firme dans son unité, mais ne pas oublier que les trajectoires technologiques et économiques concurrentes peuvent traverser les firmes. La diversité technologique est donc à la fois entre espaces méso (les secteurs de Malerba dans sa représentation des Systèmes Sectoriels d'Innovation et de Production ou celles des systèmes nationaux d'innovation d'Amable *et alii* ou d'autres), intraespace mésoéconomique, et intrafirme. Cette remarque nous est inspirée par les constats faits dans l'ANR à laquelle nous avons participé à partir de notre entrée en thèse : les firmes telles que Tarkett disposent de *business units* aux patrimoines de bases de connaissance différentes (PVC et chimie traditionnelle d'un côté et linoléum issu de la chimie du végétal du début XXe de l'autre). Autre exemple, une firme historique de la chimie comme Dupont, qui développe un certain nombre de produits intermédiaires biosourcés à côté de ses produits traditionnels, va racheter une firme australienne, Plantic, pour acquérir des savoir-faire dans un des patrimoines que l'ANR a identifié, celui de la voie réalisant directement des matériaux à partir des grands composants de la plante sans passer par la « chimie des petites molécules » de l'entreprise.

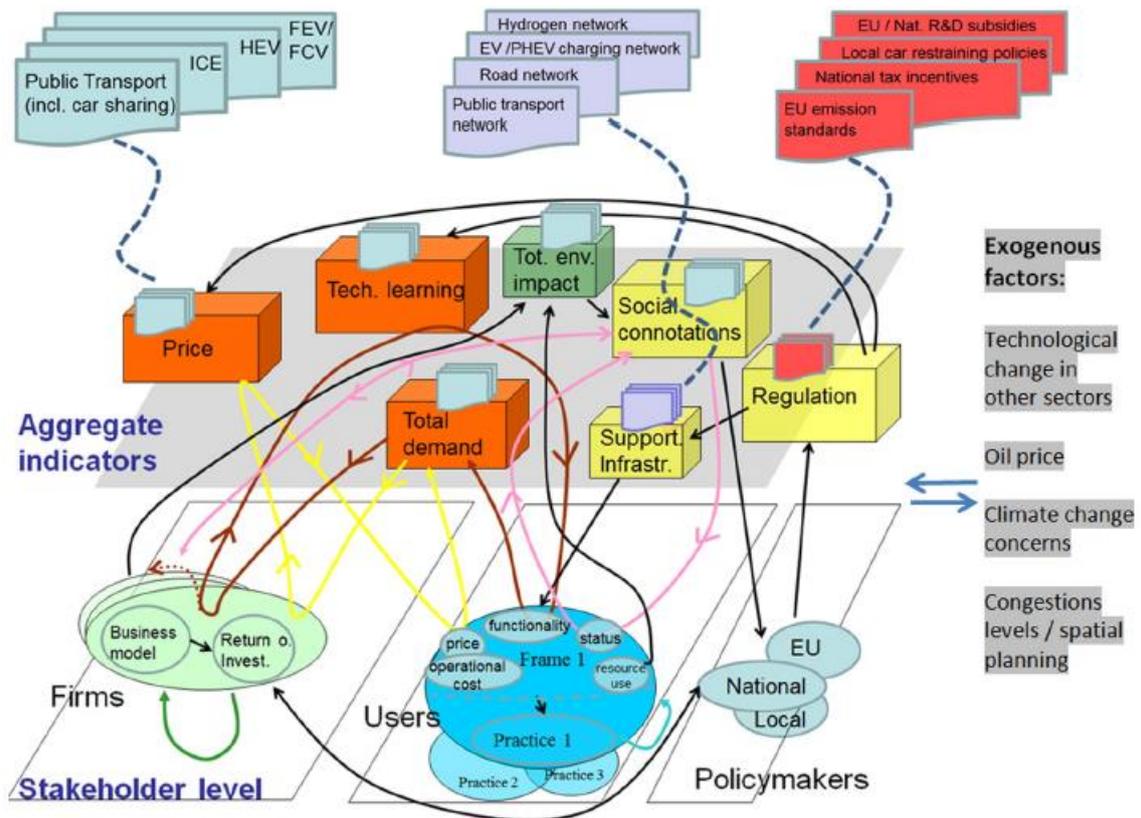


Figure 23 : une illustration de la complexité des articulations (d'après Dijk et alii, 2016, p. 84)

## 1. Espaces mésoéconomiques et patrimoines productifs collectifs

D'un certain point de vue, l'intérêt pour les approches mésoéconomiques a suivi les mêmes cycles d'espérances et de désappointement que les molécules que nous étudions. À partir des difficultés internes des grandes approches macroéconomiques (notamment la question du *no-bridge*) et des besoins d'outils analytiques accompagnant les politiques publiques, s'était développée en France, en particulier une réflexion sur la construction du niveau méso qui aboutit avec De Bandt (1989) à la formalisation d'une démarche d'analyse de ce qu'il appelle le « sous-système pertinent pour l'analyse ». Les approches dites MIT (microéconomie industrielle théorique) comme celles de Tirole (Arena, 1999) ont très largement éclipsé ces approches. Néanmoins, comme on l'a indiqué dans la note 1, les politiques publiques fondées sur le couple incitations-opportunités du MIT rencontrent un ensemble de problèmes notamment quant aux effets de la modélisation MIT mise en œuvre dans la transition des pays de l'Est ou des politiques sud-américaines (Zezza et Lambi, 2002). On redécouvre alors que les politiques publiques ne peuvent ignorer les configurations concrètes dans lesquelles elles s'inscrivent<sup>66</sup>.

Les auteurs que nous allons mobiliser dans cette section sont tous des auteurs qui ont partie liée à cette question de politiques publiques fondées sur une description réaliste d'espaces socio-économiques dans leur complexité, que ce soit dans l'analyse de secteurs, à partir d'une approche régulationniste venant contester des politiques libérales<sup>67</sup>, ou des approches du STRN qui inspirent la méthode du gouvernement hollandais et celle de la commission européenne en matière de construction des visions du futur pour les plateformes technologiques européennes. Les chercheurs, par leurs élaborations participent ainsi des systèmes étudiés. Nous allons donc traiter dans une première sous-section de la façon dont les approches régulationnistes (1.1.1) et évolutionnistes (1.1.1) construisent la problématisation d'espaces en mutation. Puis nous présenterons dans une deuxième sous-section l'approche de Jullien et Smith qui analysent la problématisation par les acteurs d'un type d'ensemble mésoéconomique. Nous terminerons par l'approche en termes de patrimoines productifs collectifs menée par l'équipe rémoise.

---

<sup>66</sup> C'est le point que soulèvent Oltra et Saint-Jean, 2009 que nous avons évoqué dans le chapitre précédent à propos des politiques technologiques

<sup>67</sup> On peut en citer un avatar contemporain qui est la suppression des quotas laitiers au niveau européen, domaine particulièrement travaillé par l'approche régulationniste patrimoniale (Barthelemy et Nieddu, 2003, Barthelemy et Vivien 2007, Dervillé 2012). Le pronostic de ceux-ci de la crise laitière de 2015-2016 comme effet de la déréglementation s'est malheureusement vérifié au point qu'ils sont rappelés par le ministère pour étudier les solutions à l'incendie (cf. le rapport de Trouvé *et alii* au ministère de l'Agriculture en 2016).

## 1.1. Espaces de régulation et régulation multiniveaux

Les approches régulationnistes en termes d'espaces spécifiques dotés d'une régulation partiellement autonome se sont souvent construites contre des explications trop globalisantes, alors que les approches STRN visent à construire un mouvement global de mutation multiniveaux.

### 1.1.1. Des espaces de régulation en partie autonomes de la régulation globale

Même si l'approche régulationniste a d'abord eu une histoire ancrée dans la macroéconomie, elle a, comme d'autres courants de pensée, exploré la représentation de la réalité à partir d'entrées microéconomiques par les compromis de gouvernement d'entreprise de Boyer et Freyssenet (2005) ou la firme comme entité de Biondi *et alii* (2007), et mésoéconomiques (*cf.* les travaux du groupe RST, Laurent *et alii*, 2008 ou encore Lung, 2008). On présente généralement la théorie de la régulation comme une théorie macroéconomique en raison des débats de la première génération de travaux régulationnistes qui ont travaillé sur le fordisme (Boyer et Saillard, 2002). Cependant, les travaux ouverts par Bartoli et Boulet (1989) jusqu'aux travaux plus récents sur la transition écologique ou la chimie doublement verte ou sur les modèles productifs partagent le point commun de s'intéresser avant tout à la forme de l'espace étudié.

### 1.1.2. La montée des investigations sectorielles

La direction prise dans les recherches sur la diversité sectorielle provenait du refus d'une application du concept de « fordisme » de façon mécanique à l'ensemble des secteurs : « *jusqu'à une date récente, les applications quelque peu mécanistes du concept de fordisme – lui-même résultat et non pas point de départ des recherches – semblent l'avoir emporté sur une mise en œuvre fructueuse des notions et méthodes de la régulation.* » (Boyer, 1990, p. 40). C'est en ces termes que Boyer commente les travaux de Bartoli et Boulet, en pointant le fait que « *le mode de développement exerce des contraintes originales, d'où une spécificité des formes sectorielles de régulation* » (*Ibid.*, p. 49). Boyer (1990) décrit le travail de Bartoli et Boulet (1990) comme une application de la méthode régulationniste plus conséquente que celles qui souhaitaient fournir une explication monocausale dérivée du fordisme des dynamiques sectorielles : « *En fait, l'approche régulationniste privilégie une analyse de la genèse de ce produit si particulier qu'est le vin... tout au moins pour la société et l'économie française. Dès lors, le secteur ne se définit pas seulement par le type de valeur d'usage et la technique utilisée, mais fondamentalement à partir de la structuration des intérêts économiques, des lieux de la représentation professionnelle, des procédures de coordination régissant les diverses stratégies des unités productives.* » (Boyer, 1990, *op. cit.*, p. 52). Le secteur devient donc un espace économique de régulation à part entière qui est le résultat de stratégies d'acteurs. Ainsi, la méthode régulationniste vise à identifier ces espaces de régulation, à partir des produits par exemple<sup>68</sup> et les rapports de force qui participent à structurer ces espaces (Benko et Lipietz, 2002).

---

<sup>68</sup> Nous revenons plus loin sur la question du rapport firmes/produits (section 2).

### 1.1.2.1. Vers une problématisation des espaces mésoéconomiques

L'intérêt de la thèse de Bartoli et Boulet est qu'ils montraient que le secteur vitivinicole ne pouvait être considéré comme un espace homogène, mais dual (un espace des vins ordinaires dédié à la consommation de masse de couches populaires urbanisées par les grandes mutations du 20<sup>e</sup> siècle, répondant à la norme fordiste de consommation de produits standard à des coûts réels décroissants et un espace de vins qui se construit à partir de signaux de qualité institutionnalisés issus d'une longue tradition historique). La progression globale des revenus monétaires des Trente Glorieuses offrait, de fait, la possibilité de deux formes d'articulation différente aux dynamiques macroéconomiques, et la crise des vins ordinaires, un des témoins de la crise de la norme de consommation fordiste.

Ce résultat conduisait à être attentif aux formes variables de structuration d'espaces sectoriels ou territoriaux, dans des études menées à partir des spécificités du procès de travail – le BTP ou la chimie (du Tertre, 1989), de l'identité des produits (Allaire, 1998), de ressources partagées structurant des marchés (pour une recension, voir Dervillé, 2012), ou des régimes de concurrence. T. Lamarche réalise un travail du même type, à partir de la façon dont la montée en puissance d'une économie de la connaissance vient affecter et transformer deux espaces, le secteur des télécoms et les systèmes éducatifs (Lamarche, 2000, 2008 a et b).

Dans cette perspective, Allaire (2002) signale que ce qui organise l'émergence et le maintien dans le temps d'un espace régulé sont des dispositifs institutionnels hybrides situés entre public et privé. Le cas qu'il étudie est celui de l'émergence de produits différenciés par rapport aux produits agro-industriels. Pour rendre compte de cette différenciation, parallèlement à l'économie de la qualité, l'auteur introduit la notion « d'espace de régulation » : « *Un espace de régulation est défini par deux dimensions : une structure productive (un système d'échanges ou transactions) et un ordre institutionnel (règles). (...) En pratique, l'étude des espaces de régulation a recouvert celles des "secteurs" et des "territoires" et de leur "gouvernance". Ces espaces sont "stratégiques", c'est-à-dire ce sont des espaces d'accumulation et de compromis. Ceci implique une idée de récursivité (une certaine stabilité des règles) et en même temps un jeu d'acteurs (sur ces règles).* » (Allaire, 2002, p. 165-166).

Nieddu (1998, 2001) contribue à affiner la problématisation de l'émergence de tels espaces, en refusant de voir l'espace de régulation comme un espace homogène, doté d'une frontière unique. Il montre l'existence de trois formes d'agriculture (pluriactive, agriculture familiale moyenne et grande agriculture). L'agriculture pluriactive va être globalement évincée dans le mouvement de modernisation agricole des années 1960, mais il est important de noter que cette éviction n'a pu se faire sur la base de mécanismes marchands, car elle était particulièrement résiliente, mais par une institutionnalisation de normes de mise sur le marché des produits et d'accès à la profession. De ce point de vue, puisque notre thèse porte essentiellement sur des changements technologiques à l'œuvre, il est faux de croire que c'est parce qu'elle ne pouvait pas s'adapter à ces changements technologiques, notamment à l'équipement en tracteur nécessitant un lourd capital fixe. L'auteur montre que dans d'autres pays, la modularité des systèmes de production a permis la mise en place de solutions d'organisation permettant au pluriactif d'accéder à ce capital, voire d'en être le fournisseur par location, ce qui lui permettait d'ajouter un nouveau service à sa panoplie ; c'est ce que les Italiens appellent le *contoterzismo*<sup>69</sup>.

---

<sup>69</sup> Une telle solution a été explorée dans certaines régions françaises, et rapportée dans les travaux de la grande

L'agriculture industrielle constitue donc un choix de l'agriculture moyenne – là où d'autres solutions auraient pu devenir hégémoniques, comme les AOC<sup>70</sup>, n'éliminant pas d'autres configurations, même si celles-ci seront qualifiées de rétrogrades et subissent un processus de délégitimation dans les années 1960, pour n'être redécouvertes que progressivement. Se structure alors un secteur agricole sur les bases institutionnelles mentionnées plus haut de fermeture sur l'agriculture dite professionnelle. Faut-il pour autant confondre le secteur et l'espace de régulation ? L'auteur montre alors qu'une des contraintes de l'agriculture moyenne et de l'explosion de ses productions réside dans l'écoulement de cette production. C'est l'agriculture qui produit la poussée de l'industrialisation des industries agroalimentaires et non l'inverse comme le défendaient certaines thèses marxistes ou technologistes de la domination du capital sur l'agriculture. L'espace de régulation n'est donc pas l'agriculture, mais l'ensemble formé par les agricultures industrialisées et les IAA. L'auteur note d'ailleurs que pour les IAA viande par exemple ; le taux de profit est nul sur longue période (1967-1987) et donc que la seule explication soutenable est que la régulation de la croissance agricole s'est faite par le développement de cette industrie, qui ne nécessitait pas pour les acteurs agricoles qu'elle dégage plus que de quoi se reproduire.

Il ne s'agit pas d'un point anecdotique pour le domaine que nous étudions, car s'observe dans celui-ci la même dynamique de mobilisation de l'agriculture industrielle, pour renouveler ses débouchés vers le non alimentaire, comme l'introduction générale l'a montré. On va retrouver cette stratégie qui n'est pas *technology-push*, mais *actor push* dans la chimie verte. Par ailleurs, cela suppose des intérêts différents selon les acteurs pour l'industrie de transformation, ce qui induit une façon de penser l'espace de régulation comme non homogène selon les acteurs, et avec des frontières multiples, définies par les longueurs des chaînes de valeur mises en œuvre.

Pour démontrer que les acteurs problématisent l'espace selon leurs contraintes propres, on remarquera que Nieddu montre que certains acteurs agricoles (pour des raisons de concurrence interne horizontale entre agriculteurs, afin de faire jouer des avantages locaux en termes de coûts de production agricole) privilégient la forme de mise sur le marché de produits bruts, en organisant au bout de la production les marchés de cadran dont le marché du porc est emblématique. Pour d'autres, c'est la constitution de bassins de production agro-industriels transformant cette matière première qui est la condition de la compétitivité, laquelle ne peut être obtenue que par des démarches collectives.

Une des difficultés de l'analyse des espaces mésoéconomiques est donc la suivante : les acteurs s'affrontent dans le même espace, mais il n'a pas la même frontière pour tous. Cet espace est donc un problème, et il doit être problématisé en permanence par les acteurs – et le chercheur, si l'on peut se permettre de l'ajouter. L'autre difficulté est de reconnaître les espaces mésoéconomiques comme des espaces non homogènes, alors que l'on cherche bien à les capter dans l'unité qu'ils forment<sup>71</sup>.

---

enquête ethnographique sur les Bretons de Plozevet au début des années 1960, et interdite institutionnellement par le contrôle de la distribution des crédits cogérés par l'État et la profession.

<sup>70</sup> Par exemple le géographe Robert Pitte rêvait pour sortir de la surproduction agricole, une France des terroirs, où chaque région aurait disposé de son avantage comparatif sur ses produits de qualité.

<sup>71</sup> En l'occurrence, Allaire (1995) et Nieddu (1998) montrent que les différentes configurations de longueur de chaînes de valeur donnent en fait lieu à une variété de configurations de compromis dominants localisés. C'est en fonction des rapports de force entre les trois agricultures qui se forment ces compromis locaux.

### 1.1.2.2. Le niveau mésoéconomique dans l'analyse de la transition : le multi-level perspective

Le courant du *Multi-Level Perspective* (MLP) propose un modèle canonique de transition articulé en trois niveaux : les niches, le *landscape* (ou paysage) et le régime sociotechnique. Ce découpage correspond au niveau micro —, macro — et mésoéconomique. Les niches sont définies comme suit : « *small networks of actors support novelties on the basis of expectations and visions. Learning processes take place on multiple dimensions (co-construction).* » (Schot et Geels, 2008, p. 546). Les niches sont décrites dans ce courant comme le lieu de l'innovation.

Le *landscape* correspond au paysage macrosocial dans lequel des grandes transformations structurelles sont à l'œuvre et à partir desquelles partent les pressions qui vont inciter les acteurs à engager une transition. Au niveau intermédiaire se forment des patchworks de régimes sociotechniques. Qu'entendent les auteurs par régimes sociotechniques ? Il faut rappeler ici que le modèle MLP vise la représentation d'un fonctionnement économique dans lequel certaines fonctions sont pris en charge par des artefacts qui posent problème d'un point de vue environnemental (la voiture, les matériaux polluants dans les habitations, la production d'énergie polluante), et dans des régimes qui sont verrouillés par l'incapacité à changer les comportements de consommation sans changer de régime technique<sup>72</sup>. Leur définition s'appuie sur une critique (virulente) des Systèmes Sectoriels d'Innovation<sup>73</sup> (SSI) développés par Malerba. Geels (2002) reproche à l'approche par les SSI de négliger le rôle des utilisateurs et donc de la demande, de ne pas s'intéresser suffisamment aux mécanismes de diffusion et d'utilisation des technologies et de négliger l'articulation entre technologies et sociétés. L'auteur inscrit cette critique dans la volonté de « *widening from sectoral systems of innovation to socio-technical systems. This means that the fulfilment of societal functions become central (e.g. transport, communication, materials supply, housing). This indicates that the focus is not just on innovations, but also on use and functionality.* » (Geels, 2004, p. 898).

Les régimes sociotechniques reposent donc sur un schéma dans lequel un artefact dominant vient prendre en charge une fonction économique ou sociale (résoudre le problème du transport par l'automobile individuelle, par exemple) dans une problématisation portée par des acteurs. Ceux-ci ont donc besoin d'un système de justification et de normes culturelles d'usage, d'institutions sectorielles dédiées, d'un ensemble d'innovations techniques qui viennent renforcer la stratégie de *problème-solving*<sup>74</sup>. Le régime sociotechnique peut donc être défini comme un espace économique socialement construit dans lequel un artefact dominant<sup>75</sup> vient apporter une solution technique à un problème –

---

<sup>72</sup> Enfin, les régimes sociotechniques sont définis comme la conjonction entre des acteurs, des institutions et des régimes de règles (ou d'institutions)<sup>72</sup> : « *ces régimes sociotechniques sont des paradigmes technico-économiques au sens de Freeman & Perez (1988) sur un domaine particulier : ils s'articulent autour d'un input dominant, de process des transformations, et d'institutions sectorielles adaptées qui déterminent les trajectoires technologiques* » (Garnier, 2012, p. 13).

<sup>73</sup> Cf. Chapitre I pour une présentation de ce cadre théorique.

<sup>74</sup> Les régimes sociotechniques du MLP ne reprennent donc pas explicitement la distinction régulationniste faite entre dispositifs institutionnels et régime économique, pour fondre ces deux aspects dans la description du régime. Néanmoins, ils insistent sur la coévolution nécessaire des institutions et des technologies dans l'ensemble des coévolutions nécessaires pour transformer un régime sociotechnique (pour une cartographie de ces coévolutions voir Geels, 2004, p. 903).

<sup>75</sup> Dans le cas qui nous occupe, l'artefact dominant est bien sûr la bioraffinerie censée assurer la substitution du fossile vers le renouvelable.

on est ici en économie de la fonctionnalité – parce que les acteurs pensent que c’est la solution fonctionnelle à un moment donné. Ils en portent donc une représentation culturelle qui a un rôle aussi fort que les institutions formelles créées pour soutenir l’existence de l’artefact.

Le modèle canonique du MLP de transition d’un régime à un autre se représente alors sous la forme de la courbe en S canonique (citée à ce jour plus de mille fois dans les publications scientifiques), avec à gauche l’ancien régime et ses composants, à droite le nouveau, et le mouvement qui permet de passer de l’un à l’autre dans une perspective néo-schumpetérienne : son moteur se trouve dans les niches technologiques, et la problématique est une problématique de sélection, à partir du mouvement d’exploration — convergence sur l’exploitation d’une technologie dominante.

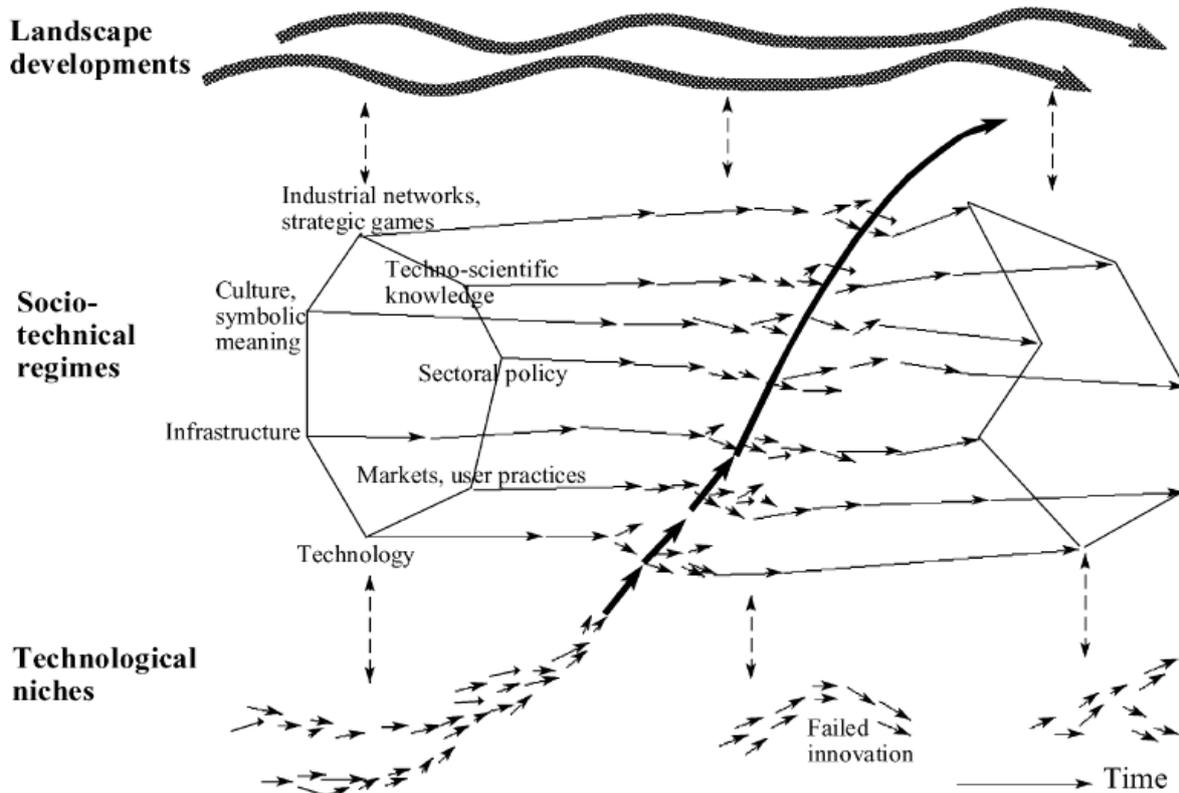


Figure 24 : Le schéma canonique du transition management

Comment peut-on faire dialoguer ici les approches régulationnistes (telles que nous les avons évoquées dans le chapitre 1 et dans la sous-section qui précède), et les approches MLP ? Les régulationnistes (Nieddu *et alii*, 2014) interrogent trois points. Le premier, dans la ligne de Schumpeter, les tenants du MLP font de l’innovation un point de départ, alors que les régulationnistes, fidèles à l’historicisme de leur méthode, se demandent d’où viennent ces innovations, quels sont les acteurs qui les portent, et pour quelles raisons stratégiques ils les portent. Le deuxième est que la courbe en S peut être lue de trois façons différentes (Nieddu, 2013) : (1) comme une dynamique schumpétérienne où l’innovateur schumpétérien (micro) vient impulser l’agglomération autour de sa *success story* (formation au niveau méso du régime adopté) produisant un cycle de croissance macro ; (2) à l’inverse comme une opération non de prospective sur le futur, mais de *backcasting* : les acteurs définissent un nouveau régime souhaitable ; par régression, ils définissent alors les verrous à lever sur la trajectoire

qui nous sépare du régime souhaité et nourrissent ainsi les niches d'innovation<sup>76</sup> ; les régulationnistes, quant à eux, toujours attentifs aux conflits et compromis hégémoniques dans les modèles de développement ne peuvent donc que noter la chose suivante : l'opération de *backasting* est trop importante pour que les acteurs – du moins ceux disposant de ressources pour agir sur elle – s'en désintéressent – (3) il vient donc une troisième représentation qui est celle d'une arène où se confrontent des acteurs hétérogènes (c'est la conception de Jorgensen, 2012).

Les régulationnistes diraient alors qu'il y a deux objections à l'approche MLP. (1) Comme montré ci-dessus, il est possible qu'une même technologie s'inscrive dans des organisations très différentes, et donc que la fonctionnalité attendue soit traitée de façons très différentes. (2) Il n'y a pas de raison particulière, *a priori* pour que le régime sociotechnique soit unifié autour d'une technologie ou plus largement d'un régime (au sens du MLP) ou d'un modèle de développement (au sens régulationniste) gagnant – raison pour laquelle on a pris le temps de détailler le récit de l'agriculture française. Cette question n'est pas anodine quand on se penche sur la question de la transition d'un régime unifié autour du « roi-pétrole » à l'usage des ressources renouvelables, dont il semble bien, sauf miracle technologique qu'elle ne puisse advenir que dans une problématique de mix énergétique (certains disent sous forme de boutade une « république » d'énergies nouvelles).

Ceci ne nous amène pas à invalider le modèle MLP, mais à en conserver les pièces maîtresses, tout en considérant son résultat principal, la courbe en S et la convergence sur une seule logique de régime, comme un résultat particulier. Nous allons néanmoins en retenir le fait que les acteurs cherchent à problématiser le changement, et dans une perspective régulationniste que ce changement est un enjeu de stratégies qu'il faut étudier dans une méthode institutionnelle historicisée. Nous en retiendrons également (ce qui fera l'objet de la fin de la deuxième section, la nécessité d'étudier les boucles entre différents niveaux (ceux de la firme, ceux des réseaux qui se forment autour d'artefacts, ceux des jeux d'alignements d'acteurs pour former des filières cohérentes, ceux de l'espace global qu'ils considèrent comme l'espace de déploiement de leurs stratégies). Mais le point important est que les acteurs prennent au sérieux l'affirmation des auteurs du MLP. Les régimes agissent comme des éléments de sélection : « *drawing upon evolutionary theory, a key feature of socio-technical regimes is the way they function as selection environments for the creation and retention of innovative variants.* » (Smith et Raven, 2012, p. 1026). Il y a donc un enjeu en termes de compétitivité (au sens profond du terme, de capacité à se reproduire dans un contexte donné) à ce que ce soient les innovations que portent les acteurs qui soient sélectionnées par le régime qui leur convient. L'objet de l'étude des mutations de régimes socio-économiques devient donc celui d'analyser un espace méso constitué par des acteurs sur des problèmes de transition comme « un lieu où il est possible d'identifier des voies alternatives, et une variété de futurs possibles » (Grouiez *et alii*, 2015, p.19).

---

<sup>76</sup> C'est de fait de cette façon que le modèle connaît son succès comme outil de politiques d'innovation au niveau de l'Europe. Comme ce n'est pas un modèle de planification, il rassure par son côté entrepreneurial, mais agit bien comme pilote cognitif des actions publiques et privées.

### 1.1.2.3. La constitution d'un espace comme lieu de problématisation : l'exemple de la problématisation de l'industrie

Notre intérêt pour le travail de Jullien et Smith (2008a et b, 2012, 2015) tient au fait qu'il cherche à articuler une préoccupation d'analyse des représentations du futur des acteurs avec de celle de leur travail de problématisation de leur activité économique à différentes échelles.

Jullien s'inspire ici des travaux de Commons. Ainsi, c'est le lien au futur et la projection dans celui-ci que retient Jullien : « *pour cerner ces transactions, il convient de saisir leur lien à la futurité. Définie comme "représentation de l'état futur de la société" cette notion exprime l'idée que c'est sur la base d'une projection du fruit des négociations présentes dans l'avenir que les transactions se nouent.* » (Jullien, 2011, p. 82). De ce point de vue, les acteurs se projettent dans le futur au moment où ils nouent ces « transactions ». Il retient également l'héritage de l'économie conventionnaliste pour deux raisons. D'une part, ce courant vise à rendre compte de la « *diversité des modes de coordination et de la pluralité de leurs formes d'articulation* » (Jullien, 2011, p. 108) et, d'autre part, est attentif aux « *les critères à l'aune desquels les productions et/ou les produits sont jugés efficaces ou non ou préférables ou non* » (*Ibid.*, p.108). La coordination se réalise autour d'objets et de représentations dont la construction et l'évaluation de la performance font partie de la construction de l'identité de l'objet.

Jullien (2011 b) fixe comme objet à une économie industrielle hétérodoxe de « *saisir comment, en dynamique, la vie et la contribution des industries se voient redéfinies au gré de mécanismes et de jeux économiques et sociaux, qui lient entre eux les acteurs d'une industrie d'une part et qui les lient aux autres industries et aux autres composantes des sociétés d'autre part* » (Jullien, 2011 b, p. 169). Cette problématique générale se décline en deux questions : « *comment naît une industrie et se perpétue-t-elle comme cette industrie ? Comment une industrie cesse-t-elle de pouvoir vivre comme cette industrie-là et conduit les acteurs qui la peuplent à s'inventer de nouvelles "identités productives" ?* » (Jullien, 2011 b, p. 170). La question de l'évolution des industries est donc abordée sous l'angle de l'identité et forme le triptyque suivant :

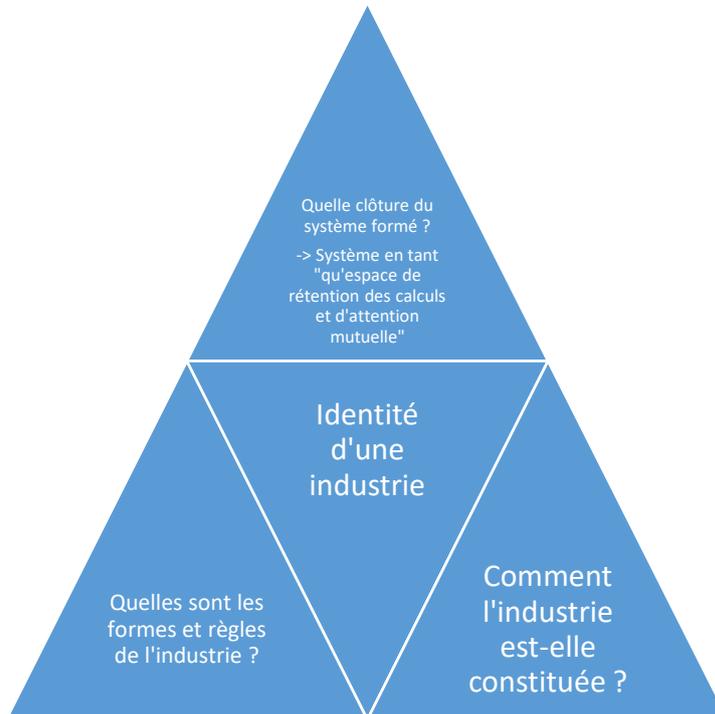


Figure 25 : La définition de l'identité d'une industrie (d'après Jullien, 2011)

Ce triptyque, formé par trois questions, permet de caractériser non seulement l'industrie en tant qu'espace semi-autonome (quelle est la clôture du système ?), mais également son fonctionnement (quelles sont les règles de l'industrie ? comment est-elle constituée ? c'est-à-dire, qu'elle est sa diversité interne ?). Ces auteurs construisent alors deux éléments analytiques. Le premier élément analytique est la proposition d'analyser l'ordre institutionnel stabilisant une industrie comme le jeu de composition de rapports institués comme représenté dans le schéma ci-dessous.

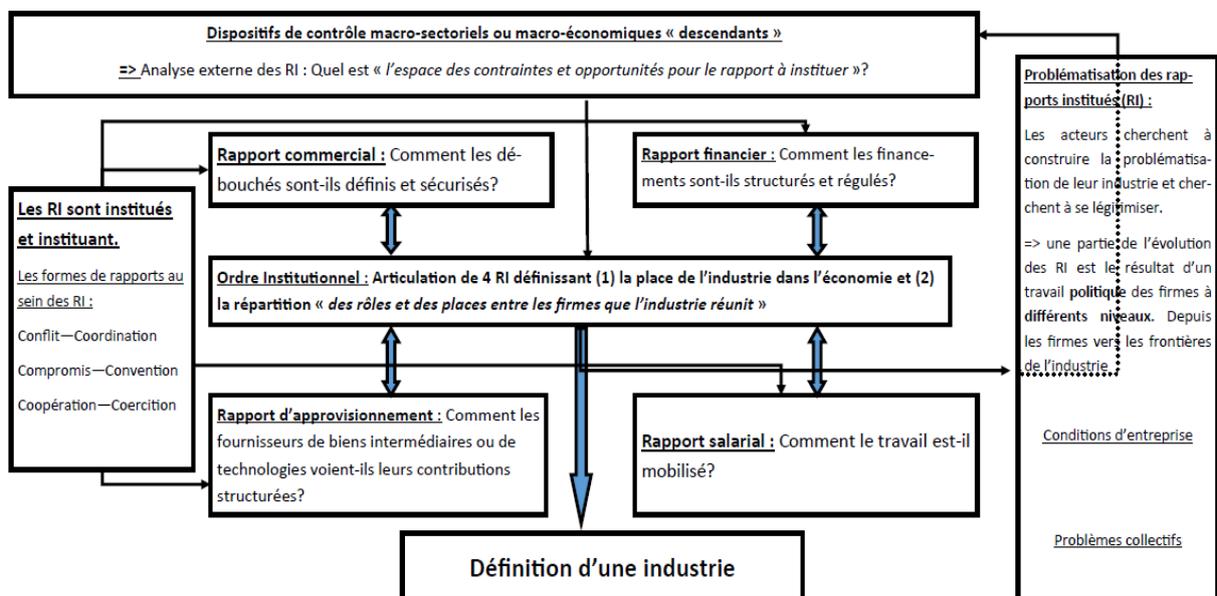


Figure 26 : Les rapports institués qui fondent une industrie tels que nous les avons reconstitués à partir de (Jullien et Jullien & Smith, var. ref.)

Dans le schéma ci-dessus, les différents rapports institués font écho à des problématiques que nous avons observées sur la bioéconomie : les acteurs rencontrent effectivement des problèmes pour redéfinir la façon dont dans une chimie fondée sur le renouvelable, la régularité des approvisionnements en provenance de l'agriculture pourra être assurée alors que les productions agricoles sont variables en fonction du climat est sujettes à une concurrence entre l'alimentation, un bien premier et le non alimentaire ; ils ont également un problème pour redéfinir les débouchés, car les produits nouveaux biobasés poussés par l'agro-industrie et la chimie du végétal doivent trouver des clients les acceptant, et des modalités de financement des nouveaux outils industriels<sup>77</sup>. L'articulation des rapports commerciaux, d'approvisionnement, financiers et salariaux vise à permettre de caractériser la forme d'une industrie dans un premier temps, puis de décrire, par l'institutionnalisation/désinstitutionnalisation de ces rapports l'évolution des industries.

Le deuxième élément analytique tient dans le concept de problématisation de l'industrie. Pour Jullien et Smith les acteurs doivent pouvoir décrire l'identité de leur industrie pour agir, notamment pour décider du type de produits à réaliser. Pour ce faire, ils prennent l'exemple de l'automobile, une industrie contestée fortement pour des raisons environnementales : « Pour fournir une illustration, un groupe comme Volkswagen, dominant en Europe, acteur majeur au Brésil et en Chine, commercialement et technologiquement, en vendant des véhicules chers d'en améliorer significativement les performances environnementales, sera assez logiquement un chef de file pour le premier camp. »<sup>78</sup>.

Ce qui nous intéresse ici est que la problématisation n'est pas la même pour tous les acteurs : « Renault-Nissan, puissante alliance placée toutefois en position de "challenger" sur la plupart des marchés et des technologies "classiques", a tendance à promouvoir l'électrique et, à travers un programme comme celui de la Logan, une approche des émergents beaucoup plus décalée par rapport à ce qui y est fait et proposé comme produits pour s'y développer. Pour défendre ces options et obtenir qu'elles soient soutenues politiquement et in fine imposées aux autres, les managers, pour convaincre, en interne d'abord et en externe ensuite, vont les problématiser et les politiser comme incontournables et liées intrinsèquement l'une à l'autre. Ainsi, il ressortira du raisonnement qu'ils proposeront que ne pas être proactif signifierait courir le risque de voir lesdites options portées par d'autres qui progressivement prendraient la place des constructeurs. » (Jullien et Smith, 2012, p. 112).

On peut voir ainsi que les dynamiques technologiques sont le fruit de la mobilisation d'acteurs, et que ceux-ci absorbent bien les pressions venant du *landscape* de façon différenciée : « les dirigeants de Renault reprennent ainsi volontiers des scénarios assez alarmistes sur le réchauffement climatique et la contribution de l'automobile au phénomène. En soulignant que l'option "malthusienne" (Pélata, 2010) qui consisterait à limiter l'automobilisation des émergents est impraticable et que, le sachant, ils engagent eux-mêmes – pour des raisons géopolitiques plus qu'écologiques – de lourds programmes de

---

<sup>77</sup> En revanche, on peut être étonné par la faible place donnée dans le schéma au rapport à la création de technologies, sauf à accepter qu'il est entièrement contenu dans le rapport d'approvisionnement – réponse orale faite par Jullien dans un de nos échanges. Il nous semble difficile de définir l'identité d'une industrie sans se référer aux bases de connaissances qui la constituent, et aux innovations qu'elle porte. C'est de notre point de vue la principale faiblesse du schéma analytique de Jullien et Smith.

<sup>78</sup> <sup>78</sup> Les auteurs se réfèrent ici à deux trajectoires en automobile ; celle des acteurs dominant l'ordre consiste à penser que « l'automobile restera l'automobile » et que l'on peut absorber progressivement les évolutions nécessaires par une démarche d'innovation incrémentale – qu'on peut présenter comme radicale si l'on se réfère aux innovations de rupture sur les catalyseurs qui ont permis la mise au point du pot catalytique, solution emblématique du *end of pipe* en automobile. On sait ce qu'il en est depuis le scandale Volkswagen.

développement de véhicules électriques, ils déploient un travail politique multi-scalaire par lequel ils s'allient à certains écologistes, aux producteurs d'électricité et aux promoteurs des énergies douces et exigent que soient révisés les RI [les rapports institués ; NdA] commerciaux et d'approvisionnement. Sur le plan commercial, ils engagent les pouvoirs publics à soutenir, par des subventions à l'acquisition de véhicules propres et des taxations des véhicules polluants, la mutation du marché. Ils insistent sur la nécessité que soient prises en charge collectivement les infrastructures à mettre en place pour rendre la diffusion massive du véhicule électrique possible en arguant que les bénéfices sont collectifs. Au niveau du rapport d'approvisionnement, se joue donc la question technologique » (Jullien et Smith, *op. cit.*, p. 112).

## 1.2. Vers une économie industrielle régulationniste patrimoniale

La sous-section précédente avait pour but d'explorer la littérature régulationniste portant sur l'analyse mésoéconomique, mais également de bâtir un cadre analytique pour l'analyse de l'émergence d'un espace qualifié de « mésoéconomique ». On vient de voir que cet espace est multiscalaire de différentes façons. Notamment, les firmes ont besoin de s'emparer d'un niveau de structuration supérieur à la firme : elles ont intérêt à agir sur la régulation du changement pour assurer leur reproduction. C'est donc à partir de la dialectique reproduction/production de nouveauté que l'on arrive à la question de l'identité dans l'espace étudié, et des acteurs qui peuplent cet espace, et à la nécessité d'aborder la question patrimoniale au sens de ce qui permet cette reproduction dans le changement<sup>79</sup>.

### 1.2.1. Des objets patrimoniaux aux relations aux relations entre acteurs

La modernité nous avait écartés de l'idée de patrimoine (et pour les chercheurs de l'intérêt d'y travailler), car il s'agissait d'un paradigme dans lequel le progrès rendait obsolète un certain nombre d'objets et de *process* de productions, où il n'y avait pas lieu de les conserver (la table en formica venant remplacer la vieille table de chêne de nos grands-pères). Le progrès scientifique et technique agissait dans la modernité en invalidant des patrimoines.

Le terme patrimoine présente en français une ambivalence : il désigne à la fois la propriété individuelle – dans la fiction du droit civil napoléonienne, tout individu est doté d'un patrimoine pour exister, même vide –, et des objets, héritage du passé, que la tradition a voulu écarter des relations marchandes car faisant partie du bien commun. C'est cette dualité qui est féconde en économie industrielle, si l'on accepte les développements précédents de Jullien et Smith d'un travail des firmes se situant à deux niveaux, le leur et celui de l'organisation collective de l'industrie dont ils peuvent bénéficier en retour. En effet, les patrimoines peuvent être définis comme « *ensemble, attaché à un titulaire (individu ou groupe) et exprimant des composants de sa spécificité [donc de son identité, NdA], ensemble historiquement institué d'avoirs, construits et non construits, transmis par le passé, avoirs qui peuvent être des actifs matériels, des actifs immatériels ou des institutions* » (Barrère, 2007, p. 19).

Les patrimoines productifs collectifs sont donc « *des ressources qui 1) sont recherchées pour leur valeur collective, 2) doivent être partagées pour exister, 3) être considérés en tant que patrimoines*

---

<sup>79</sup> Nous n'en développerons pas tous les éléments ici, mais le lecteur peut se reporter à Barrère *et alii* (2005) ou aux numéros spéciaux de **GEOGRAPHIE, ÉCONOMIE, SOCIÉTÉ** (2004, vol. 6 n° 3) et **ÉCONOMIE APPLIQUÉE** (2007/3, et 2014/4).

pour justifier l'effort de les préserver, dans les phases d'incertitude sur leur capacité à produire des objets nouveaux à des conditions de marché acceptables » (Nieddu et alii, 2010, p. 62). Ceci nous permet de comprendre comment les niches d'innovation du courant MLP sont préservées durant les périodes d'exploration pour leur valeur patrimoniale.

Ces patrimoines sont donc portés par des communautés et permettent à ces communautés de se projeter dans le futur dans une dynamique de reproduction par la production de nouveauté : « les patrimoines productifs sont d'abord des ressources immatérielles permettant des apprentissages entre utilisateurs et producteurs (Foray, 1994), et des outils cognitifs partagés (Zaclad, 2007), des dispositifs de reconnaissance et qualification de ressources libres (telles que des connaissances scientifiques), comme des actifs à part entière du secteur (Billaudot, 2002). Il s'agit au plan matériel de dispositifs « localisés » qui permettent aux acteurs scientifiques et aux acteurs économiques de se rencontrer (...). Il s'agit ensuite d'institutions dédiées (Barrère, 2007) et d'outils institutionnels de constitution en communauté (...). » (Nieddu et alii, 2010, p. 62).

### 1.2.2. Le patrimoine comme expression des identités industrielles

Salais et Storper (1993) dans un ouvrage qui a fait date pour l'économie industrielle empirique (**LES MONDES DE PRODUCTION, ENQUETE SUR L'IDENTITE ECONOMIQUE DE LA FRANCE**) pointe le fait qu'en matière de spécialisation de la production, « producteur et/ou demandeur ont imprimé une identité donnée au produit et qu'ils ont la capacité de la reconnaître. Sinon le produit se résumerait pour eux à un coût ou à un prix. » (*Ibid.*, p.12). C'est ainsi qu'est fondée l'analyse en termes de « mondes de production ». Cette analyse repose sur l'idée que les acteurs, en fonction des conventions qu'ils se sont donnés, que les produits de leur action, ne déclenchent pas les mêmes régimes de productivité, ce qui définit des modes différents<sup>80</sup>. Ce que souligne le cadre des mondes de productions est que « chaque paire de conventions d'un monde possible élabore un registre d'action qui est partagé par les producteurs et les demandeurs. À chaque registre d'action correspond un monde possible, que l'action engagée suppose. » (Salais et Storper, *op. cit.*, p.40).

On a montré précédemment que l'analyse régulationniste mésoéconomique s'intéresse à la différenciation des espaces de production et à l'intérieur de ces espaces. En ce sens est posée la question de la différenciation non des acteurs individuels, mais des communautés peuplant ces espaces<sup>81</sup>. Et, par conséquent, la régulation changement devrait porter, en économie industrielle, comme le dit Jullien (2011 b) sur l'évolution et la transformation des « identités productives ».

Ughetto (2008, p.60) considère « qu'il importe de comprendre « ce qui fait norme » durant les phases de recomposition. C'est durant les phases de transition et de restructuration que les normes régissant les comportements sont travaillées par les acteurs. Ughetto la définit comme suit : « l'identité n'est pas une essence permanente, mais le résultat, toujours à reprendre, d'une identification à des identités potentielles pour, paradoxalement, se créer une spécificité » (*Ibid.*, p.64). La problématisation des industries doit donc être vue comme un processus lié « aux incertitudes des identités collectives

---

<sup>80</sup> En chimie, on dirait qu'en fonction de l'identité du produit que l'on veut obtenir, on cherchera à l'obtenir au meilleur niveau possible de productivité des réactions, mais qu'on ne se sera pas intéressé par un produit plus réactif, s'il ne produit pas les fonctionnalités attendues.

<sup>81</sup> Les économistes acceptent assez bien l'idée d'hétérogénéité individuelle dans une industrie (des grandes firmes, des petites leur fournissant des services, des acteurs spécialisés, etc.), mais plus rarement l'idée d'une hétérogénéité fondée sur des paradigmes différents.

causées, par exemple, par un processus voyant, au sein d'un groupe, chaque individu reprendre à nouveaux frais ses certitudes, ses représentations des enjeux, de son intérêt personnel, des théories qui font sens pour lui » (*Ibid.*, p.64).

### 1.2.3. Identités et patrimoines productifs collectifs comme régulation du futur<sup>82</sup>

L'évolution des identités met dont en jeu « l'idée que les stratégies des acteurs ne sont pas essentiellement guidées par le type de transaction marchande dans lesquelles ils sont insérés à un moment donné, mais par leur impératif de reproduction dont ils essaient d'avoir une représentation de long terme. Cette représentation de long terme relie leur histoire passée à une certaine vision de l'avenir. Celle-ci ne peut exister (...) sans un travail de définition et de remaniements d'identités individuelles et collectives sur lequel les acteurs allouent nécessairement des ressources individuelles et collectives. » (Nieddu, 2006, p.37). Les identités mettent en rapport le passé des acteurs avec leur futur et leur façon de le représenter. La façon dont ils coordonnent leur inscription présente dans leur espace économique dépend donc de leur représentation du futur : vu ainsi le « futur précède le présent ». Pour Godard (1993), c'est bien ce qui différencie quant au fond une approche par les patrimoines des approches microéconomiques qui proposent des outils sophistiqués en termes de valeur d'existence, de legs, etc. : le patrimoine représente une forme de prise de pouvoir sur le futur.

Les stratégies d'acteurs doivent être lues comme des stratégies de reproduction de communautés dans des espaces particuliers. Le rôle de la coordination de long terme dans les dynamiques de changement a été mis en évidence par Liebowitz et Margolis (1995) qui soulignent que les rendements ne bénéficient pas à un titulaire unique, mais à la communauté portant la technologie. Autrement dit, la question, pour l'analyse de la régulation du changement, n'est plus la construction du récit de l'émergence d'une technologie dominante, à partir d'un entrepreneur schumpeterien, mais la description des stratégies d'acteurs pour s'imposer dans un univers controversé et exister dans le futur<sup>83</sup>. Car, comme le montrent Jullien et Smith (2008) et Nieddu (2000), la stabilisation des controverses est un enjeu d'ancrage et donc de stabilisation de l'univers des acteurs.

Par exemple, ce type d'analyses considère la formation d'un marché comme un élément de stratégie des acteurs qu'il convient d'analyser en lien avec leurs patrimoines productifs collectifs. C'est également ce qui permet d'expliquer que des acteurs s'engagent dans des stratégies d'innovation qui supposent de supporter, pendant un temps, des technologies non rentables au regard des technologies existantes qu'elles concurrencent (Nieddu *et alii*, 2014). Comme le rappelle Pierson (2000), les économistes peuvent appliquer l'argument des rendements croissants d'adoption dans deux directions. Il est possible d'expliquer, dans le cadre de la croissance endogène par exemple, la croissance par l'augmentation des rendements due à l'adoption de nouvelles technologies – il s'agit d'une explication *ex post*. La seconde direction, qui nous intéresse ici, porte sur la question sous-jacente qui est celle de l'évaluation *ex ante* de choix technologiques guidés non par l'existence de rendements croissants d'adoption, mais par l'anticipation qu'il faut réussir à créer les conditions pour que les rendements soient croissants pour un *patrimoine productif collectif donné*. Pierson (2000) rappelle alors la place des « adaptative expectations » dans le choix technologique : « *Although the*

---

<sup>82</sup> Ce point s'inspire largement de Nieddu (2006) qui développe les rapports entre patrimoines et identités.

<sup>83</sup> On se permet ici de renvoyer au chapitre 1 qui en fait le récit sur le champ des formaldéhydes.

*dynamic here is related to coordination effects, it derives from the self-fulfilling character of expectations. Projection about future aggregate use patterns lead individuals to adapt their actions in ways that help make those expectations come true.* » (Pierson, 2000, p.254).

## Conclusion — Patrimoines et espaces de régulation émergents : éléments de conclusion

La revue de littérature menée sur la question de la différenciation des espaces de production et la régulation du changement de ces espaces par les patrimoines productifs nous permet d'avancer qu'il est possible de traiter les espaces émergents comme des « espaces de régulation ». Nous retenons, à la suite d'Allaire, de Jullien et Smith que ces espaces et leurs transformations peuvent être étudiés dans deux dimensions : leur structure productive (un système d'échanges ou transactions) et leur ordre institutionnel (règles). Le système d'échanges ou de transactions, à la lumière de Billaudot ou Geels n'est pas uniquement constitué par des activités de production, mais aussi par des normes de consommation qui définissent les fonctionnalités attendues.

Si l'on retient que ces espaces sont les produits d'actions stratégiques des acteurs, et que l'on pense en termes de régulation du changement, on ne peut retenir que l'ordre institutionnel définit les règles de fonctionnement de l'espace de régulation ainsi formé, mais que c'est un enjeu que cherchent à construire les acteurs : *« l'analyse d'un modèle émergent doit passer par l'analyse de la variété des scénarios qui motivent les acteurs, des représentations alternatives qui guident leurs actions, ainsi que des échos propres à ces différentes voies et chercher à en dégager la portée. »* (Allaire, 2002, p.163). Nieddu (2006) disait de ces espaces de régulation – qualifiés « d'espaces d'initiatives » – qu'ils peuvent être décrits comme *« des endroits où (1) les acteurs cherchent à exprimer collectivement leurs demandes, leurs attentes, leurs difficultés ; (2) apprécier le type de compétences à mettre en œuvre, les services déjà offerts et disponibles, ceux qu'il faudra créer, et donc recomposer les frontières des organisations existantes. Les mutations à opérer relèvent de la formation de communautés au sens où il est nécessaire de s'appuyer sur une expertise partagée pour intégrer dans l'opérationnalité des initiatives et des activités, ces patrimoines immatériels que sont l'état des savoirs, des savoir-faire professionnels, les connaissances scientifiques en prise avec le domaine. »* (Nieddu, 2006, p.93).

À ce stade, nous disposons donc d'éléments permettant de décrire la dynamique globale de formation de l'espace de régulation (les frontières multiples et conflictuelles du système) et sa dynamique interne liée à son hétérogénéité. Ces éléments de dynamique interne sont soutenus par des « systèmes complexes de ressources » (Allaire, 2013). Mais, si les auteurs évolutionnistes (Malerba, 2005) mobilisent les bases de connaissances, c'est essentiellement pour mesurer les performances différentielles des secteurs (*cf.* Malerba sur la mesure de la performance). Ici, nous considérons que les bases de connaissances font partie de systèmes complexes de ressources, systèmes agencés par les acteurs eux-mêmes en fonction de leurs patrimoines productifs. À une vision en termes de base de connaissances unifiée, homogène, nous préférons celle d'une variété de bases de connaissances dont la stabilisation est également un enjeu dans les dynamiques sectorielles, et *a fortiori*, dans des espaces de régulation émergents. Ces bases de connaissances, comme les systèmes complexes de ressources et l'organisation des espaces de régulation, sont des univers controversés, des lieux de contestation et d'affrontements pour la domination des compromis qui vont stabiliser l'espace.

## 2. Acteurs et régimes de productions de connaissances et d'activités économiques

La section précédente invite à adopter une posture particulière : celle-ci consiste à reconnaître la capacité analytique des acteurs, et leur travail de problématisation de leurs activités. Si les acteurs sont « agis par les structures », ils agissent également sur elles, et se dotent d'instrument d'analyse de la réalité. S'ils sont inscrits dans un champ – volontairement ou non –, ils en observent les positionnements respectifs et se forment une image de ce champ pour agir à partir de leurs ressources propres. De ce point de vue, il est important de reconnaître que le chercheur, y compris en sciences sociales fait partie du champ, au sens où les acteurs s'emparent de ses catégories analytiques pour leur réflexion propre. Le fait que Muniesa et Callon (2008) aient mobilisé ce constat pour faire une critique du rôle des économistes, dévastatrice lorsqu'elle est lue dans le contexte de la crise de 2008, ne doit pas empêcher de travailler à partir de ce fait stylisé : « *Ce qui compte c'est de repérer les situations dans lesquelles l'usage des sciences économiques produit des différences : le monde n'est pas configuré de la même manière selon que ces sciences sont ou non présentes* » (Muniesa et Callon, 2008, p.10)<sup>84</sup>.

Les scientifiques qui travaillent à des innovations technologiques et les acteurs économiques cherchent en effet à se donner une représentation *économique* des mutations en cours. Notamment, ils cherchent à convertir les avancées qu'ils réalisent sous la forme de promesses technico-économiques. C'est pourquoi nous portons une attention particulière à ce corpus de documents hétérogènes que sont les attendus économiques, comme exercice obligé dans les projets scientifiques, les *PowerPoints* de présentation, les colloques de restitution de projet, les communiqués de presse des firmes, etc. . Les acteurs savent en effet qu'ils doivent en construire la légitimité et la crédibilité, étape pour une autre conversion, celles des promesses en investissements concrets dans des soutiens à des programmes de recherche ou des unités de démonstration : « *We coined the expression Economics of Techno-scientific promises because in such regimes, promises are not just a matter of discourses and representations. They also involve practices of exploration and experimentation; they are related to investment, and to mobilization, circulation, and accumulation of resources.* » (Joly, 2010, p.3).

Il ne s'agit pas néanmoins de renier le rôle spécifique du chercheur en économie, même s'il sait que sa production va jouer sur le champ ou qu'il cherche lui-même explicitement à l'influencer : « *Cette grille d'analyse prend surtout sens lorsque l'on rappelle que parmi les évidences empiriques qui frappent tous ceux qui décident d'enquêter sérieusement sur une industrie, celle d'une instabilité très forte couplée au sentiment d'une menace permanente sur la pérennité des activités domine. Ces éléments renvoient au fait que l'ordre institutionnel qui prévaut et qui peut apparaître, du point de vue de l'analyste, comme assez durable n'est que rarement vécu ainsi. Il est au contraire perçu comme menacé en permanence par des « révolutions », par l'irruption de nouveaux concurrents, par l'avènement de nouvelles technologies... Dès lors, un des enjeux de l'analyse des industries par les sciences sociales — surtout lorsqu'elles travaillent in vivo — est de saisir si et comment les changements qui s'opèrent en permanence sont profonds. À savoir affectent-ils l'ordre institutionnel lui-même et,*

---

<sup>84</sup> Les approches que nous mobilisons dans cette thèse n'échappent pas au fait stylisé : « L'économie évolutionniste et l'économie néo-institutionnaliste jouent un rôle central dans l'élaboration et la mise en œuvre des politiques de l'innovation, notamment en Europe. » (Muniesa et Callon, 2008, p. 6).

*partant, l'identité de l'industrie? Ou s'il s'agit de variations plus épiphénoménales qui in fine conforteront plutôt l'OI ? Cette problématique du changement, et de l'évaluation de sa profondeur, s'impose donc comme objet privilégié pour la mésoéconomie politique. » (Jullien et Smith, 2012, p.110).*

Nous allons donc revisiter un certain nombre de catégories analytiques des économistes à partir de la posture indiquée plus haut. Dans la première sous-section, nous réinterrogeons le cadre analytique [dispositifs institutionnels – Régimes économiques] et les régimes des évolutionnistes pour discuter la façon dont les acteurs s'en emparent en dynamique. Dans la deuxième sous-section, nous reprenons le résultat « multiniveaux » dégagé dans la première sous-section, et la nécessité d'étudier les boucles entre différents niveaux (ceux de la firme, ceux des réseaux qui se forment autour d'artefacts, ceux des jeux d'alignements d'acteurs pour former des filières cohérentes, ceux de l'espace global qu'ils considèrent comme l'espace de déploiement de leurs stratégies). Nous chercherons donc à rendre compte de la façon dont les acteurs peuvent penser cet ensemble de niveaux.

## 2.1. Y-a-t-il lieu de dépasser des représentations statiques des dispositifs institutionnels et des régimes ?

Nous avons divisé cette sous-section pour des raisons d'exposition en deux parties, nous allons d'abord dans le 2.1.1., revenir sur la place des dispositifs institutionnels dans la démarche mobilisée par l'approche régulationniste sectorielle. Nous la discuterons dans la perspective d'une analyse de la régulation du changement. Puis dans le 2.1.2., nous reviendrons sur la notion de régime, dans la même perspective.

### 2.1.1. Dispositifs institutionnels et régulation du changement

Nous avons montré précédemment comment avait émergé la question des niveaux et espaces de régulation dans la théorie de la régulation, dont la première formalisation a été réalisée par Bartoli et Boulet (1989, 1990). Ces deux auteurs, dans un article exposant les résultats de leur thèse, identifient deux risques dans la mobilisation de la notion de régulation et celle de mode de régulation sectoriel. Le premier risque identifié porte sur le risque d'une transposition mécanique du niveau macroéconomique au niveau sectoriel. Le second risque que les deux auteurs envisagent est celui d'un usage abusif de la notion de régulation au niveau sectoriel. Fort de ce constat, nous proposons de discuter les notions développées par Bartoli et Boulet dans la perspective de notre problématique.

#### 2.1.1.1. Les ambiguïtés du positionnement analytique des dispositifs institutionnels

La première notion fondamentale de la théorie de la régulation, celle des formes institutionnelles, est transposée la notion de « dispositifs institutionnels » (sectoriels ou territoriaux). Ces dispositifs institutionnels désignent les institutions qui produisent les normes qui encadrent les régimes économiques de fonctionnement. Les institutions peuvent être spécifiques au secteur (dans le cas de la chimie, la réglementation sur la toxicité des produits) ou partagées avec d'autres secteurs (comme la réglementation du travail par exemple). Les dispositifs institutionnels délimitent donc un espace qui est partiellement autonome et non entièrement clos sur lui-même, et il appartient à l'analyse empirique d'en déterminer les clôtures. Par exemple, un viticulteur est en même temps un

agriculteur adhérent de la Mutualité Sociale Agricole et un viticulteur qui n'est pas soumis aux mêmes règles du jeu qu'un céréalier ; la pharmacie bénéficie des bases de connaissances de la chimie et des biotechnologies et est soumise aux règles de manipulation des produits chimiques dans la production, mais ne peut mettre sur le marché ses produits selon les mêmes règles que la chimie. La deuxième notion est celle de régime économique de fonctionnement que Gallois qualifie de traduction « de l'ensemble des mécanismes économiques assurant la reproduction d'une sphère d'activité » (Gallois, 2012, p.60). Ces mécanismes sont assurés par la cohérence entre des logiques de production, d'échange et de consommation.

D'un point de vue pratique, l'économiste peut entrer dans l'étude de la variété des espaces économiques, soit par le repérage des dispositifs institutionnels spécifiques à cet espace, soit par le repérage de configurations des logiques de production, d'échange et de consommation spécifiques. Il peut soit étudier l'effet structurant des dispositifs sur le régime, soit faire l'inverse. Ainsi Billaudot (2001) analysait la régulation comme un courant des économistes visant à théoriser la dynamique des institutions, ce qui mit mal à l'aise d'autres régulationnistes, qui s'inscrivaient implicitement ou explicitement à l'inverse dans une démarche de caractérisation du régime post-fordiste, ou qui comme les évolutionnistes plaidaient pour une narration des dynamiques comme coévolution régimes-dispositifs<sup>85</sup>. Il peut aussi poser en faits stylisés l'existence de dispositifs institutionnels comme effet complexe de l'action collective et de la réflexivité des acteurs, ensuite doter ces dispositifs d'une mécanique propre et d'une historicité à partir d'une approche interdisciplinaire mêlant l'économie politique et la science politique. Il lui est possible d'identifier des régularités économiques, pour faire l'étude de l'émergence problématique de nouveaux modes de régulation. Régularités économiques et dispositifs institutionnels sont donc étudiés dans leurs tensions et non dans une cohérence postulée pour mieux pouvoir la repérer, ou étudiés dans leur mutuel renforcement pour engendrer une analyse de la variété des capitalismes (tel est le cas de Boyer et Hollingsworth, 1997).

---

<sup>85</sup> On retrouve de fait la même difficulté chez les évolutionnistes, qui tient probablement aux difficultés dans les démarches narratives que sont les restitutions de travaux économiques, à échapper à une histoire se présentant dans un schéma causes-conséquences.

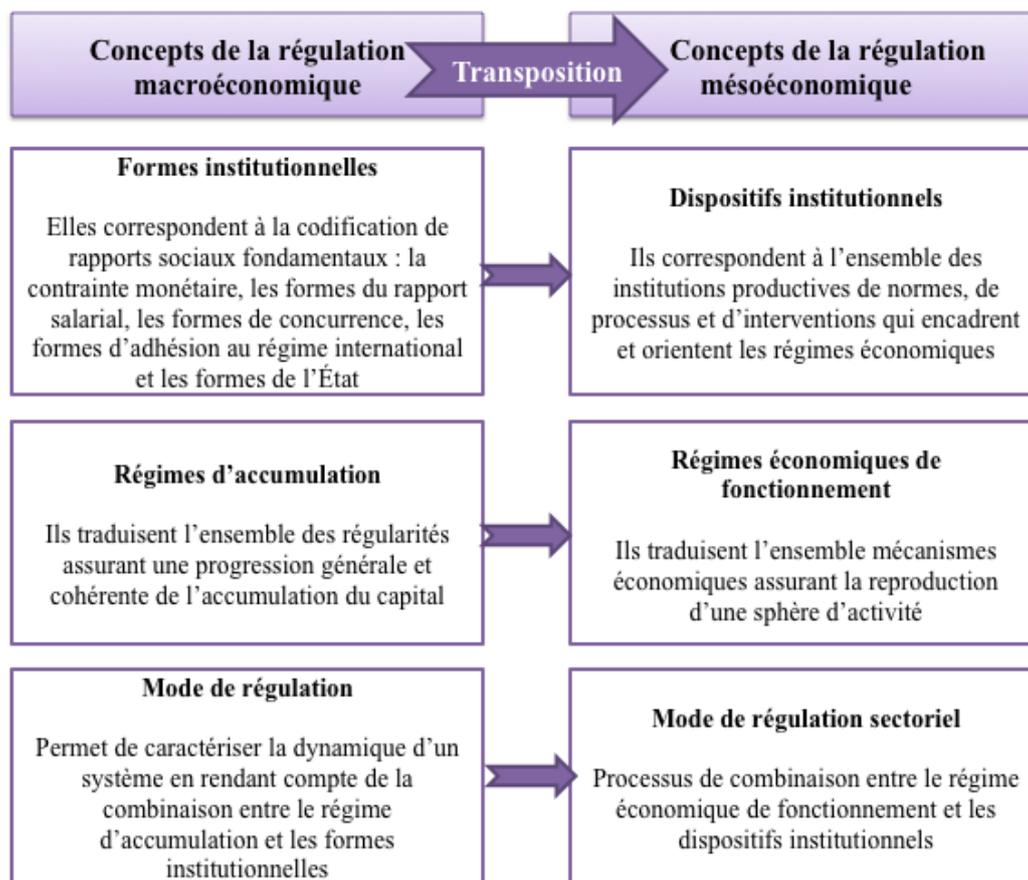


Figure 27 : La représentation d'une régulation du fonctionnement ... mais pas de la régulation du changement (Gallois, 2012, p. 60)

Cette représentation canonique nous pose problème pour les raisons suivantes : d'une part, rien n'indique *a priori* que les dispositifs institutionnels qui relèvent d'une intentionnalité visant à orienter le fonctionnement économique le fassent réellement. D'autre part, rien n'indique dans l'analyse d'une sphère d'activité que celle-ci se construit dans des dispositifs permettant sa reproduction : elle peut être l'espace non régulé permettant la régulation d'autres espaces. Autrement dit, il est possible d'avoir des régularités dans la transformation d'une sphère d'activité (régulation de son changement) sans pour autant observer une stabilisation de son fonctionnement. C'est précisément la difficulté à laquelle a dû s'affronter F. Gallois dans sa thèse sur les services à la personne. Il y avait construction explicite de dispositifs institutionnels dédiés à la construction d'un secteur spécifique, avec une frontière claire puisque déterminée par la loi dans une liste exclusive de vingt et un services. Elle était censée produire un régime économique de fonctionnement que la conclusion du rapport Debonneil – Cahuc qualifie d'industrialisation des services à la personne. Elle aboutissait à deux résultats : un régime de crise permanente des structures économiques qu'elles soient privées, cherchant à entrer sur les services à la personne, ou qu'elles soient associatives, ce qui les conduit à chercher à hybrider des ressources monétaires marchandes (la transaction avec le consommateur) et non marchandes issues d'une variété de dispositifs intrachamp (crédits d'impôt dédiés, fonds des conseils départementaux) et extrachamp (aides à l'emploi) ; une partie des services à la personne devaient être fonctionnement reliée à la régulation du système médical, notamment comme variable d'ajustement de la sortie de l'hôpital. Soit un champ non régulé (du fonctionnement, dans un sens normatif) pris dans l'espace de régulation d'un secteur hospitalier dont il est pourtant exclu, car ne relevant pas des dispositifs institutionnels de la prise en charge médicale. Les

changements dans le champ sont bien régulés, mais pas son fonctionnement. Il est donc nécessaire d'être attentif au schéma canonique, et le mobiliser non pas pour postuler des cohérences fonctionnelles, mais pour déceler les tensions entre composant du mode de régulation lequel peut être un cercle vertueux (les Trente Glorieuses) ou un cercle « vicieux » (une trajectoire verrouillée sur un « non développement » comme celles repérées par les régulationnistes sud-américains.

#### 2.1.1.2. Quelle interprétation des concepts de la RST dans une problématique de régulation du changement ?

Ces remarques font écho à la seconde mise en garde de Bartoli et Boulet, contre « *un usage abusif de la notion de régulation à un niveau sectoriel, (...) et in fine aussi de théoriser le contingent en aboutissant à une autre forme d'appauvrissement de la notion de régulation, que n'en ferait par un exemple qu'une métaphore plus chatoyante du terme règlementation.* » (Bartoli et Boulet, 1990, p. 18). Amable et Lordon insistent à cet endroit dans leur réponse à Faucher et Bresson que la méthode régulationniste n'a pas pour vocation d'étudier la stabilité des régimes, mais la façon dont les régularités observées aboutit à leur transformation qui culmine dans des grandes crises. Du point de vue des institutions, Allaire (2002) montre comment la construction de normes participe de l'émergence d'un espace de l'agriculture de la qualité en (re) construisant l'identité des produits qui font partie de l'espace de la reproduction.

Billaudot cherche à résoudre ce problème de la régulation du changement à un niveau microsocial qui peut inspirer notre réflexion. Pour lui, l'institutionnalisation est une condition nécessaire à l'action collective : « *l'action collective instituante, concertée ou non concertée, est la condition de toute activité individuelle.* » (Billaudot, 2009, non paginé). Il est intéressant de noter qu'il ne la réduit pas comme le fait White *et alii* (2008) à la seule question de la nécessité de la réduction de l'incertitude, mais qu'il la rattache au jeu (éventuellement conflictuel) des identités : « *Le problème que doit résoudre cette action collective n'est pas avant tout de surmonter l'incertitude radicale qui préside à toute coordination – que va faire l'autre en interaction avec ma propre action ? –, mais de résoudre des conflits de prétentions, inhérents à l'effort de persévérance dans l'être de chacun et actualisés par les positionnements dans la structure, entre des personnes qui sont dépendantes, c'est-à-dire entre des personnes qui doivent d'une façon ou d'une autre s'entendre.* » (*Ibid.*). Billaudot ajoute : « *c'est en réglant cette dualité « conflit/dépendance » que l'incertitude radicale est transformée en déterminant des régularités de comportements et d'attentes.* » (Billaudot, 2009, non paginé). Si l'on prend au sérieux Billaudot, le terme régler ne signifie pas que la question est réglée une fois pour toutes, mais qu'elle est *régulée*. Elle ne disparaît pas, de même que l'incertitude radicale ne disparaît pas, mais que des régularités de comportements et d'attentes réciproques se mettent en place. Billaudot ajoute que « *Cette « détermination [la détermination des régularités de comportements et d'attente, NdA.] est soumise à une condition dynamique de satisfaction : elle opère, en habilitant/contrainant des pratiques qui actualisent les formes institutionnelles, tant que cette condition est satisfaite et n'opère plus au-delà pour des raisons endogènes au processus de reproduction sociale ; certains exercent alors leur liberté en participant à une action collective porteuse d'un changement dont on ne peut prédire l'issue en raison même de la pluralité des valeurs de référence qui vont alors guider l'action, valeurs dont la liste est contrainte par la structure.* » (*Ibid.*). Alors que précédemment, il s'agissait de déterminer le rôle des institutions, et la façon dont elles agissent sur les individus, ici, les institutions sont considérées en dynamique. Alors qu'elles fournissent un cadre

pour l'action individuelle, encadrée par l'encastrement dans des communautés, la contestation de la forme de ces communautés et l'exploitation des espaces de liberté formés par les institutions conduisent à un schéma ouvert déterminant le changement : à la contestation, à l'évolution ou au renforcement des institutions.

Ceci conduit Boyer à traiter les institutions comme l'expression d'une coalition politique : « *il importe de rendre endogènes la création des institutions et/ou la politique économique afin d'explicitier à quelles conditions un groupe hégémonique est capable de former une coalition qui est à la fois validée dans l'espace politique et porteuse d'un mode de régulation viable. (...) En réponse à leur situation économique et leur orientation politique, des agents aux intérêts hétérogènes cherchent à se coordonner et à se regrouper afin d'influencer – et si possible faire partie de – la coalition politique qui va l'emporter.* » (Boyer, 2015, p.176). L'économiste ne peut se désintéresser de la formation de telles coalitions qui sont l'expression de la façon dont des acteurs cherchent à assurer leur compétitivité. Néanmoins, il serait nécessaire d'explicitier ce que l'auteur entend par mode de régulation viable qui ne peut se vérifier qu'*ex post*. Le viable renvoie à ce « qui peut être soutenable politiquement », mais pas nécessairement au cercle vertueux mentionné *supra*. Pour l'illustrer concrètement par le cas qui nous occupe, celui d'émergence d'espérances technologiques, les coalitions politiques qui portent des régimes de promesses technologiques doivent (re)construire en permanence la légitimité et la crédibilité de ces promesses dans la contradiction exploration/exploitation.

#### 2.1.2. Régimes et dynamiques de changement

Régulationnistes et évolutionnistes partagent un même vocabulaire de description de dynamiques des systèmes complexes avec la notion de régime, mais il renvoie à des acceptions différentes Gaudillière et Joly (2006) considèrent que « *la notion de régulation [des régulationnistes, NdA] est liée à l'articulation entre modes de financement, formes d'appropriation – et donc de délimitation des droits privatifs et des droits collectifs –, modes de production et de consommation. Elle correspond à l'idée d'un état stabilisé des relations entre éléments d'un système. Ce cadre doit toutefois être dynamisé par une prise en compte des acquis de la sociologie de l'action collective. D'où la seconde acception du terme. Pour nous les régulations dépassent les règles et les dispositifs formes. Elles ne se limitent pas aux interventions administrative ou juridique, elles émanent de multiples sources à l'origine d'outils aussi divers que des normes techniques, des recommandations, des protocoles, des conventions, mais aussi des routines et des savoir-faire. Ces dispositifs et ces ressources contribuent à la définition, fortement historicisée, de ce qu'est une connaissance valide et comportent aussi un régime spécifique de normativité, qui définit les actions légitimes en fonction de la référence à un ensemble de valeurs.* » (Gaudillière et Joly, 2006, p.333).

La citation invite ainsi à la fois à considérer l'instabilité comme intrinsèque au régime, et à être attentifs à d'autres sources de normes que les institutions formelles. Ce qui signifie que les paradigmes technico-économiques des évolutionnistes fonctionnent aussi comme des normes assurant la convergence de comportements des acteurs. Néanmoins, on peut observer que les régulationnistes qui se sont le plus intéressés à la régulation du changement ne considèrent pas la régulation comme un état stable, mais comme une gestion en dynamique de contradictions. On va donc, pour des raisons d'exposition partir d'abord des régimes régulationnistes, en retenant délibérément un exemple apparemment éloigné des dimensions technologiques, celui de l'économie du goût traité par Barrère

(2016), puis la notion de régime technologique sera retravaillée afin d'arriver à la proposition de régimes de production de connaissances et d'activités économiques.

#### 2.1.2.1. La régulation du changement dans le monde régulationniste

La notion de « régime » vise à décrire les mécanismes de reproduction des systèmes productifs. Les régulationnistes ont mobilisé cette notion au niveau macroéconomique définissant les régimes d'accumulation comme « *l'ensemble des régularités assurant une progression générale et relativement cohérente de l'accumulation du capital, c'est-à-dire permettant de résorber ou d'étaler dans le temps les distorsions et déséquilibres qui naissent en permanence du processus lui-même.* » (Boyer, 2015, p.61). Les régulationnistes des secteurs qui ont développé sur cette base une proposition de mésoanalyse ne s'intéressent pas qu'à l'importation de cette notion au niveau sectoriel pour décrire la reproduction du système productif du secteur à travers la mise en évidence des configurations entre des logiques de production, échange et consommation (du Tertre, 1995 ; Nieddu, 1998). Plus fondamentalement, ils s'intéressent à une régularité particulière, celle qui conduit, dans des formations économiques et sociales complexes, à des processus de différenciation entre secteurs – l'agriculture ne peut être gérée comme l'industrie, le BTP ou la chimie n'adoptent pas les logiques fordiennes, etc. –, mais aussi au sein de secteurs (la dualisation de l'agriculture, les stratégies de petites séries : les grandes unités, la différenciation par la qualité, etc.).

C. Barrère souligne que dans nos sociétés, les biens incluent de plus en plus de caractéristiques de goût, c'est-à-dire de caractéristiques faisant appel aux sens. Par exemple, le succès de l'i-phone ne peut être expliqué sans passer par cette grille analytique où les effets goûts dominent les effets prix. La dimension hédonique du choix de consommation l'emporte souvent, dit-il, sur sa dimension utilitaire. Cela confère aux goûts un rôle croissant, car les firmes doivent alors rendre compatibles goûts et offres sur des marchés de biens fortement diversifiés et différenciés. Peut-on réguler les goûts pour qu'ils génèrent des demandes aptes à racheter l'offre des firmes ? L'intérêt à nos yeux de cet article est qu'au lieu de réduire leur régulation « *au résultat du fonctionnement d'un appareil particulier et unique, gouverné par le pouvoir capitaliste, comme chez Marcuse (1968), Galbraith (1968) et Baudrillard (1970, 1972), il s'intéresse à un monde de régulation dans lequel les entreprises s'efforcent de diriger les goûts vers leurs biens, dans le contexte d'institutions (épistémès du goût, normes sociales et culturelles, patrimoines de goût) et d'appareils (intermédiaires, services commerciaux, média...) jouant sur les goûts et régulant certains de leurs aspects. Les firmes influencent les goûts pour accroître leur rentabilité, mais rencontrent le jeu de nombreux autres acteurs (État, consommateurs et leurs communautés...) dans un monde de pouvoirs et de contre-pouvoirs en compétition.* » (Barrère, 2016).

Ceci amène l'auteur à poser la question de la régulation « *comme la régulation d'une contradiction. Nous nous proposons de partir de la définition la plus générale de la régulation comme la reproduction de l'unité d'un système, non isolé, mais autonome (en ce que ses déterminants principaux en font partie), dont les diverses composantes subissent des influences spécifiques, pas nécessairement compatibles.* » (*Ibid.*) Nous remarquerons que c'est bien le cas dans les régimes technologiques où les composants ont des logiques propres (celle de la science qui travaille dans son autoproduction), celle des technologues qui cherchent à rendre les technologies compatibles, complémentaires et cumulatives) et celles des acteurs économiques qui leur demandent des compromis entre fonctionnalités techniques et économiques valorisables. Dans son cas « *les systèmes en question sont les marchés de biens déterminés qui sont le lieu de reproduction d'une unité production-consommation*

*mettant en cause d'autres variables économiques, notamment la rentabilité des capitaux. La question des goûts est alors principalement liée à celle de la régulation des rapports entre production et consommation, dans une économie fondée sur la mise en valeur de capitaux. Les goûts apparaissent comme conditions de la formation des débouchés qui doivent permettre cette valorisation. » (Ibid.)<sup>86</sup>.*

La question posée est donc celle de la captation d'une caractéristique de la demande structurellement instable contrairement à celle de la demande de satisfaction de besoins vitaux (se loger, se nourrir, etc.) avec laquelle elle vient se combiner, par des appareils productifs qui nécessitent un univers de stabilité pour projeter leurs calculs économiques. Sachant que ces appareils productifs ont besoin, pour alimenter leurs débouchés de cette caractéristique de demande de biens de goûts, ils ne peuvent l'éliminer : voilà qui entraîne une contradiction qui ne peut être effacée. Mais se pose alors le problème des dispositifs permettant de faire converger cette variabilité dans des goûts dominants. À cet endroit Barrère (2016) se refuse à adopter des postures en termes de manipulations telles que celle de Marcuse pour s'intéresser aux dispositifs permettant de *discipliner* les goûts dans une perspective foucauldienne : « *La discipline n'est pas la dictature érigée par un pouvoir souverain, qui, d'en haut, dicterait à la société ses conduites par le biais d'un appareil de coercition. Pas plus que le consommateur n'est souverain, le capital ne l'est (...). La discipline ne renvoie pas à un pouvoir possédé comme dans les théories de la souveraineté « mais à des dispositions, à des manœuvres, à des tactiques, à des techniques, à des fonctionnements » (Foucault, 1976). » (Ibid.).*

Cette conception de la discipline « *qui n'est pas commandement [et] résulte pas d'un seul appareil (« l'appareil de persuasion ») ou d'une seule institution (« la filière inversée ») parce qu'elle est « un type de pouvoir, une technologie, qui traverse toutes sortes d'appareils et d'institutions pour les relier, les prolonger, les faire converger, les faire s'exercer sur un nouveau mode » (Deleuze, 2004, p.33) » (ibid.) n'est pas sans nous rappeler la position de P.-B. Joly sur l'ensemble de dispositifs qui disciplinent l'exploration de la nouveauté par des acteurs scientifiques et économiques dans les régimes technologiques (ces outils aussi divers que des normes techniques, des recommandations, des protocoles, des conventions, mais aussi des routines et des savoir-faire : les promesses technologiques sont soumises dans leurs processus de légitimation, à ces dispositifs divers).*

Barrère construit donc bien une posture analytique de la régulation du changement : « *Nous pouvons alors tenter de concevoir la régulation des goûts, non comme la résultante d'un mécanisme ou d'un appareil particulier, expression du pouvoir souverain du capital (comme chez Marcuse et consorts), mais comme la résultante, limitée et instable, d'un ensemble de stratégies d'acteurs cherchant à orienter le produit de multiples dispositifs (institutions, appareils, technologies, systèmes normatifs jouant sur les goûts), en faveur de leurs propres exigences d'adaptation des goûts à leurs produits. » (Ibid.). Ainsi, si l'on remplace la régulation des goûts par la régulation des changements techniques, on obtient une image autre que celle du déterminisme technologique.*

---

<sup>86</sup> Cette économie des biens de goûts n'est pas totalement étrangère à notre univers très technique ; les goûts peuvent inclure des préférences pour des valeurs (le goût pour des produits bio ou équitables) et donc un consentement à payer qu'on retrouvera dans la discussion sur le « *green premium price* ».

### 2.1.2.2. Les régimes dans la théorie évolutionniste

Nelson et Winter (1977) ont introduit la notion de régimes technologiques dans la théorie économique en s'intéressant à la production de connaissances dans un environnement de concurrence schumpeterienne. Cette contribution introduit la question du rapport de la firme à son environnement et de l'environnement à la firme, dans le sens où les régimes sont des régimes de création tout autant que d'utilisation de technologies, constituent des contraintes et des opportunités aux firmes déjà établies ou aux nouveaux entrants. L'intention explicite était de réussir à produire une représentation des différents comportements d'innovation.

Malerba et Orsenigo (1993) précisent la définition des régimes comme suit : « *technological regimes define broad prescriptions and trade-offs which identify the basic dynamic mechanisms and viable behavior in terms of basic technology strategies and basic types of organizations of firms* » (Malerba et Orsenigo, 1993, p.47). Donc, serait-on tenté de dire, les régimes technologiques régulent au sens où leur interprétation par les acteurs n'est pas neutre en termes de choix. Pour les deux auteurs, un régime peut être défini par les opportunités offertes par ce régime, les conditions d'appropriabilité, le degré de cumulativité et les caractéristiques de la base de connaissances que doit s'approprier au moins partiellement tout acteur pour être en capacité de se coordonner avec d'autres.

Ces trois premières références permettent d'établir que les régimes technologiques fournissent une approche en termes de régulation du changement : « *a synthetic representation of some of the most important economic properties of technologies and of the characteristics of the learning processes that are involved in innovative activities.* »<sup>87</sup> (Malerba et Orsenigo, 1997, p.83). La logique de changement est gouvernée par la perception qu'ont les acteurs des complémentarités et de la cumulativité de leurs technologies avec elles d'autres acteurs : « *In general, a highly complex but separable and codified knowledge base, coupled with **high opportunity and appropriability conditions**, may induce firms to develop external networks composed of complementary specialist firms co-existing with system integrators.* »<sup>88</sup> (Malerba et Orsenigo, 1997, p.99).

Les travaux de Rip et Kemp (1998) et van den Ende et Kemp (1999) introduisent ici un type d'acteurs qui sont porteurs et qui doivent gérer la forêt des dispositifs « disciplinaires » que l'on a évoqués plus haut, les ingénieurs qui subissent et organisent la nouveauté : « *A technological regime is the rule set or grammar embedded in a complex of engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, ways of handling relevant artifacts and persons, ways of defining problems – all of them embedded in institutions and infrastructures. Regimes are intermediaries between specific innovations as these are conceived, developed, and introduced, and overall sociotechnical landscapes.* »<sup>89</sup> (Rip et Kemp, 1998, p.338). Ce sont les ingénieurs qui personnifient l'expression du régime en étant la communauté qui met en forme les découvertes scientifiques dans la division du travail.

Les régimes doivent être compris comme des « concepts intermédiaires » qui permettent de mettre en forme les rapports qu'entretiennent les acteurs économiques (chez Rip et Kemp,

---

<sup>87</sup> Souligné par nous.

<sup>88</sup> Surligné par nous.

<sup>89</sup> Surligné par nous.

principalement les ingénieurs) avec leur environnement, c'est-à-dire les acteurs qui peuplent la communauté à laquelle ils appartiennent, mais également leur industrie, voire le « *landscape* »<sup>90</sup>.

Van de Poel (2003) rappelle que les régimes peuvent être identifiés « *at different hierarchical levels like components (like materials, nuts and bolts, and vacuum tubes), devices (like pumps and engines), artifacts (like bridges and refrigerators) and systems (like transportation systems and electricity networks.* » (van de Poel, 2003, p.50).

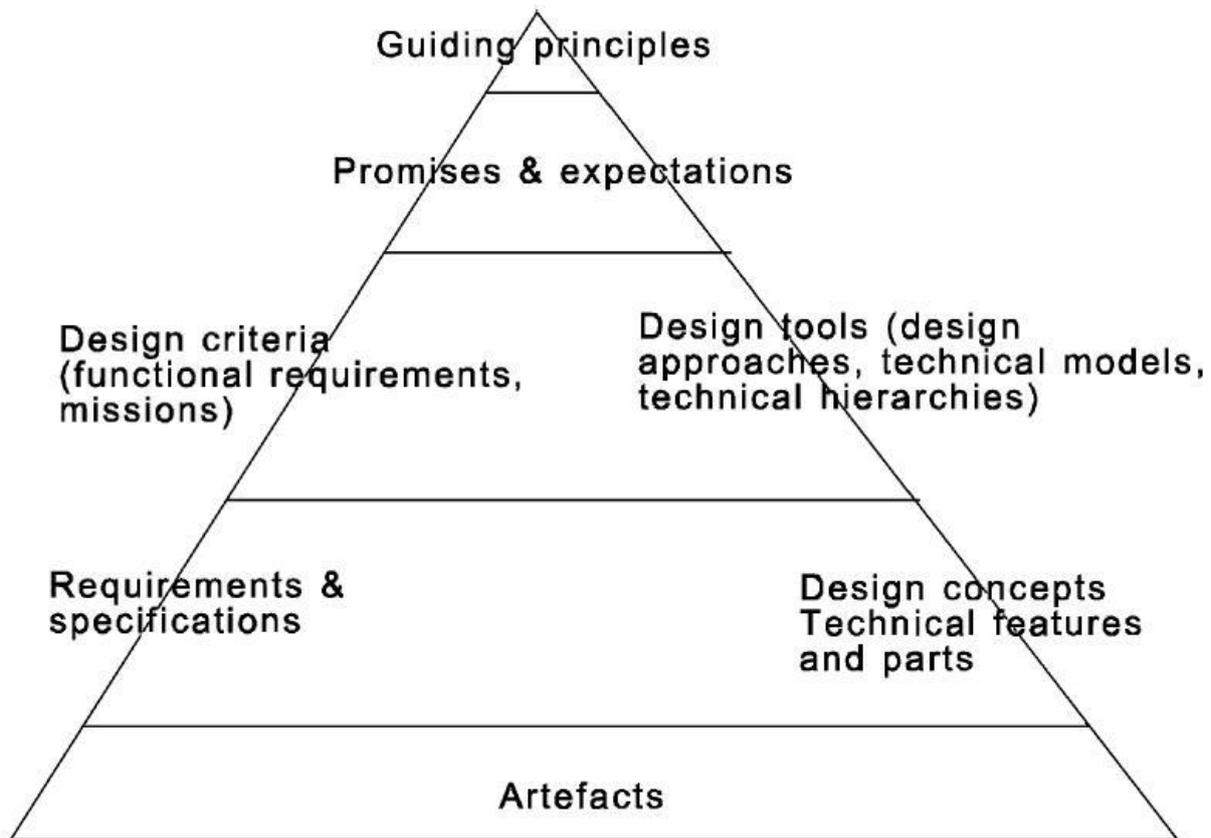


Figure 28 : Les dimensions d'un régime technologique (van de Poel, 2003, p.51)

La construction dans l'univers de l'ingénieur conduit comme on le voit sur le schéma, Van de Poel à décrire un système hiérarchisé par les *guiding principles* de l'ingénieur. Ce sont les *guiding principles* qui sont partagés par les ingénieurs dans la conduite du changement qui sont constitutifs de la régularité d'un régime technologique : « *then are core rules, i.e. rules that are vital for the continued existence of a technological regime* » (van de Poel, 2003, p.52).

La continuité de l'existence des régimes rend donc compte de la régulation du changement. Dans la théorie évolutionniste ou du *transition management*, ce sont des pressions externes qui déclenchent le changement dans les régimes (Geels, 2014). D'un point de vue régulationniste, la séquence n'est pas aussi mécaniste, comme le montre notre étude de cas sur les formaldéhydes et le régime de production de mousses et résines. Certes, les pressions externes (comme les mobilisations ou la modification de la législation) influent sur les régimes, mais notre hypothèse est que c'est la façon dont les acteurs réagissent, notamment dans les dynamiques de conflits/coopération, qui va engager

<sup>90</sup> Le *landscape* ou *socio-technical landscape*. Le *landscape* correspond au niveau macro-social, à partir duquel partent les pressions à la transformation des régimes sociotechniques.

la dynamique de transition et de transformation des régimes. Dans la démarche de gestion de la transition, Holtz *et alii* (2008) identifient des sous-systèmes qui réagissent de manière hétérogène à une même impulsion. Ainsi, une même réglementation pourra conduire à des dynamiques de transformation hétérogènes en fonction des patrimoines productifs des acteurs impliqués et des dynamiques d'apprentissages impulsées par le régime auquel ils appartiennent. Les *guiding principles* sont donc inclus dans les patrimoines productifs des acteurs et leur servent de référence dans la construction de leur reproduction face à l'instabilité et au changement.

Conclusion : Vers les régimes de production de connaissance et d'activités économiques

Nous tirons de ce passage visant à discuter les notions régulationnistes et évolutionnistes de régimes, dans une perspective de régulation du changement une convergence des approches sur l'existence de dispositifs complexes et multiples visant à discipliner des acteurs sur des modes d'action donnés dans des directions données sans pour autant que cela ne produise une homogénéisation. C'est la raison pour laquelle, à l'occasion de la session spéciale consacrée à la bioéconomie dans le colloque de Montpellier, « La Grande Transformation, Vingt ans après » (Nieddu *et alii*, 2015), avancé le concept de *régime de production de connaissances et d'activité économique*. Le concept vise à reconnaître la place de régimes de promesses (qui se font sur la génération d'un type de connaissances prétendant générer des innovations de rupture pour provoquer l'agglomération d'autres acteurs, dont l'univers institutionnel de prédilection est la propriété de droits intellectuels), mais parmi d'autres régimes qu'on va détailler dans la section 2. Il vise aussi à reconnaître le système complexe de dispositifs qui ont en charge l'évaluation des conditions de passage du laboratoire (ou de la R et D) à la production.

Les logiques productives (de production, d'échange et de consommation) en construction héritent du passé, et cet héritage guide les apprentissages et la production de connaissances. Les acteurs vont donc s'affronter et coopérer autour d'un certain nombre d'objets qui cristallisent la formation de liens entre ces acteurs à partir d'éléments hérités et projetés dans le futur (les patrimoines productifs collectifs) et construire et exploiter les opportunités ouvertes pas la déstabilisation de régimes existants et l'émergence de nouveaux régimes. Il s'agit donc bien de décrire avec le concept de régime de production de connaissances et d'activités économiques des régimes *exploratoires*.

Les systèmes constituent des ressources collectives pour des acteurs, et font partie de ce qu'on a désigné comme patrimoines productifs collectifs. Nous choisissons de considérer, à la suite de tous nos développements des chapitres 1 et 2 qu'il n'est pas souhaitable de retenir l'hypothèse d'un régime unique, mais plutôt celle d'une pluralité de régimes exploratoires se confrontant dans un espace de régulation donné. Leur nombre n'est assurément pas infini ; il s'inscrit dans la matérialité des *process* de transformation, et dans le nombre fini de solutions que les scientifiques et technologues explorent pour les acteurs économiques.

## 2.2. Acteurs et structuration multiniveaux de l'espace Filières, firmes et découpages du système productif

La sous-section précédente invitait montrer qu'on ne peut faire l'analyse des dispositifs institutionnels et dans les régimes sans faire place aux acteurs, qu'ils soient porteurs de « disciplines » destinées à orienter les autres acteurs ou de régimes de production de connaissances et d'activités économiques. Nous avons précédemment cherché à montrer la nécessité de tenir le positionnement de ces acteurs dans une logique multiniveaux. Comme indiqué en introduction de la section, il n'y a pas de raison de considérer que les acteurs ne sont pas conscients de leur positionnement de champ. Tout d'abord, à l'heure des études en termes de réseaux ou de clusters, il est notable que les acteurs que les acteurs les mobilisent comme représentation de leurs actions, tout comme ils mobilisent le concept de chaînes de valeur et celui de modèle d'affaires – qu'ils préfèrent d'ailleurs ne pas traduire en usage courant pour parler de *business model*. L'appareillage économique, fait donc partie comme d'autres principes guidant l'action (*guiding principles* des ingénieurs) des technologies d'action collective qu'ils déploient au côté de ce qu'on appelle classiquement technologies. Nous sommes contraints, c'est une des rançons de l'étude de cas comme dispositif de test de théories (*cf.* introduction générale), de réintroduire des exemples tirés de notre cas de la bioéconomie.

Nous allons parcourir trois niveaux : celui d'une représentation globale du champ, telle qu'elle nous est proposée par des acteurs, celui d'une représentation en filières et celui d'une représentation en termes de *business models*, non par souci logique, mais parce nous avons conçu dans un premier temps de partir de la représentation qu'en donnent des acteurs contribuant à la représentation du champ au premier niveau pour nous apercevoir que les trois niveaux étaient articulés dans les représentations.

La première représentation est celle qui oppose deux façons de faire nouveauté dans un champ global de la chimie du végétal ; elle est issue du travail de Colonna *et alii* (2015)<sup>91</sup> qui conduit à la distinction entre logique de la fonctionnalité et logique des promesses. Nous allons ensuite présenter la représentation du monde de production de la bioéconomie comme filière, mais parce qu'elle revient de façon lancinante dans les discours des acteurs cherchant à représenter les promesses technologiques de la bioéconomie. Puis, les « modèles d'affaires » doivent être reliés aux filières dans lesquelles les firmes cherchent à s'insérer. Les firmes sont considérées ici, à la suite de Coriat et Weinstein (2010) comme un espace de compromis entre parties prenantes, de gestion de connaissances et de transformation de la nature. Ces compromis régulent le fonctionnement de la firme – et donc ses relations avec les autres entités (au sens de Biondi *et alii*, 2009) – dans ses transformations et dans les dynamiques collectives d'exploration des transitions écologiques ou autres. L'approche des *business models* permet de rendre compte de ces dynamiques exploratoires qui mettent en jeu l'identité de la firme (Hernandez *et alii*, 2014).

---

<sup>91</sup> Paul Colonna est aujourd'hui à l'INRA en charge du dossier de la bioéconomie. C'est un chercheur qui a beaucoup contribué à explorer certaines voies de la chimie du végétal [les amidons modifiés pour en faire des films et des mousses] et réalisé avec Nieddu *et alii* [1999] l'étude sur les brevets biopolymères évoquée plus haut – l'interprétation proposée n'étant pas de sa responsabilité. Il est donc passé à des fonctions d'animation de la recherche à l'interface public privé et ses articles de synthèse sont de très intéressantes synthèses de l'état de la réflexion sur le développement du champ – voir également son très intéressant cours dispensé au collège de France lors de son passage à la chaire « Développement durable » en 2011-2012) disponible sur internet.

### 2.2.1. Logique de la fonctionnalité et logique des promesses

Colonna *et alii* (2015) présentent les approches en chimie du végétal en indiquant trois grandes voies de résolution du problème de traitement de la biomasse. Dans la première approche, il s'agit de reproduire les molécules d'origine fossile en adaptant les procédés pour adopter la substitution ; on obtient alors un carbone biosourcé fournissant la même fonctionnalité que la molécule pétrosourcée, avec en plus une identité verte un carbone (carbone biosourcé – qu'il faudra faire reconnaître par une norme, car il n'est pas « visible » que ce soit un carbone de cette origine). Dans la deuxième approche, approche dite fonctionnelle, il s'agit d'explorer les molécules existantes dans le domaine vivant pour y trouver des fonctions semblables à celles recherchées et à les valoriser, alors que les fonctions sont portées par des molécules de structures différentes de celles actuellement utilisées. La troisième solution s'éloigne de l'héritage et des patrimoines productifs de la pétrochimie. Elle vise à exploiter la richesse du vivant pour trouver des molécules ou des nano-objets dotés de nouvelles fonctionnalités susceptibles les caractéristiques propres de matières premières végétales. Cette voie considérée par les auteurs comme innovation de rupture est peu développée dans la suite de l'article, qui se concentre sur les deux premières voies. Les auteurs font alors référence à l'étude du DOE américain de 2004 qui fait l'inventaire des molécules d'origine végétale candidates aux deux premières voies, pour indiquer qu'une trentaine de molécules (que le screening américain va amener à un *top ten*) portent l'ensemble des promesses technologiques de développement du champ.

#### 2.2.1.1. Fonctionnalités et compromis de produits

Van Niel (2014) définit « l'économie de la fonctionnalité » comme l'offre de « solutions intégrées de biens et services » visant à substituer l'achat d'un bien par l'offre d'un panel de service s'appuyant sur la promesse de la valeur d'usage offerte par la consommation. Cette définition, au-delà du type de *business models* qu'elle met en avant repose sur une conception des biens devant répondre à des attentes particulières mettant au centre de l'échange la valeur d'usage.

Le produit porteur d'un service est donc une promesse sur la valeur d'usage que pourront retirer les consommateurs, ou dans l'industrie chimique marquée par le business to business, l'utilisateur industriel de la molécule. C'est cette dimension que nous souhaitons retenir ici. Dans un contexte de transition, autour de produits appartenant à des niches traitées comme des patrimoines productifs, le processus d'exploration et de développement des produits repose sur l'identification du couple [produit/marché] pertinent. Il y a donc une relation entre les « fonctionnalités » intrinsèques du produit (la façon dont il réfléchit la lumière, sa barrière aux odeurs, etc.) et les « fonctionnalités attendues » pour ce produit. Dans le cas des bouteilles en plastique, les fonctionnalités attendues de ce produit sont sa résistance aux chocs et la possibilité de sa déformation par exemple. Il s'agit là des fonctionnalités « techniques » du produit, telles qu'elles peuvent être décrites par les chimistes. En chimie, les fonctionnalités ou « groupes fonctionnels » (*functional groups*) sont définis comme suit : « *the functional group is an atom (or a group of atoms) that has similar chemical properties whenever it occurs in different compounds. It defines the characteristic physical and chemical properties of families of organic compound.* » (Rittner et Bailey, 2005, p.113).

Or le développement de ces fonctionnalités est à mettre en relation avec la construction de la consommation et des usages des produits. L'usage de molécules issues du pétrole n'est pas le résultat d'une efficacité supérieure *a priori*, mais de la recherche de débouchés pour l'industrie pétrochimique

visant à rentabiliser la production de carburants (c'est ce que montre Beninga, 1990). Les produits sont donc un compromis entre les fonctionnalités chimiques et les usages que les acteurs cherchent à construire en fonction de celles-ci. Dès lors, dans un contexte de transition visant à substituer des produits d'origine fossile dotés de fonctionnalités particulières, il s'agit pour les firmes et les chimistes de réaliser ces compromis entre les propriétés des polymères biosourcés et les fonctionnalités attendues de ces produits. L'énoncé des fonctionnalités des nouveaux produits agit donc comme une promesse technico-économique sur la valeur d'usage pour les producteurs en aval des filières ou les consommateurs. Si nous reprenons l'idée de produits comme compromis entre différentes dimensions, nous prenons le parti de privilégier l'approche par les fonctionnalités dans l'étude des performances des produits de Brouillat *et alii* (2013). Les produits étant des compromis entre différents éléments (que ce soient les fonctionnalités ou les performances), ils renvoient nécessairement à un problème d'évaluation multicritère.

#### 2.2.1.2. Promesses et modèles économiques

Les promesses du *top ten* ne peuvent se comprendre sans l'investissement massif de la recherche pour dessiner des voies d'accès à leurs usages. C'est pourquoi le développement du champ est marqué par celui de la montée en puissance d'une « économie de la connaissance », considérée comme moteur du développement productif. Pestre (2014) traite de cette question en mettant en évidence le problème du « gouvernement des technosciences » qui font partie désormais des processus de production – dont le texte sur lequel nous travaillons est un témoin et des attentes des acteurs économiques vis-à-vis de ces technosciences. C'est ainsi que l'on retrouve le régime des promesses de Joly (2010). Comme on l'a vu, la notion « d'économie des promesses » renvoie donc la question du changement technique à un problème de coordination de l'allocation de ressources visant à engager le futur, et aux régularités que l'on peut identifier dans les pratiques d'exploration des nouvelles technologies.

Que l'on parle de « promesses technico-économiques » ou de « technological expectations » à la suite de Brown (2003), il s'agit d'organiser et de coordonner l'allocation des ressources sur le développement de nouvelles technologies : « *they play a central role in mobilizing resources both at the macro level, for example in national policy through regulation and research patronage, and at the meso level of sectors and innovation networks, and at the micro-level within engineering and research groups and in the work of the single scientist or engineer.* » (Borup *et alii*, 2006, p.286). La coordination des acteurs, par les promesses, est multiniveau et prend forme dans des objets techniques ou institutionnels « *potentially contributing to early lock-in and path dependency* » (Konrad, 2006, p.430). L'organisation de l'engagement des ressources participe à développer de l'irréversibilité, visant à maintenir ces trajectoires, et donc à construire le futur notamment par ce que Konrad (2006) nomme des « *collective expectations* » qui se développent elles au niveau macro-social conduisant des acteurs hétérogènes à partager un discours commun. Le discours autour de la bioraffinerie relève typiquement de telles *collective expectations*. En effet, le concept de « bioraffinerie » constitue un « objet transitionnel » partagé par des acteurs hétérogènes (Nieddu et Vivien, 2015). La perspective adoptée ici par Konrad (2006), c'est-à-dire que c'est l'existence des *collective expectations* qui permet que des acteurs hétérogènes se regroupent : « *for many actors, collective expectations gain the normative status of taken-for-granted self-evident assumptions that no longer have to be justified (...).* » (Konrad, 2006, p.433). Geels et Raven (2006) s'inscrivent dans une approche inverse, c'est-à-dire montante et

non plus descendante comme celle de Konrad. Le partage de règles cognitives communes permettant le partage d'espérances (ou d'*expectations*), qui seront validées par l'expérimentation au sein de projets de recherches, donc de niches conduisant à la formation d'activités économiques.

Borup et alii (2006) considèrent quant à eux que les espérances sont des *constitutive force* : « *expectations are 'constitutive' or 'performative' (...) in attracting the interest of necessary allies (various actors in innovation networks, investors, regulatory actors, users, etc.) and in defining roles and in building mutually binding obligations and agendas. (...) Indeed, it would be hard to picture the formation of technology developments and innovation without some kind of shared, though flexibly interpreted, cluster of guiding visions.* » (Borup et alii, 2006, p.289). En d'autres termes, le partage d'espérances communes participe donc de la régulation du changement en ce qu'il forge l'identité des communautés engagées dans des trajectoires de changement technique, et vise à permettre la prise de contrôle sur une partie du futur des entités engagées dans le même réseau, du fait des effets d'irréversibilité qu'il crée dans des engagements sur ces trajectoires.

Ces espérances sont liées à l'insertion dans des régimes partagés comme le souligne la référence aux *guiding visions*. Cette vision introduit la question du pouvoir qui n'est pas présente chez Konrad (2006) ou chez Geels et Raven (2006). Considérer les promesses dans leurs régimes, comme le fait Joly (2010) permet donc au chercheur de relier celles-ci aux acteurs qui les forment, et surtout à leurs stratégies. Ainsi, les procédés d'évaluation des résultats des technologies (ou des projets de recherche au sein desquels elles ont été développées) seront réalisés à l'aune des promesses formulées : les formes institutionnelles (comme les normes de production) que cherchent à ériger les acteurs doivent donc être analysées comme des dispositifs de légitimation de ces technologies (Borup et alii, 2006 ; Konrad, 2006). Par exemple, les débats autour des dispositifs d'évaluation du contenu biosourcé d'un produit relèvent typiquement de cette dynamique. BASF défend l'adoption par l'ensemble des acteurs de son procédé d'évaluation qui réalise une moyenne de contenu biosourcé, pouvant varier en fonction du cours des matières premières alors que d'autres défendent la seule évaluation en fonction du contenu en carbone d'origine végétale (comme les producteurs de biocarburants).

Relier les promesses aux régimes dans lesquels elles sont produites invite également à tenir compte de leur diversité : « *expectations and future uncertainty are seen to vary between different groups involved in technological development. So, (...) fields also exhibit social variabilities where people will attach different levels of trust of expectations. The obduracy of the emerging technology is different for different groups. Expectations have the appearance of greater authority for those who see themselves as having little influence over the outcome of a promise.* » (Borup et alii, 2006, p.292). La question de la diversité des promesses doit ici être reliée à l'identité des acteurs qui les produisent.

Nous avons été frappés par le fait que les acteurs sont très au fait de cette représentation en économie des promesses, et qu'ils ont une perception précise des cycles de désappointement qu'elle connaît régulièrement. Nous avons assisté à une présentation par le directeur de la recherche d'Arkema à une description de ces cycles tels que représentés ci-dessous par les chercheurs, à partir de titres de films de James Bond (*On ne meurt que deux fois, Demain ne meurt jamais, Les diamants sont éternels*, etc.).

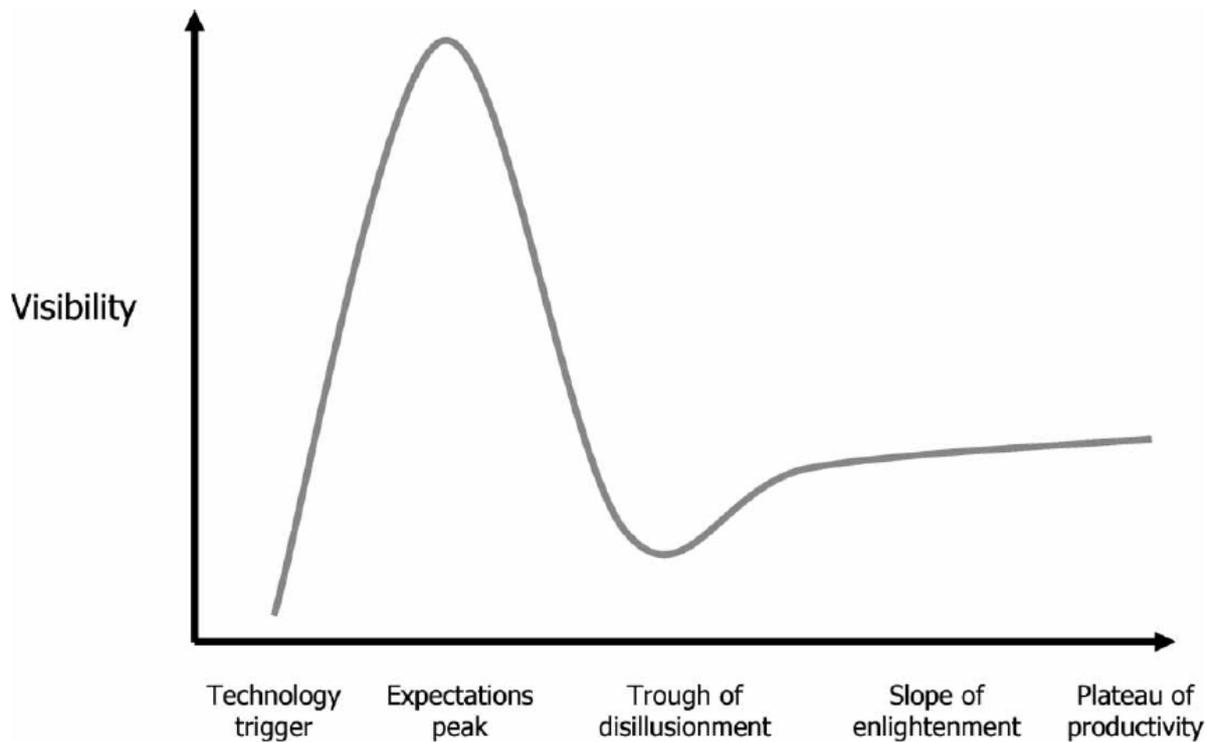


Figure 29 : Les cycles d'espérances et de désappointements (Borup *et alii*, 2006, p.291)

Ce schéma vise à rendre de la succession de désillusions face à des phases de promesses. D'après Borup *et alii* (2006), le schéma est trop général pour être mobilisable et il réintroduirait une vision linéaire du changement technique et de l'innovation. Il vient donc le problème de comprendre pourquoi face à un désappointement se maintiennent des trajectoires. Ceci nous indique que les promesses sont un « poids relatif » dans la formation des trajectoires : elles expriment une construction du futur reliée à l'identité des acteurs. Notre hypothèse est donc que les promesses sont articulées aux patrimoines productifs des acteurs qui formulent ces promesses (le titre « les diamants sont éternels » évoquait précisément cela). Il s'agit donc de prendre en compte, dans l'analyse du changement technique, la formation de ces promesses en articulation avec les stratégies de reproduction des patrimoines productifs collectifs des acteurs, c'est-à-dire les périodes d'espérances et leur contraire, les phases de désappointements et comment peuvent émerger de nouvelles phases d'espérances. Il s'agit donc, par cette séquence, d'analyser la formation des promesses en diachronie, c'est-à-dire dans leur succession dans le temps, afin de faire apparaître des stratégies de constitution de modèles économiques elles-mêmes constitutives des espaces de régulation.

### 2.2.2. La filière comme conception du bouclage d'un système d'action

La notion de filières évoque à la fois un outil et un objet d'analyse (Gallois, 2012), mais également une représentation idéalisée de ce que devrait être une organisation productive cohérente – Sergent (2013) montrent que les acteurs du bois retiennent tous une représentation métaphorique de la « filière-bois », là où d'autres, dans d'autres contextes, se décriraient comme membres de clusters, de réseaux ou de valley (cf. la déclinaison des *plastic valley*, *packaging valley*, etc. en France).

Nous allons d'abord faire un rapide retour sur la notion. En effet, l'économie industrielle, après avoir été marquée par de nombreuses études empiriques (Arena *et alii*, 1991), a été emportée par ce qu'Arena (1999) décrit comme une « *microéconomie industrielle théorique* » (MIT)<sup>92</sup>. Néanmoins s'est maintenu le projet alternatif de « l'École Française d'Économie Industrielle » (EFEI) qui repose sur « *la tentative de construction d'une mésoanalyse [correspondant, NdA] à l'appréhension et à l'utilisation de « niveaux intermédiaires » différents du marché ou, pour le dire autrement, de lieux de coordinations externes à la firme tels que la branche, la filière, le secteur, la section, etc.* ». (Arena, 1998, p.19). On peut ajouter avec de Bandt qu'« *il n'est pas possible d'appréhender les dynamiques industrielles, si l'on ne cherche pas à comprendre ce qui se passe à divers niveaux, au minimum aux niveaux micro —, méso — et macroéconomiques (sans même parler d'interrelations plus complexes à des niveaux intermédiaires.* » (de Bandt, 2010, p.335). La question posée par ces auteurs est une question adressée à la fois aux chercheurs et aux acteurs et que chacun cherche à documenter : « *comment les firmes peuvent-elles inscrire leurs stratégies au sein de découpages productifs auxquels elles appartiennent ?* » (Arena, 1998, p.19)<sup>93</sup>.

En parallèle, se sont développées depuis les années 1990 les travaux en termes de *chaînes de valeurs* qui de la même façon, partent de la question du découpage productif, qui rencontre la question de la mondialisation : le but était alors d'analyser la division mondiale du travail, pour voir comment les multinationales décomposaient les segments de chaînes de valeur au niveau mondial pour les recomposer à leur avantage. D'où l'importance de l'outil de gestion de « *supply chain* » chargé de rendre viables les chaînes logistiques rendues nécessaires par ces décompositions. Une série de contributions a cherché à identifier les liens entre les approches filière et chaîne de valeur (Blair, 2009 ; Temple *et alii*, 2009 ; Raikes *et alii*, 2000). Au-delà de la sophistication peut-être en partie inutile de la comparaison, on retiendra que toutes deux retiennent une représentation de la filière comme espace stratégique d'action modulable, dans une certaine mesure, et que la modularité peut être une opportunité mobilisée par des acteurs. Elles ont un intérêt commun pour la distribution des pouvoirs dans la division du travail et les institutions. Nous proposons de partir du fait que les deux outils sont à la fois des outils et objets d'analyse et des outils de gestion mobilisés par les firmes. Pour cela, les représentations des acteurs de la division du travail sont interprétées grâce aux différentes définitions

---

<sup>92</sup> Cette dernière, représentée par Tirole (1988), visait à dépasser les problèmes auxquels l'analyse SCP était confrontée, sur la base des outils fournis par la théorie néoclassique. Son domaine d'analyse repose sur l'organisation des marchés, et essentiellement, son analyse à partir d'hypothèses standards relâchées (concurrence imparfaite, etc.). Arena estime que « *si la MIT caractérise en effet de manière rigoureuse les équilibres marchands que l'on peut prévoir comme résultats des interactions stratégiques des agents, elle ne nous renseigne guère sur la manière dont fonctionnent les marchés* » (Arena, 1999, p. 15).

<sup>93</sup> Il est remarquable de noter que les thèses régulationnistes sectorielles héritent toutes des questions héritées de l'EFEI et maintiennent toutes la question posée par Arena comme clé de lecture de la réalité (Nieddu, 1998 ; Grouiez, 2010 ; Garnier, 2012 ; Gallois, 2012 ; Dervillé, 2012, Debref, 2014, Fruleux, 2015).

des filières (2.2.2.1.). Puis, nous exposons les réflexions en termes de chaînes de valeurs (2.2.2.2.). Enfin, nous proposons d’interpréter les stratégies d’exploration des firmes de la division du travail comme des stratégies de gestion de segments de filières (2.2.2.3.).

2.2.2.1. Ce que nous apprennent les représentations des acteurs sur les filières

Le 09 juin 2015 s’ouvrait le colloque de prospective « colloque Bioéconomie 2020/2050 : Les défis aux filières agricoles, alimentaires et énergétiques » organisé par l’INRA sur la question suivante : « *Comment conduire, dans les prochaines décennies, la transition vers une bioéconomie, à partir de filières anciennes* [agricoles, alimentaire, bois-énergie, forestière] *à revisiter, restructurer ou réorienter et de filières émergentes* [chimie, biotechnologie, matériaux, biocarburants] *à dynamiser et à mieux insérer dans le système économique ?* ». Les acteurs de la chimie doublement verte se posent bien en ces termes de filière, le problème de l’organisation de la production. Il est donc intéressant de se donner à voir la problématisation que réalisent les acteurs lorsqu’in produisent une image de cette organisation en filière qui se veut explicitement performative.

La représentation de la bioraffinerie d’Octave et Thomas [2009] naît à un moment où d’autres formes de problématisation et de mise en images à fins performatives de l’activité économique étaient dominantes : celles des clusters et des systèmes productifs locaux qui trouvent aujourd’hui un relais dans la notion d’écosystèmes d’affaires. Il n’était donc pas évident d’imposer cette représentation verticale de l’espace où la première transformation conduirait à la production de produits agro-industriels, fonctionnalisés et formulés dans une seconde transformation en une variété de produits [alcools, fibres, surfactants, etc.], offerts à des industries en aval [comme les cosmétiques, la métallurgie ou la plasturgie].

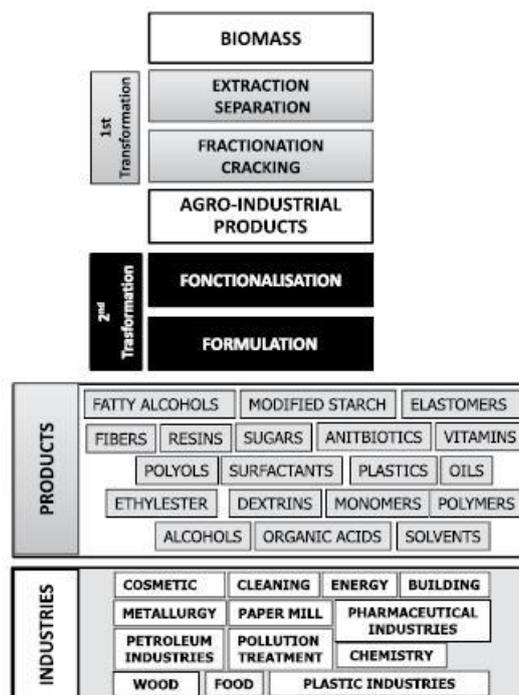


Figure 30 : La représentation d’une bioraffinerie (Octave et Thomas, 2009, p.660)

Comment lire la mise en scène proposée ? Rappelons d'abord que l'article est un de ces exercices de scientifiques qui va au-delà de la recherche pure, pour être des opérations de communication visant un public plus large, et contribuant à rendre d'abord visible, puis légitime et crédible un paradigme productif : celui de la bioraffinerie. Un premier niveau de lecture est celui des promesses technologiques : la biomasse promet ! Elle promet que moyennant un certain nombre d'opérations ordonnées verticalement. On aboutit de celle-ci à un ensemble de produits extrêmement, concernant un grand nombre d'industries. Il s'agit bien sûr de potentiels, même s'il existe des embryons de réalisation dans chacun des domaines indiqués. La deuxième façon de la lire consiste à observer le découpage vertical tel qu'il est proposé. On voit que les étapes de division du travail retenues sont (1) l'entrée de la biomasse dans un outil de production qui assure une première transformation par deux opérations de transformation ; (2) la livraison de produits agroindustriels intermédiaires, notion vitale dans le débat ; (3) La transformation de ces produits — agro-industriels dont on remarquera qu'ils ne sont pas encore fonctionnalisés (c'est-à-dire pas spécialisés sur une fonction) au moment de leur livraison grâce aux deux opérations de transformation, la fonctionnalisation et la formulation.

Les sociologues insistent sur la « naturalisation » des processus techniques au sens où ils sont présentés comme naturels – répondant à des logiques d'efficacité technique évidentes, et donc qu'il est inutile de discuter. Ils invitent à être attentifs aux moments de ces processus de naturalisation. Ici Octave et Thomas font un choix technique particulier, celui de considérer que la biomasse doit être préparée dans une première étape de séparation à l'opération qui rendra accessibles des fractions de la plante à l'opération majeure en raffinerie : le cracking pour obtenir un petit nombre de grands intermédiaires de base capables de générer presque toutes les chimies fines et de spécialités. On aurait pu imaginer que les opérations d'extraction et de cracking en parallèle, car il existe des solutions [extraction – fonctionnalisation] qui ne passent pas par l'étape du cracking et qui ont été documentées de façon précise (Gallezot, 2007, 2010). Certains chercheurs conseillant même de chercher à éviter cette étape coûteuse énergétiquement, et c'est ce qui va fonder le travail des économistes de l'ANr pour cartographier les voies alternatives.

L'intérêt principal du schéma est qu'il propose une forme de division du travail. Il installe le champ de la bioraffinerie comme celui d'acteurs souhaitant livrer un produit à l'identité particulière : le produit agro-industriel intermédiaire doté de versatilité au sens où il pourra être fonctionnalisé. Tout l'enjeu de l'analyse devient celui des conséquences à d'autres niveaux, notamment celui des réseaux qui doivent être formés et des *business models* des firmes porteuses, qu'on évoquera plus loin.

Octave et Thomas proposent un autre schéma porteur pour la construction de la légitimité de la bioraffinerie, celui de l'usage de la plante entière. Celui-ci est la reprise dans le contexte du végétal de l'idée que se font les pétroliers de la valorisation du pétrole : de même qu'il s'agit dans la raffinerie de valoriser toutes les « coupes » de la matière première, la bioraffinerie consomme la plante entière – élément important face aux critiques sur la concurrence alimentaire — non alimentaire.

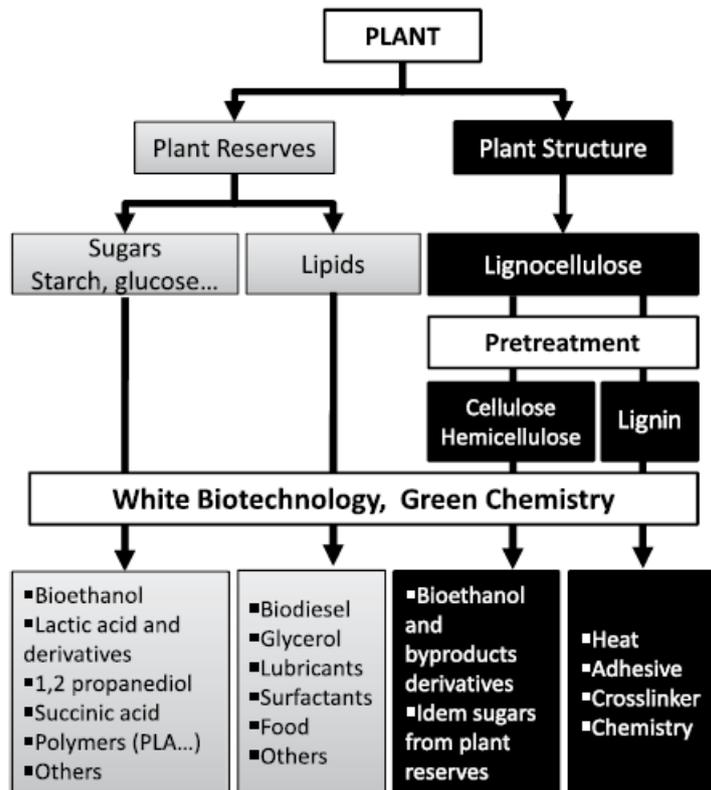


Figure 31 : La représentation de la bioraffinerie de la plante entière (Octave et Thomas, 2009, p.662)

Il existe d'autres représentations, elles aussi ambiguës. Dans celle du Nova Institute, les auteurs introduisent des produits non visibles dans le schéma Octave Thomas (les fibres naturelles obtenues par simple séparation). Mais ils situent bien la bioraffinerie en amont pour la production des briques de base de la chimie. Ils introduisent un élément de coordination : les technologies platforms dont la fonction dans le schéma est de relier les « bouts » de la filière technique.

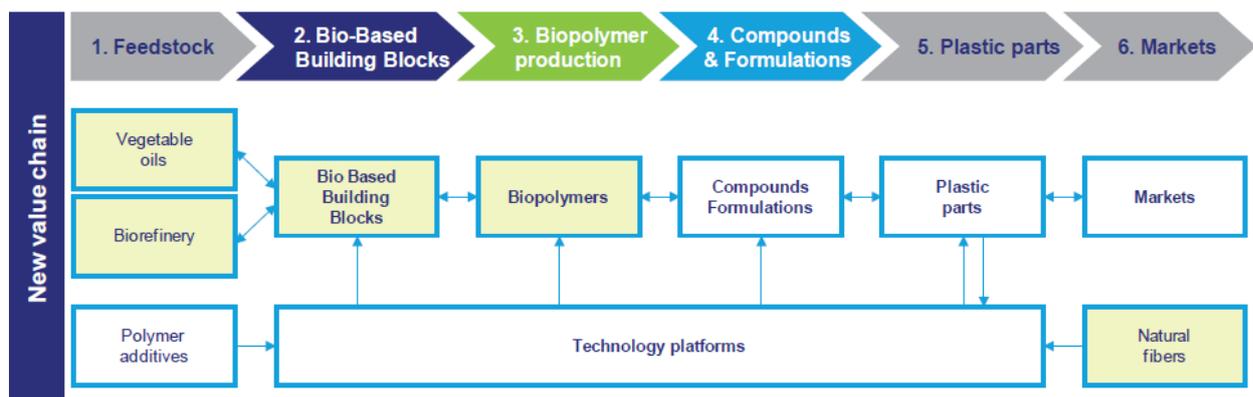


Figure 32 : Une théorisation de la division du travail (Nova-institut, 2013, p.142)

Ce schéma donne à voir une forme de division du travail en tant qu'étapes successives, mais également, un modèle économique de firme qui serait réductible à une plateforme technologique. Cette représentation transcrit directement une autre forme de problématisation que nous avons présentée dans l'introduction générale comme élément central du contexte de la thèse. Cette problématisation vise à identifier les molécules éligibles à la *short list* des molécules susceptibles de reformer toute la chimie fine et de spécialité dans les exercices de prospective américains. (Nieddu et

alii, 2010). Par exemple, le glycérol et ses nombreux débouchés est représenté comme suit par Bozell (2010) :

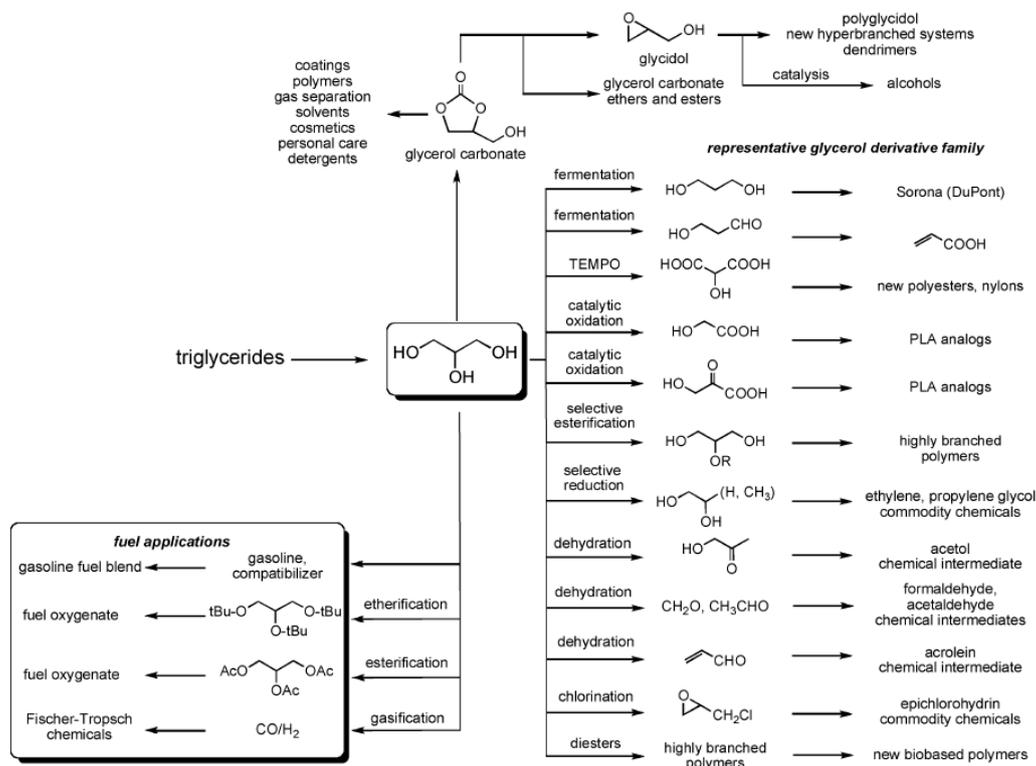


Figure 33 : Le glycérol comme molécule plateforme (Bozell et Petersen, 2010, p.545)

La représentation d'Octave et Thomas illustre une promesse générale de la biomasse. Celle-ci est cette fois déclinée à partir d'un des co-produits fatals des biocarburants : le glycérol, qui devient disponible en abondance du fait de la croissance de ces productions. L'auteur recense tous les couples technologies/produits (en fait les grands intermédiaires bien connus par les chimistes que l'on peut obtenir à partir de Glycerol) permettant de le valoriser : Outre les biocarburants qui apparaissent en bas à gauche du schéma, on retrouve à droite des intermédiaires (1) sur lesquels les firmes communiquent déjà (le Sorona de DuPont<sup>94</sup>) – le schéma envoie implicitement le message de crédibilité de la voie glycérol puisque les firmes sont là), (2) des intermédiaires d'origine pétrochimique habituellement, les acides carboxyliques, l'éthylène qui sont les building blocks de base d'un ensemble d'intermédiaires chimiques (3) des biopolymères qui peuvent être produits par d'autres voies que la voie glycérol, tel que les PLA (4) des intermédiaires « classiques » sur lesquels les grandes firmes de la chimie ont construit leur domination sur des segments de filière (les formaldéhydes, l'acroléine de Degussa ou de Dow Chemical, l'epichloridrine dominée par Solvay).

Cette représentation des promesses apparemment objectives du chimiste qui inventorie toute les voies n'est donc pas anodine dans la façon dont elle s'ordonne. Lorsqu'on sait que la plupart de ces voies se situent dans un univers très concurrentiel, et que certaines des voies « glycerol to product » évoquées ici ne sont prêtes d'être atteintes à des coûts industriels crédibles. On a bien dans ce type de schéma une expression pure de l'économie, non pas de filières structurées, mais de l'économie des

<sup>94</sup> Pour la communication de l'entreprise, voir : <http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/brands/dupont-sorona.html>

promesses. Le schéma ci-dessous, qui part des *process* de base de *cracking* (à gauche) montre (tout aussi implicitement cette hyperconcurrence des voies.

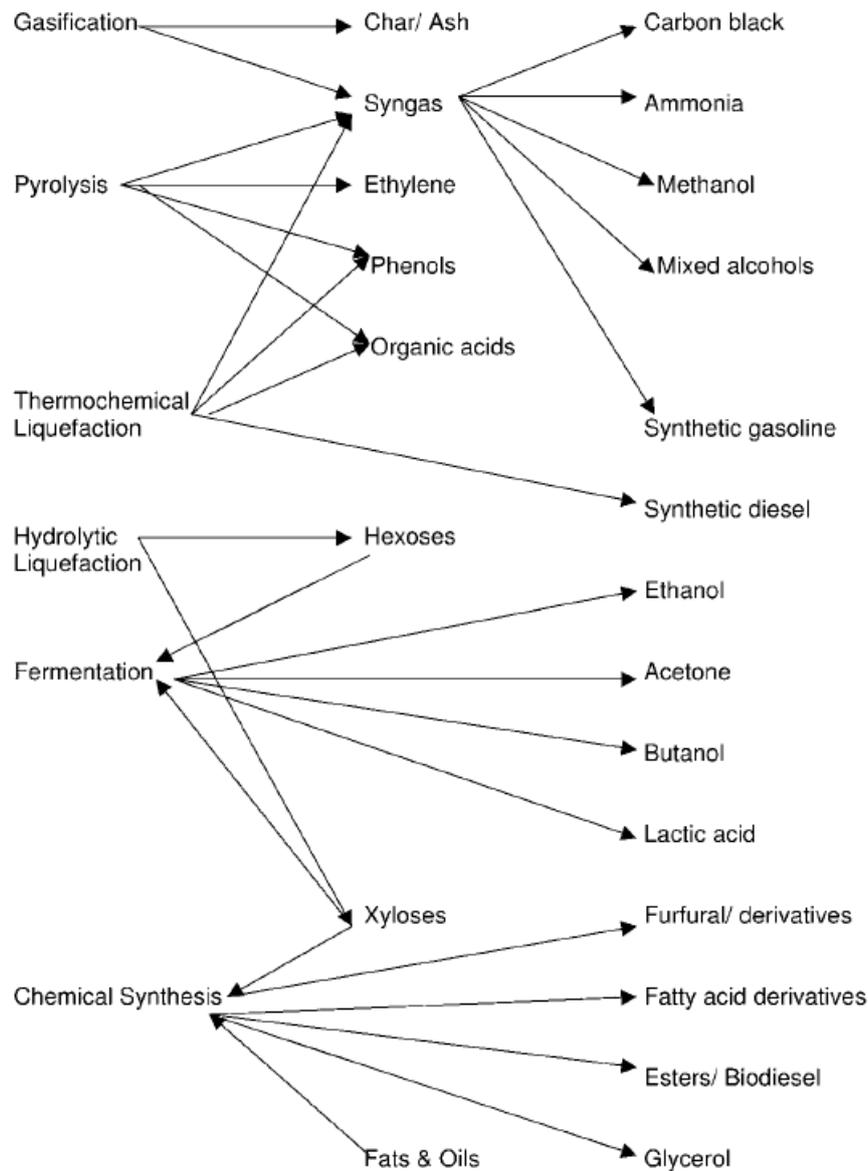


Figure 34 : Un exemple de représentation de filières [technologies/produits] (Clements et Van Dyne, 2006, p.124)

Alors que dans les premières représentations on retrouve une vision « classique » en termes de matières premières et d'étapes successives, cette dernière représentation relève de la filière technique. Enfin, une autre forme de représentation croise ces différentes approches, sur lesquelles on reviendra dans le chapitre 3 :

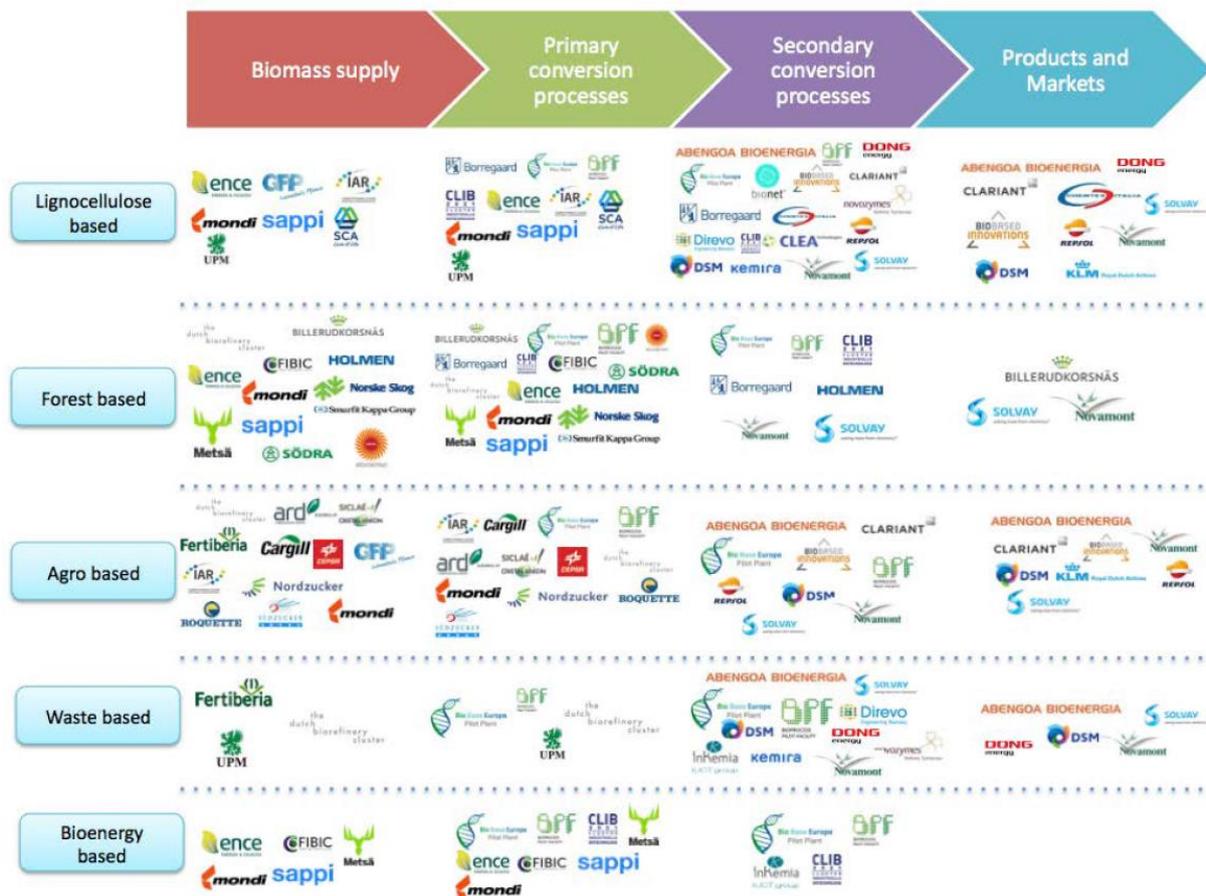


Figure 35 : le croisement des approches par les filières (Luguel, 2013)

Cette dernière approche, issue de la présentation du Partenariat Public Privé européen sur la bioéconomie (cf. chapitre sur la bioéconomie), croise les différentes entrées : les matières premières, les acteurs (qui n'étaient pas présents nommément sur les représentations précédentes), les étapes de production reliées aux matières premières : lignocellulose, forêt, agro (partie en concurrence avec l'alimentaire, wastes) qui génèrent chacune des filières représentées ici. Le schéma isole une filière de l'énergie. Ce PPP vise à regrouper les acteurs qui vont définir la forme de la division du travail, en fonction de ce qu'ils maîtrisent déjà : les sociétés papetières sont présentes sur le modèle « forest based », les grandes firmes des agro-industries sur le modèle « agro based », etc.

On reviendra dans le chapitre 3 sur ce document qui montre comment les acteurs problématisent et structurent une action collective qui dépasse très largement les firmes afin de développer la filière. L'intérêt pour nous de ce schéma est de montrer que les acteurs problématisent bien le champ comme une filière, et qu'ils ont une conscience de leur position dans le champ et des formes de division du travail entre eux : certaines par une spécialisation dans la première transformation (les Cargill, ARD Roquette, par exemple), et d'autres dans la seconde (les chimistes), mais dans un monde devenu commun aux chimistes et aux agro-industries.

Le premier enseignement de cette classification est que dans un espace émergent, les acteurs forment des représentations qui leur permettent de se coordonner. On retrouve ici l'une des quatre acceptations des filières. La filière peut être comprise comme un objectif de politique industrielle qui vise à atteindre une « structure industrielle forte », fondée sur l'organisation de synergies par la

planification. La « politique de filière » implique donc d'identifier les stades de la filière insuffisamment développés pour permettre la synergie. Il y a donc une organisation collective au niveau de la filière. C'est-à-dire que le niveau de la firme n'est pas suffisant, et que la firme est prise dans une dialectique entre le positionnement de la firme et l'organisation collective de la filière. Les acteurs mobilisent donc les filières comme outil de problématisation de la division du travail et de définition de ses formes.

Ainsi, il se pose deux questions. D'une part, il se pose bien le problème de déterminer quel est le système pertinent d'analyse que décrit De Bandt (1991). Cette question est l'autre aspect de la définition par les acteurs des stades « insuffisamment développés », autrement dit, là où ils identifient des *lock-ins*. Nous avons montré dans le chapitre précédent l'enjeu pour les acteurs de définir les verrous qu'ils vont lever et ce sont ces stratégies, et donc les niveaux auxquels se déploient les comportements stratégiques des acteurs (Nieddu, 1998). D'autre part, le problème du niveau d'analyse (ou plus exactement du multiniveau) contient, comme nous l'avons montré dans la section précédente, la question des représentations d'acteurs et ici, de la division du travail. Dans le travail de problématisation que mènent les acteurs, la référence aux « chaînes de valeur » est courante dans tous les entretiens que nous avons pu avoir, que ce soit avec des chimistes de laboratoire ou des acteurs économiques. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes penchés sur ce concept venu dans le langage courant du monde de production de connaissances et d'activités économiques qui nous intéresse.

#### 2.2.2.2. Les approches en termes de « chaînes de valeurs »

Basiquement, la notion de chaîne de valeur renvoie en gestion – chez Porter par exemple – à la somme que les clients sont prêts à payer pour obtenir le produit ou service. Elle résulte de différentes activités réalisées à la suite dans une filière constituée d'un ensemble de « maillons de chaîne » [fournisseurs, firme, circuits de distribution]. Le problème des entreprises est donc (1) d'avoir une place dans une filière, et (2) que cette place corresponde aux activités lui permettant de maximiser sa valeur contributive – ce qui suppose en parallèle de s'organiser pour maximiser la chaîne de valeur interne de ses activités. Le schéma précédent relève de ce double exercice de chaîne de valeur, où les firmes désignent le segment de filière qu'elles vont contribuer à explorer (c'est le schéma d'un projet européen, donc il s'agit bien d'une exploration des valeurs contributives respectives des firmes qui doit s'inscrire dans le schéma global)<sup>95</sup>.

Le concept nous est aussi revenu du monde anglo-saxon sous une autre forme, qui est la relecture de la mondialisation, qui **a connu durant les années 1990 et 2000 un fort intérêt pour l'étude de « chaînes de commodités »** (Durand, 2011 ; Blair, 2009 ; Temple *et alii*, 2009 ; Raikes *et alii*, 2000). Cette approche, portée à l'origine par les théoriciens du système-monde consistait à « *take an ultimate consumable item and trace back the set of inputs that culminated in this item – the prior transformations, the raw materials, the transportation mechanisms, the labor input into each of the material processes, the food inputs into the labor. This linked set of processes we call a commodity chain.* » (Hopkins &

---

<sup>95</sup> Comme les projets européens sont des compromis entre différentes stratégies de firmes, il s'agit ici de la vision dominante : une firme comme Novamont accepte d'être représentée dans le projet européen sous cette forme, dans la case « Products and markets ». En effet, la vision systémique globale et la stratégie de produits qu'elle développe ne correspondent pas à la stratégie de bioraffinerie consistant à réserver la production de premiers intermédiaires à la bioraffinerie, et les seconds intermédiaires à la chimie (cf. pour le modèle Novamont, Nieddu *et alii*, 2013).

Wallerstein, 1977, p.128, cités par Blair, 2009, p.7). Le but de la première génération d'études appartenant à cette approche était l'étude de l'évolution de la division mondiale du travail et de son intégration au sein de chaînes de valeurs. Considérant le lien entre développement du capitalisme et chaînes de valeurs, leur internationalisation est abordée comme constitutif de la dynamique capitaliste. Les chaînes de valeur seraient constituées et constitutives des dynamiques économiques internationales. Par conséquent, les auteurs n'ont pas adopté une approche limitée aux seuls États-Nations.

L'analyse porte sur les relations entre acteurs, mais aussi entre les marchés mondiaux. Ainsi, les tenants de cette approche revendiquent le caractère multiniveau d'un tel cadre. Ce dernier a été approprié par les chercheurs en développement ainsi qu'un certain nombre d'ONG (Durand, 2011 ; Raikes *et alii*, 2000). Cette vision a permis d'ouvrir le champ vers des questions de gestion de la chaîne de valeur et notamment du comportement des firmes. La distinction d'origine reposait sur les « *producer-driven* » et « *buyer-driven chains* » (Blair, 2009 ; Raikes *et alii*, 2000). La représentation donnée par les acteurs est toute entière une façon de raisonner en « *producer-driven* » chain visible dans le caractère très général des cibles de marché qu'ils dessinent, lequel contraste singulièrement avec le niveau de détail auquel ils descendent dans les représentations présentées plus haut sur les produits de base. Il est donc clair de notre point de vue que ce sera une tension à gérer pour eux, que d'aboutir dans une filière en formation à la réalisation de la chaîne de valeur complète.

Si l'on revient à la question centrale des auteurs en *global value chain*, celle de la mondialisation et de la division internationale du travail sur la même chaîne de valeur, le tableau ci-dessous va nous suggérer une interprétation de la réflexion des acteurs.

<b><u>Structure matières premières-produits finis</u></b>	Décrire les étapes de transformation des marchandises
<b><u>Territoire</u></b>	Quelles configurations géographiques ?
<b><u>Structure de gouvernance</u></b>	Quelles firmes « dirigent » la chaîne de valeur et quel est le mode de répartition de la valeur ?
<b><u>Contexte institutionnel</u></b>	« Règles du jeu » organisationnelles et réglant le fonctionnement au sein des chaînes

Figure 36 : Cadre d'analyse des Global Commodity Chains (construit d'après Blair, 2009)

Dans le débat sur la bioraffinerie qui s'est engagé depuis les projets européens explicitement dédiés à l'élaboration collective d'une théorie de la bioraffinerie par les acteurs économiques : Biorefinery Euroview et Biopol (2007-2009) puis Star-Colibri (2009-2011) vont aboutir au **JOINT EUROPEAN BIOREFINERY VISION FOR 2030**<sup>96</sup>. Dans une intervention faite par Daniel Thomas qui était alors président du pôle IAR (11 oct. 2012), celui-ci présentait cette opposition devenue canonique entre bioraffinerie portuaire et bioraffinerie territoriale, reprise en 2014 par son successeur à la tête du pôle IAR, T. Stadler :

<sup>96</sup> [http://www.forestplatform.org/files/Star\\_COLIBRI/Vision\\_document\\_FINAL.pdf](http://www.forestplatform.org/files/Star_COLIBRI/Vision_document_FINAL.pdf)

# MODELES DE BIORAFFINERIE

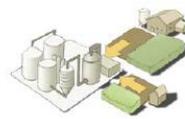
Approvisionnement en biomasse: portuaire (import de biomasse ou intermédiaire) ou rurale (production locale) ?



Bioraffineries dans les ports



Ex: Ghent Bio-Energy Valley, BE



Bioraffineries territoriales



Ex: Les Sohettes, F

© CC



10

Figure 37 : Les deux modèles de bioraffinerie (d'après Stadler, 2014)

Celle-ci renvoie à deux problématisations de l'avenir de la bioraffinerie : la première est ancrée dans une *global value chain* mondiale, où, sur le modèle pétrolier, les ressources en biomasse arrivent du monde entier pour être transformées (huile de palme de Malaisie, éthanol brésilien, etc.) ; la seconde est destinée montrer qu'il est possible d'ancrer la bioraffinerie sur des territoires (une *local value chain* en quelque sorte) – probablement pour illustrer la nécessité des soutiens politiques à la seconde.

Conclusion : la filière comme travail de problématisation des firmes

Le paysage que nous avons dessiné, celui de firmes qui s'allient pour construire une vision globale de la façon dont elles peuvent construire ensemble de chaînes de valeurs, et sur laquelle elles mobilisent l'acteur public renvoie à une conception particulière de la firme développée par à l'origine par Coriat et Weinstein (1995), puis par Biondi *et alii* (2007) lorsqu'ils réalisent une importante synthèse des théories de la firme : celle-ci est traversée par trois types de dynamiques : « les dynamiques épistémiques » (relatives à la nature des apprentissages, et des processus d'information), les dynamiques organisationnelles (visant à clore dans un ensemble cohérent les technologies et les ressources) et les dynamiques institutionnelles (visant la mise en cohérence des normes et règles en usage). » (Nieddu, 2008, n.p.). Ce sont ces trois éléments que l'on retrouve, notamment dans la vision pour le futur de Star Colibri.

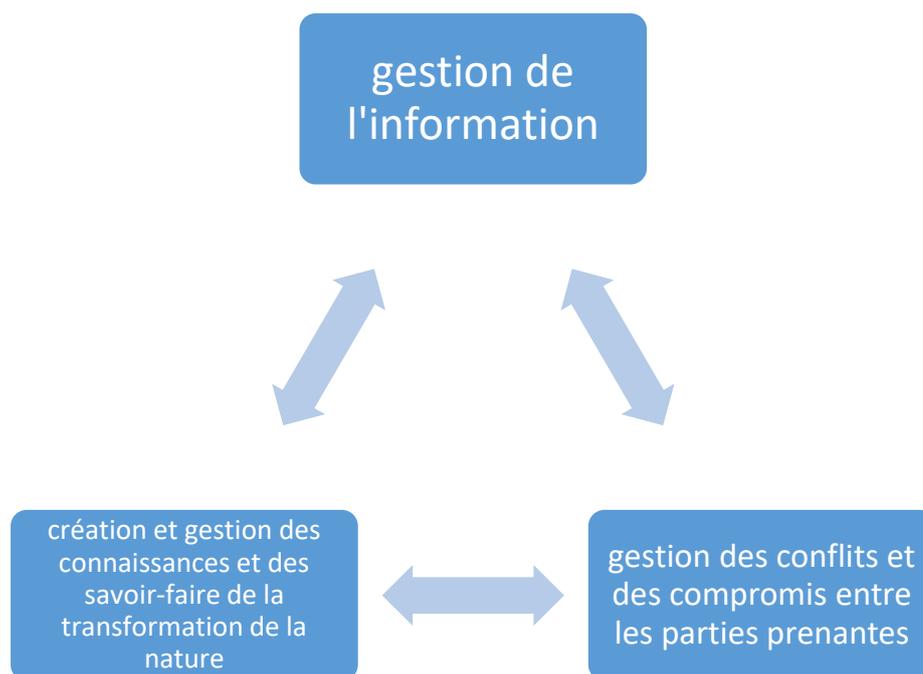


Figure 38 : la représentation de la firme comme espace de gestion de trois ordres de tensions

### 2.2.3. L'approche par les modèles économiques

On va d'abord présenter l'approche avant d'en voir la mobilisation par les acteurs du champ par nous étudié, et la lecture qu'en font les économistes.

Cette approche par les modèles économiques a été traitée par les régulationnistes dans les travaux sur les compromis de gouvernements d'entreprises, pour montrer que dans le même secteur, des firmes pouvaient aboutir à couples produit-marché différents – voire que coexistent au sein d'une firme plusieurs modèles – qui présentent le risque de se concurrencer –, d'où la notion de compromis, qu'illustre le développement de la Logan dans l'univers de Renault (Jullien *et alii*, 2012) – cette situation est observable également dans notre domaine de façon significative. Mais l'approche à laquelle se réfèrent les acteurs – même si l'économiste peut lire leurs comportements à partir de la notion régulationniste, mieux que par celle-ci – est celle des *business models*, notion qui est venue s'imposer dans le monde de la recherche, par l'observation des praticiens et non l'inverse. Dans ce monde des praticiens, et c'est ce qui explique tout l'intérêt porté par acteurs du champ que nous étudions, les acteurs travaillent à des nouveautés qui sont des bouts de technologies. Le défi pour eux est de transformer ces bouts de technologies en produits destinés à des marchés. Par exemple un algorithme dans le monde de l'internet doit être transformé en une application « *bankable* ». Les chimistes confrontés à la forêt de l'hyperconcurrence des matières premières et des voies de transformations possibles, sont face au même défi.

### 2.2.3.1. Business models et niches technologiques

Les « *business models* » ou les « modèles d'affaires » sont définis comme « *l'articulation d'une proposition de valeur qui décrit les clients de l'entreprise et les produits et/ou services qu'elle leur propose, d'une architecture de valeur qui comprend la chaîne de valeur interne et externe et d'une équation de profit qui traduit financièrement le modèle d'affaires résultant des deux composantes précédentes.* » (Lambert et Schaeffer, 2014, p.62). Ce cadre d'analyse peut être mobilisé de deux façons (Lambert et Schaeffer, *Ibid.*). D'une part, il peut s'agir de décrire l'articulation cohérente des trois dimensions qui composent le modèle d'affaires (proposition de valeur, architecture de valeur, équation de profit). D'autre part, ce cadre peut être utilisé pour décrire les changements organisationnels liés à des dynamiques d'innovation. Ces deux usages recourent ceux que nous avons décrits à propos des modèles productifs : un outil de description de modèles stabilisés, mais également une analyse de la transformation des configurations internes et externes des firmes en lien avec leur environnement. En ce sens, Demil et Lecoq (2008) considèrent qu'il s'agit d'« *une convention qu'un porteur de projets se doit d'intégrer dans sa démarche et dans son travail de conviction auprès des parties prenantes de son projet* » (*Ibid.*, p.121)<sup>97</sup>. Le modèle économique d'une firme doit donc organiser les relations entre les « parties prenantes » (clients, fournisseurs, salariés et financeurs) autour de la définition d'une proposition de valeur.

Ceci nous permet de comprendre les modèles d'affaires comme un outil de gestion qui vise à organiser un projet productif et l'allocation de ressources nécessaires à au moins engager la firme (ou sa division) sur ce projet et par retour, à étudier les transformations liées à l'émergence de ces nouveaux projets productifs : « *l'aménagement de nouveaux espaces d'expérimentation, à la fois interne au cœur de l'organisation comme en externe par l'intermédiaire de nouveaux partenariats, constitue des mutations de l'architecture de valeur qui semblent être une source essentielle de la dynamique des modèles d'affaires.* » (Lambert et Schaeffer, *op. cit.*, p.62). Cette définition renvoie à l'idée qu'il se joue une question d'identité de produit dans la définition des modèles d'affaires : « *outre sa dimension technologique, l'innovation stratégique se caractérise par la construction d'un modèle d'affaires où les règles du jeu sont changées et la nature de la compétition réinventée* » (*Ibid.*, p.62). Si l'on se réfère à l'approche par les « mondes de production » de Salais et Storper (1993), la performance de l'innovation est évaluée sur la base de critères dépendant de la logique interne du modèle d'affaires (Nieddu, 1998).

La dynamique de constitution de ces mondes de production appelle donc à s'intéresser aux choix des espaces d'expérimentation des acteurs et à la façon dont s'organise la formation de ces espaces en interne et en externe. Ces espaces d'expérimentation renvoient directement à la notion de niches technologiques : « *niches are important, because they provide locations for learning processes, e. g. about technical specifications, user preferences, public policies, symbolic meanings. (...) In niches not all rules have yet crystallised. There may be substantial uncertainty about the best design heuristics, user preferences, behavioural patterns, public policies etc. There may also be uncertainty about the social*

---

<sup>97</sup> La notion de « modèles économiques » est polysémique. Les notions de « modèle économiques » ou de « modèles d'affaires » traduisent la notion de *business model*, développée en sciences de gestion (traduite comme « modèles d'affaires numéro 146 de la Revue d'Economie Industrielle). Nous utilisons l'expression « *business model* » quand il est question de l'entreprise au sens strict et « modèle économique » quand l'entreprise essaie d'influencer le modèle global de l'industrie.

*network. The network of experimental projects is often contingent. Some actors participate in this project, but not in another.* » (Geels, 2004, p.913). Ainsi, la stabilisation des espaces que constituent les niches est un enjeu pour les acteurs, ce qu'il convient donc d'élucider empiriquement.

La constitution de ces espaces peut donc être interprétée comme la dynamique qui conduit à la définition d'un modèle d'action par les acteurs. Ceci permet également d'affiner le positionnement des concepts de modèles productifs et de modèles d'affaires l'un par rapport à l'autre : les modèles productifs désignent des modèles d'affaires macro-sectoriels alors que les modèles d'affaires désignent avant tout l'élaboration par la firme de la façon dont elle va capter la production de valeur. Dans leur étude sur les synchrotrons, Avadikyan *et alii* (2014) identifient trois conflits ou tensions que le modèle d'affaires permet de stabiliser :

- 1) la tension entre la nécessaire production de nouveauté et l'exploitation des « savoir-faire acquis »,
- 2) la nécessaire différenciation qui suppose que le produit soit reconnu, et donc que son identité soit constituée,
- 3) la mise en place de collaborations qui implique la gestion de la tension entre la gestion de la propriété privée et l'établissement de ressources partagées.

Ceci va nous permettre de montrer comment les dynamiques non marchandes entre firmes participent à structurer des espaces de régulation. Les modèles d'affaires permettent donc de relier les firmes aux structures qu'elles participent à construire, comme des niches par exemple. L'enjeu du développement de l'insertion dans une niche – qui peut être un « écosystème » si l'on reprend les termes d'Attour et Burger-Helmchen (2014) – est de réussir à s'insérer dans les chaînes de valeur qui constituent l'espace, mais également, à former des compromis internes et externes autour de l'identité de produits à venir.

Il s'agit de déterminer le couple « produit/marché » pertinent, c'est-à-dire qui permet de relier le patrimoine productif de la firme à des chaînes de valeur existantes ou à créer<sup>98</sup>. Ainsi, Teece (2010) écrit : « *the notion refers in the first instance to a conceptual, rather than a financial, model of a business. It makes implicit assumptions about customers, the behavior of revenues and costs, the changing nature of user needs, and likely competitor responses. It outlines the business logic required to earn a profit (if one is available to be earned) and, once adopted, defines the way the entreprise 'goes to market'* » (Teece, 2010, p.174). Il s'agit donc bien de développer l'identité du produit et de déterminer à qui il va être offert et de pouvoir répondre aux questions suivantes : comment le produire ? Comment l'utiliser ? Quelles sont ses fonctionnalités ?

---

<sup>98</sup> Dans une problématique de substitution des matières fossiles, il est fondamental de considérer les deux types de chaînes de valeur dans l'analyse. Du point de vue, des firmes, il s'agit d'identifier les opportunités qui peuvent être exploitées ; du point de vue de l'économiste, ceci permet à la fois d'identifier les « écrans de fumée » déployés par les firmes – au sens de Dumez et Jeunemaître (2005) –, mais également d'identifier des stratégies hétérogènes.

### 2.2.3.2. Les BM de la chimie doublement verte

Le schéma qui suit est issu des discussions de l'ANR AEPRC2V dans un focus group animé par les économistes et regroupant des acteurs économiques et scientifiques (chimistes et biochimistes). Il est donc particulièrement redevable à la synthèse finale proposée par Nieddu (2014) lors du colloque final de l'ANR et au *working paper* de Hernandez *et alii* (2014). Dans divers entretiens, notamment, lors de colloques de professionnels où nous (l'équipe de l'ANR) avons rencontré des chefs d'entreprises de différentes natures, ont été systématiquement relevés les discours portant sur les *business models*, pour arriver à cette synthèse. Le cœur de la cartographie des modèles d'affaires porte de fait sur cette partie des régimes de production de connaissances et d'activités économiques que sont les régularités observables dans la façon dont les acteurs structurent, non le passage de la connaissance dans des activités économiques, mais la configuration d'exploration d'activités qui contient elle-même une stratégie d'exploration des connaissances qui peut être un effet de retour de la façon dont les acteurs pensent leur activité économique. Le résultat obtenu et décrit ci-dessous n'est donc pas celui que décrivent les acteurs spontanément, mais une synthèse de leurs visions construite par le chercheur – néanmoins, dans les restitutions faites par Nieddu à ces acteurs économiques lors du colloque de restitution de l'ANR ou à d'autres occasions (2015, 2016), ceux-ci se reconnaissaient spontanément dans le schéma proposé.

Notre présentation des *business model* et le lien que nous avons fait avec l'approche par les niches visaient à bien situer la notion de *business model* comme une proposition, comme une promesse qui doit trouver une traduction organisationnelle. La question est donc de savoir comment les acteurs gèrent l'économie des promesses à partir de leurs positions dans le champ. Ceci a amené les auteurs du schéma à opérer une première partition entre acteurs déjà présents dans les deux sphères constitutives du champ (les agro-industries et la chimie) et nouveaux entrants (des firmes qui à partir de recherches scientifiques et technologiques se proposent d'agir dans le champ, et qui souvent se sont constituées par partir de la recherche publique ou de *spin-off* des premières). Le schéma ci-dessous illustre cette partition, et nous le commentons ensuite.

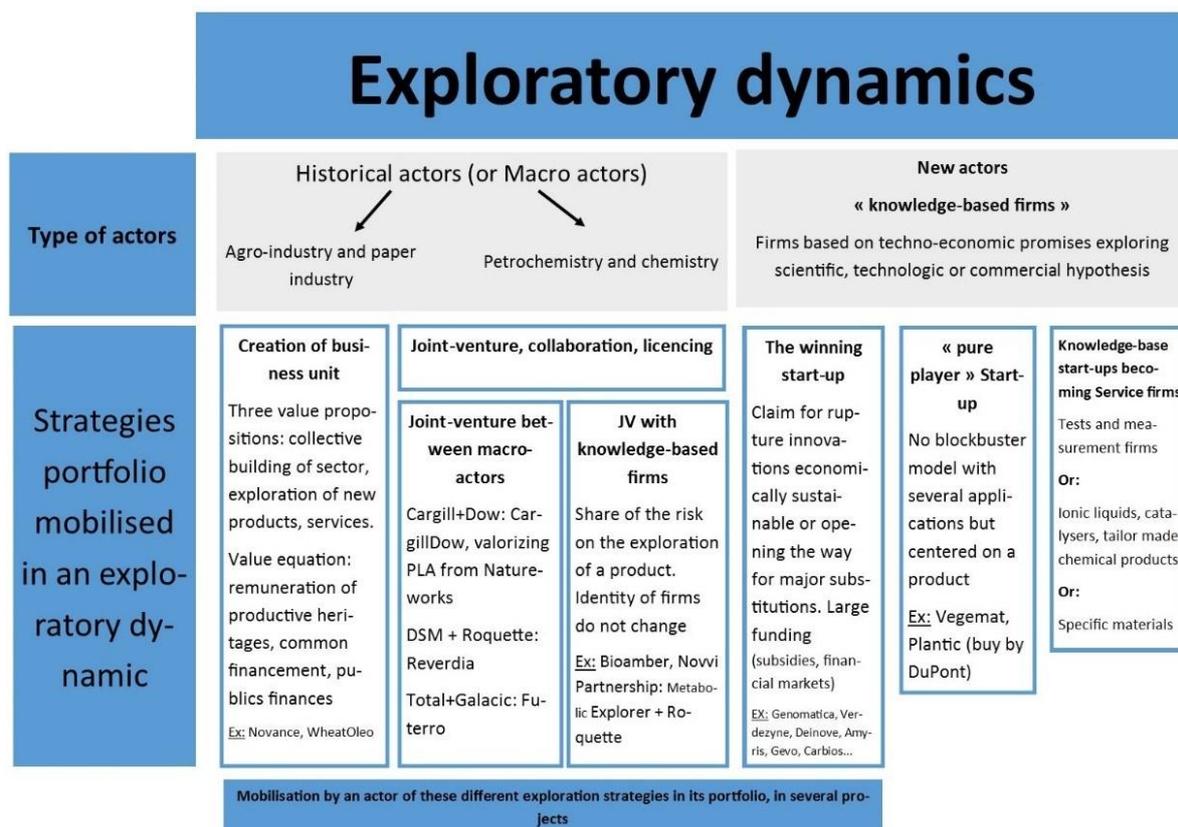


Figure 39 : La diversité des dynamiques d'exploration des BM de la chimie doublement verte (Schéma réalisé par Nieddu et Garnier reproduit dans Hernandez *et alii*, 2014, p.25)

L'appellation « macro-acteurs » renvoie ici non seulement à la taille des entreprises, mais au fait que ces entreprises ne se contentent pas de faire du business d'entreprise. Mais elles se posent la question de la problématisation du champ ; elles sont actives dans la réflexion stratégique sur la structuration du champ en agissant politiquement sur les agendas nationaux de recherche, nationaux et européens – par exemple le Partenariat Public Privé Biobased Industries dont on a présenté une image plus haut et sur lequel on reviendra dans le chapitre 3 est le fruit de ce travail engagé auprès de la Commission. Comment ces acteurs gèrent-ils la contradiction entre exploration et exploitation inhérente à l'économie des promesses<sup>99</sup> ?

Il est alors nécessaire d'introduire le deuxième type d'acteurs, les firmes fondées sur la science. Les auteurs ont séparé en deux types de *business models* les comportements de ces acteurs – sachant que nous avons pu nous même observer que si certains suivent le modèle pur, d'autres oscillent entre les deux modèles et peuvent avancer dans leur portefeuille sur un produit un *business model* d'un type, et sur l'autre un *business model* d'un autre type, souvent d'ailleurs en fonction des crises sur la promesse contenue dans le produit : nous avons traité cela sur le cas Metabolic Explorer dans Béfart & Nieddu (2016, à paraître). Ces deux modèles d'action sont (1) d'une part, la stratégie qualifiée « pure

<sup>99</sup> Rappelons ici que notre problématique est celle de la mise en évidence d'une régulation du changement. La régulation étant une régulation de contradictions. Retrouver des régularités qui se cristallisent dans des régimes de production de connaissances et d'activités économiques, à travers l'observation d'un mode qui apparaît comme particulièrement instable – comme le disaient Jullien et Smith (2012) cités plus haut –, avec le jeu permanent d'annonces de joint-ventures entre acteurs hier opposés, de percées de recherche annoncées comme décisives dans les communiqués de presse, est donc l'objet de ce travail.

player » au sens d'une entreprise ayant choisi de développer le passage de la recherche à un produit sur une seule ligne (par exemple Végéplast a mis au point un process thermomoulé qu'elle cherche à porter au stade de produits) ; (2) d'autre part, la stratégie que les auteurs ont appelée de la « start-up victorieuse » (ou du moins qui se présente comme telle), c'est-à-dire une firme qui a créé une réaction lui permettant de revendiquer une innovation de rupture. Celle-ci est donc particulièrement attachée à la propriété intellectuelle qui lui permettrait de faire industrialiser par d'autres. Le discours de l'économie des promesses est donc particulièrement important pour elle, car c'est l'outil de levée de fonds – Global BioEnergie dont a consulté le bilan annonçait un chiffre d'affaires en baisse de moitié, à 500 000 euros avant de lever 24 millions d'euros de fonds privés et d'investissements d'avenir, s'il faut illustrer le fait que l'économie des promesses n'est pas qu'anecdotique.

Les macro-acteurs mobilisent deux types de stratégies : la création de *business unit* et la formation de *joint-venture* (une coentreprise) ou de façon plus lâche d'accords de codéveloppement – lesquels prouvent que les entreprises ne peuvent sans collaborer avancer vers des solutions productives. La création de nouvelles filiales vise à la fois à proposer d'ériger les dispositifs institutionnels sectoriels, illustrés par le développement de nouveaux produits. La seconde stratégie consiste en la formation d'accords de coentreprises ou avec des firmes de la connaissance – souvent issues des biotechnologies.

Ceci amène Nieddu à lire en termes de contradictions à gérer et donc en termes de régulation les régularités observables dans le changement du point de vue des formes organisationnelles que les acteurs mettent en avant. Ces deux contradictions sont entre explorer et exploiter d'un part, et entre s'approprier et développer d'autre part (dans un monde où les technologies étant combinatoires cumulatives et complémentaires, il est difficile qu'un acteur maîtrise pour les éléments nécessaires pour porter à réalité un produit). Il distingue trois régimes de ce point de vue, qui s'interpénètrent et son en tensions, mais qu'il convient de séparer analytiquement. Il appelle le premier « économie des apprentissages », car elle relie des macro-acteurs entre eux (combiner des savoirs en résolvant la question de l'appropriation), et des macro-acteurs aux firmes fondées sur la science (qui prennent à leur charge une grande partie du risque d'exploration)<sup>100</sup>. Il appelle « économie des promesses » la stratégie consistant à chercher à construire une promesse pour chercher à agglomérer autour d'elle des entreprises adoptant le nouveau process ou produit intermédiaire – avec plus ou moins de succès, les firmes clientes potentielles n'adhérant pas au modèle de licences régionales proposées, et l'on se retrouve dans la même situation que celle décrite dans le chapitre 1 sur les biopolymères. Il appelle économie de la production, le monde des *business unit* ou des *pure players* qui cherchent à mettre au point l'outil de production sur des produits identifiés.

---

<sup>100</sup> Les acteurs économiques ont théorisé cette « économie des apprentissages » et lui ont donné une traduction organisationnelle avec les « plateformes d'innovation ouverte ». On reviendra sur la plus emblématique d'entre elles en France, celle de Pomacle Bazancourt, portée par les coopératives agricoles et leur bras armé pour l'exploration, la société ARD.

Un autre exemple champardennais, s'il faut fournir un autre exemple concret de patrimoine productif collectif dédié à l'économie des apprentissages, est Fibres Recherche Développement (FRD) issue de la collaboration entre des producteurs de fibres d'origine végétale qui devait initialement être un outil de recherche industrielle et qui, désormais, fonde son modèle d'affaires sur l'élaboration du compromis de produits entre des firmes demandeuses de fonctionnalités particulières dans leurs produits (la légèreté dans l'automobile par exemple) et des firmes offrant des produits pouvant disposer de ces fonctionnalités (cf. sur le site de FDR et le PowerPoint de Bono et Day, 2016).

On peut alors récapituler le résultat de cette sous-section de la façon suivante, en termes de régulation du changement : les acteurs théorisent leur place dans le champ, ce qui produit des régularités dans le changement, produites par leurs comportements d'exploration du futur ; et ce ne sont pas les mêmes connaissances qu'ils explorent selon le type d'économie dans lequel ils se situent (ou vers lequel ils se déplacent). On pourrait considérer les trois économies comme trois stades ce n'est qu'en partie vrai ; mais, d'une part il faut bien faire l'analyse économique de l'engagement dans une de ces trois économies (qui nécessite à chaque fois analyse stratégique, engagement de capitaux, achats d'outils techniques, etc.). Et d'autre part, selon le type d'économie dans laquelle les acteurs sont engagés ils ne font pas le type de recherche, et mobilisent pas la recherche de la même façon, et ne génèrent pas les mêmes connaissances : il faut donc bien les envisager comme trois façons de chercher à tenir les contradictions évoquées plus haut, et donc comme trois régimes de production d'activités et de connaissances à part entière.

Régimes de production de connaissances et d'activités économiques	
Composante organisationnelle	Dans quel type d'économie se situent les acteurs ?
Composante technologique	Dans quel héritage technologique se situent les acteurs ?

Figure 40 : les deux dimensions des régimes de production de connaissances et d'activités économiques

## Conclusion du chapitre et de la partie

Le chapitre premier avait permis de montrer qu'il était nécessaire de se poser la question de l'espace dans lequel se déploie l'action des acteurs pour étudier leur comportement réel. Pour cela, il est nécessaire de se doter d'un outil qui permette d'étudier le changement en train de se faire. Pour cela, une telle approche doit tenir compte de trois contraintes (Chanteau *et alii*, 2016) : rendre compte et caractériser ce que sont des régularités, de la diversité des dispositifs institutionnels et de leur rôle dans la formation de ces régularités, rendre compte des chronologies multiples liées au fait que des acteurs situés sont pris dans des structures elles-mêmes dotées d'une histoire qui leur est propre. Une telle méthode devrait tenir compte du fait que les champs ne sont pas uniques ni stabilisés définitivement, mais le résultat d'un processus de différenciation. Ce processus laisse alors place à l'existence d'une pluralité de compromis. Ces quatre résultats ont constitué des enjeux traités dans ce deuxième chapitre. Nous avons considéré en introduction que les travaux mésoéconomiques sont relativement bien balisés (*cf.* Grouiez *et alii*, 2015), c'est pourquoi, nous avons proposé une réflexion autour de l'identification des outils intermédiaires à même de traiter les enjeux d'une recherche méso. Nous revenons ici sur les outils exposés dans cette première partie autour des questions de régulation du changement et d'espaces de régulation. Puis nous exposons les opérations de recherche que nous sommes conduits à mener dans les parties 2 et 3 de cette thèse.

### Espaces mésoéconomiques et régulation du changement

La première section est partie du fait que la perspective mésoéconomique s'extrait de la séquence [micro – méso – macro] et relèverait plutôt de la notion de champs bourdieusien. Elle offre un point de vue considérant ici les champs comme des espaces économiques dans lesquels un nombre limité d'acteurs déploie son action économique est le résultat d'une différenciation dans le continuum social (Lordon, 1999) et caractérisé par des dynamiques multiniveaux, allant potentiellement du laboratoire ou de l'intérieur de la firme jusqu'aux structures macrosociales (Nieddu *et alii*, 2014) en vue de rendre compte des comportements stratégiques des acteurs. Ils prennent place dans ce qu'Allaire (2002) qualifie d'espaces de régulation, qui peuvent être caractérisés par l'articulation d'un ordre institutionnel et d'une structure productive, adossés à des systèmes complexes de ressources contestés et enjeux de lutte par les acteurs, car, de leur point de vue – c'est-à-dire la façon dont les acteurs se figurent l'espace –, est l'espace pertinent pour leur action.

Ces espaces, quand ils sont travaillés en approches régulationnistes ou dans la *transition management*, ne sont pas figés : le contrôle de leur fonctionnement est un enjeu d'action pour les acteurs qui engagent ainsi la régulation du changement. Par exemple, Nieddu (1998) montre que le choix de l'agriculture industrielle est le résultat de la formation d'un régime dominant par des acteurs installés qui ont réussi à structurer le champ par l'imposition de normes sur la définition des produits et d'accès à la profession d'agriculteur. Pourtant, ce régime n'est pas devenu un régime unique comme en témoigne la subsistance d'un régime d'agriculture de qualité (les AOC). Cet exemple permet d'illustrer le fait que les acteurs cherchent à contrôler le fonctionnement de l'espace de régulation, ce pour quoi ils investissent la production de dispositifs complexes. Ainsi, la relecture du *transition management* a permis de montrer que l'investissement dans la définition du champ passe également

par des exercices de *backcasting*<sup>101</sup> qui visent à produire une représentation, partagée par une communauté, de comment devrait être organisée la structure productive. Comme nous le montre le cas de l'agriculture, la formation des représentations illustre l'*illusio* de champ des acteurs qui considèrent que la façon dont ils définissent les frontières de l'espace est le lieu pertinent pour y déployer leur action. Cependant, cela ne veut pas dire que cela couvre l'ensemble de l'espace économique formé par des représentations concurrentes.

Par conséquent, il y a un enjeu analytique à être à même de décrire les boucles de rétroactions entre les différents niveaux de l'espace (la firme, les réseaux d'acteurs, etc.) qui vont être mobilisés dans la formation des représentations et l'engagement de ressources dans l'espace. Jullien et Smith s'emparent de ce problème pour les acteurs en le traitant en termes d'identité : l'enjeu même pour les acteurs est de réussir à maintenir la définition de ce qu'ils sont, c'est-à-dire leur légitimité à exister dans cet espace. La régulation du changement de ces espaces doit alors être traitée comme l'évolution et la transformation d'identités productives. Nieddu (2006) nous rappelle que ces identités passent par des patrimoines productifs collectifs qui mettent en rapport l'héritage des communautés d'acteurs avec leur futur en tant qu'elles guident la formation de leurs représentations du futur. En tant que « ressources identitaires » ces patrimoines doivent être préservés. C'est le fait que les ressources engagées définissent ce que sont les acteurs, avant ce qu'ils possèdent, qui va justifier pour eux le fait de former des promesses sur des verrous technologiques et maintenir ces promesses dans le temps. En ce sens, si l'on suit Barrère (var. ref.), la régulation du changement est bien la façon dont les acteurs vont chercher à orienter le changement par et vers ce qu'ils cherchent à préserver.

### Rendre compte des dynamiques en train de se faire

En vue de rendre compte de la variété des espaces de régulation, il est possible de chercher à identifier des dispositifs institutionnels, mais également, de repérer des logiques de production, d'échange et de consommation (des régimes économiques de fonctionnement) spécifiques à l'espace étudié. L'étude dynamique des dispositifs institutionnels part du principe qu'ils sont le résultat d'une intentionnalité visant à orienter le changement. Les travaux institutionnalistes des années 1990 et jusqu'au début des années 2000 ont permis de réinstaller l'idée que les institutions comptent et structurent les comportements d'acteurs. Dès lors, en dynamique, il est possible de considérer la définition des institutions comme des enjeux pour les acteurs en vue d'imposer des normes. Cependant, l'économiste doit prêter attention au fait qu'il n'est pas évident que les dispositifs institutionnels orientent effectivement le changement dans la direction voulue par les acteurs. Par ailleurs, il est nécessaire de prêter attention au fait, dans l'analyse, que ces dispositifs peuvent organiser des régularités dans le changement, sans pour autant stabiliser le fonctionnement de l'espace (Gallois, 2012).

Ces dispositifs doivent alors être reliés aux régularités que les acteurs essaient d'installer et qui orientent le changement, mais également à l'instabilité liée à la régulation comme reproduction de contradictions. Cela signifie que des groupes d'acteurs sont en permanence en opposition, car 1) ils réinterrogent en permanence ces régularités (Jullien et Smith, 2012) et 2) sont soumis à la contrainte de la justification de leur légitimité à être présents dans le champ (Bourdieu, 1997 ; Joly, 2010). Ainsi,

---

<sup>101</sup> Nous ne sous-entendons pas ici qu'il y a eu ces exercices de *backcasting* ont été menés dans le cas de l'agriculture.

leurs rencontres se cristallisent autour de quelques artefacts (la bioraffinerie, les frontières de l'espace, etc.) dans lequel sont projetées les visions du futur. Ces visions portent sur la promesse d'inscrire tel ou tel produit dans le champ, de lever des verrous technologiques, etc. et donc d'installer des logiques de production, d'échange et de consommation permettant la reproduction des acteurs. Ainsi, la notion de régimes de production de connaissances et d'activités économiques rend compte de deux dimensions qui permettent d'étudier les comportements des acteurs. D'une part, ces régimes rendent compte des choix organisationnels des acteurs en termes d'engagement de ressources dans des promesses, des apprentissages ou le développement de la production. D'autre part, cette notion porte sur l'exploration des choix technologiques des acteurs. Il s'agit de rendre compte des choix technologiques (*cf.* les résultats du chapitre 1) dans leurs ancrages dans des patrimoines productifs collectifs.

Cette manière d'étudier la problématisation de l'espace de régulation laisse une grande place, dans la production de la connaissance des faits étudiés (en tant que faits et pour ce qu'ils nous apprennent) par le chercheur, au rôle des théorisations que font les acteurs à partir des outils des économistes (chaînes de valeurs, etc.). Nous avons montré dans la deuxième partie de la deuxième section que les acteurs se saisissent des catégories de fonctionnalités, de filières et chaînes de valeurs et de *business models* pour construire collectivement des représentations du fonctionnement. Assez curieusement, ce point est assez peu développé dans l'étude des problématizations par Jullien et Smith. L'intérêt de cette démarche est de repérer dans un premier temps les formes prises par les coordinations, puis dans un deuxième temps, de passer au-delà des écrans de fumée développés par les firmes pour masquer leurs actions (Dumez et Jeunemaître, 2005) et identifier les dynamiques de production de connaissances (sur l'espace économique et d'innovation) et d'engagement dans des ressources matérielles. Tout au long des études de cas, nous allons donc mobiliser les concepts de fonctionnalités, de filières et de modèles économiques pour réussir à saisir comment les acteurs par leurs théorisations dans le *backcasting* et dans leurs engagements de ressources matérielles

### Trois visions des espaces de régulation pour guider l'analyse

Notre proposition d'étude de la régulation des espaces économiques relève alors d'un structuralisme constructiviste au sens que Bourdieu (1987) lui donne<sup>102</sup>. Cette démarche cherche, dans un premier temps, à identifier les structures, indépendantes de la volonté des agents, et à même d'orienter leurs actions et leurs représentations. La deuxième étape considère que ces structures sociales sont le résultat d'une genèse sociale à partir des représentations des acteurs. Partant de là, l'outillage décrit dans cette partie porte une vision en trois dimensions de l'analyse mésoéconomique, qui si elles décrivent une même réalité, peuvent être séparées pour des facilités d'analyse. Ceci correspond donc à la vision d'Allaire (2002) qui considère qu'un espace économique peut être décrit comme la conjonction entre un ordre institutionnel et une structure productive, dont il n'est pas assuré que l'un et l'autre soient uniques et stabilisés, et reliés harmonieusement l'un à l'autre.

Ceci nous amène à la deuxième dimension de notre analyse qui vise à considérer l'espace de régulation dans la contestation de ses frontières et de son fonctionnement par une variété d'acteurs

---

<sup>102</sup> Cette méthode nous semble être implicitement ou explicitement celle que mobilisent les auteurs régulationnistes quand ils travaillent à la fois sur le rôle des institutions et les comportements stratégiques des acteurs.

qui s'affrontent et se le représentent de manière hétérogène. C'est-à-dire que dans cette dimension, il est considéré que l'espace de régulation, en tant que champ économique, est constitué par les relations objectives de conflit et de coopération entre les acteurs. Par conséquent, décrire la formation d'un espace de régulation se réalise à partir de l'identification de la production de visions du fonctionnement de l'espace. Cette approche sera suivie dans la deuxième partie. Pour cela, nous allons identifier les formes de problématisation développées par les acteurs, et ce, aux différents niveaux auxquels ils se déploient dans des dispositifs institutionnels. Ainsi, nous serons à même d'exposer comment et autour de quels principes se déploient des visions contradictoires de la bioéconomie, mais qui finalement, relèvent toutes du champ de la bioéconomie, car s'affrontant, reconnaissent que la bioéconomie est l'espace pertinent pour l'action. Pour cela, nous partirons de l'identification de dispositifs institutionnels produits par les acteurs dans lesquels nous identifierons la façon dont sont inscrits dans ces dispositifs des régimes de production de connaissances et d'activités économiques.

La seconde approche que nous déploierons (celle du changement diachronique) portera sur la production de promesses sur des produits spécifiques (troisième partie). Dans cette partie, nous mobilisons une démarche similaire partant des structures objectives pour arriver jusqu'au niveau de la production de sens par les acteurs. Nous nous proposons de prendre au sérieux l'exploration par les acteurs des produits identifiés dans les *backcastings* : si les acteurs engagent des ressources dans ces dispositifs, c'est qu'ils représentent un enjeu pour eux. Ainsi, les produits sont considérés d'abord comme des objets matériels « objectifs ». Puis, ils sont décrits à partir des promesses, et de leurs cycles, que vont former les acteurs autour d'eux. Ce travail nous permettra alors d'étudier l'interaction entre les régimes de production de connaissances et d'activité économique de ces produits et les structures de l'espace de régulation.

## PARTIE II

### LA BIOECONOMIE COMME ESPACE ECONOMIQUE EMERGENT

*« La définition la plus courte de la biotechnologie donnée à ce jour et à ce titre la plus ramassée, la plus générale (au sens conceptuel) est celle donnée par le Professeur Niesch, directeur du département de recherches biotechnologiques chez Ciba-Geigy à Bâle, qui définit la biotechnologie comme étant « l'exploitation du potentiel chimique de la cellule vivante ». (Chesnais, 1981, p.221)*

*« Désormais la modification possible du patrimoine génétique des cellules et de leurs productions ouvre d'immenses perspectives à moyen et long termes et le génie génétique permet de considérer les cellules, en particulier certains microorganismes, comme les usines chimiques de demain. Les biologistes sont parvenus à un degré de connaissance du fonctionnement des cellules vivantes qui leur a permis, dans les toutes dernières années, d'en modifier les programmes. Ainsi est-il possible de leur conférer la propriété de « fabriquer » en abondance des substances d'intérêt pharmacologique, nutritionnel, et plus généralement des molécules jusqu'alors produites en quantités infimes ou synthétisées à grands frais par chimie industrielle. » (JP. Chevènement, ministre de la recherche, en introduction du n° spécial de la revue d'économie industrielle, « Genèse et développement de la bioindustrie » 1981)*

*« Après avoir souffert d'ignorance l'ensemble des biotechnologies me semble aujourd'hui surcôté. Le risque est que l'on attende trop et trop vite, sans bien savoir quoi ! », Daniel THOMAS, Université de Compiègne, Cité dans le Nouvel Economiste, 10 novembre 1980, et relevé en exergue de son article « Perspectives et contraintes de la bioindustrie » par Lucien PENASSE, Directeur des recherches biotechnologiques du Centre de recherches Roussel-Uclaf (1981)*



## CHAPITRE TROIS – RAPIDES RETOURS SUR L’HISTOIRE DE PROBLEMATISATIONS ANCIENNES ET LEURS ENSEIGNEMENTS<sup>103</sup>

Notre intérêt pour une problématisation de l’industrie en termes de patrimoines productifs collectifs et de régimes de production de connaissances et d’activités économiques, ne tient pas ici seulement à l’intérêt historique qu’ils peuvent représenter. Dans la distinction que fait Barrère (2014) entre les industries fondées sur les patrimoines et les industries fondées sur la science, celui-ci fait l’hypothèse que dans les secondes, les avancées scientifiques et technologiques invalident les savoirs anciens. L’hypothèse est probablement vraie pour certaines industries telles que l’électronique, mais discutable dans le cas qui nous occupe, même si l’ère du pétrole peu coûteux avait pu laisser penser que les savoirs anciens issus des premières biotechnologies avaient été définitivement invalidés. Or Montanier et Donohue (2017, à paraître) montrent bien que la biotechnologie moderne trouve sa source dans des savoirs faire techniques anciens et les travaux scientifiques de la fin du XIXe. Les efforts scientifiques pour mobiliser la biomasse durant les deux guerres mondiales ont aussi été des moments-clés de renforcement de cette trajectoire technologique<sup>104</sup>.

Nous allons nous intéresser ici plus particulièrement à deux moments de problématisation, afin de justifier le mode d’observation des phénomènes contemporains d’émergence que l’on va mettre en place dans le chapitre. Le premier de ces moments est celui de la formation du mouvement de la *chemurgy* aux États-Unis dans les années 1930. Ce mouvement vise à mobiliser les matières premières issues de l’agriculture en Chimie, avec comme langage de justification, la nécessité de recréer des emplois dans le Sud Profond des États-Unis, et de lutter contre les excédents agricoles de la crise de 1929 ; il prend en 1935 la forme instituée du *National Chemurgy Council*, qui ne disparaîtra qu’en 1972. On s’appuie pour ce faire sur des travaux d’historiens des techniques (Finlay, 1997, 2003) ou des politiques économiques (C. W. Pursell, 1969) et la très abondante documentation historique réunie par le centre américain d’information sur le soja (Shurtleff et Aoyagi, 2011, 2015). Le second est ce moment de la fin des années 1970 et début des années 1980, où la crise des grands secteurs

---

<sup>103</sup> Cette partie introductive est issue d’un papier en cours de finalisation (Béfort et Nieddu, 2016).

<sup>104</sup> Depuis la préhistoire, l’Homme a su exploiter les microorganismes fermentaires pour conserver ses aliments, des enzymes pour tanner le cuir et les plantes et les champignons pour en extraire des agents thérapeutiques. Il se servait donc d’agents biologiques et a même réussi à en améliorer par voie de sélection sans pour autant comprendre les mécanismes. Le tournant dans l’histoire de la biotechnologie se situe au moment de la naissance de la microbiologie et de l’enzymologie à la fin du 19e siècle. Les avancées étaient suffisantes pour que la biotechnologie soit mise au service de la Première Guerre mondiale. Un procédé mis au point par Chaim Weizmann fut utilisé pour fabriquer l’acétone, solvant employé pour la fabrication de la cordite (un agent explosif). De même, le procédé fermentaire mis au point par Neuberg en Allemagne permettait de fabriquer du glycérol, un ingrédient essentiel de la nitroglycérine. Et l’entrée décisive dans la biotechnologie industrielle moderne est généralement associé au moment développement de la production à l’échelle industrielle d’antibiotiques, qui intervient donc avant la détermination de la structure de l’ADN, et donc le début l’ère du génie génétique sur laquelle se fondent les espoirs de la « révolution biotechnologique » actuelle.

porteurs de la croissance des Trente Glorieuses entraîne une réflexion sur le devenir de la chimie et les secteurs susceptibles de porter une nouvelle croissance : les biotechnologies sont alors « élues » avec l'informatique comme l'un des deux domaines par lesquels cette croissance est attendue. On s'appuiera ici sur les numéros spéciaux de la *Revue d'économie industrielle* (1981) sur la bio-industrie, et de *Futuribles* (1982) issus des travaux menés sur la crise de la chimie en Europe et ses perspectives de rebond, notamment à partir des biotechnologies et de la biomasse.

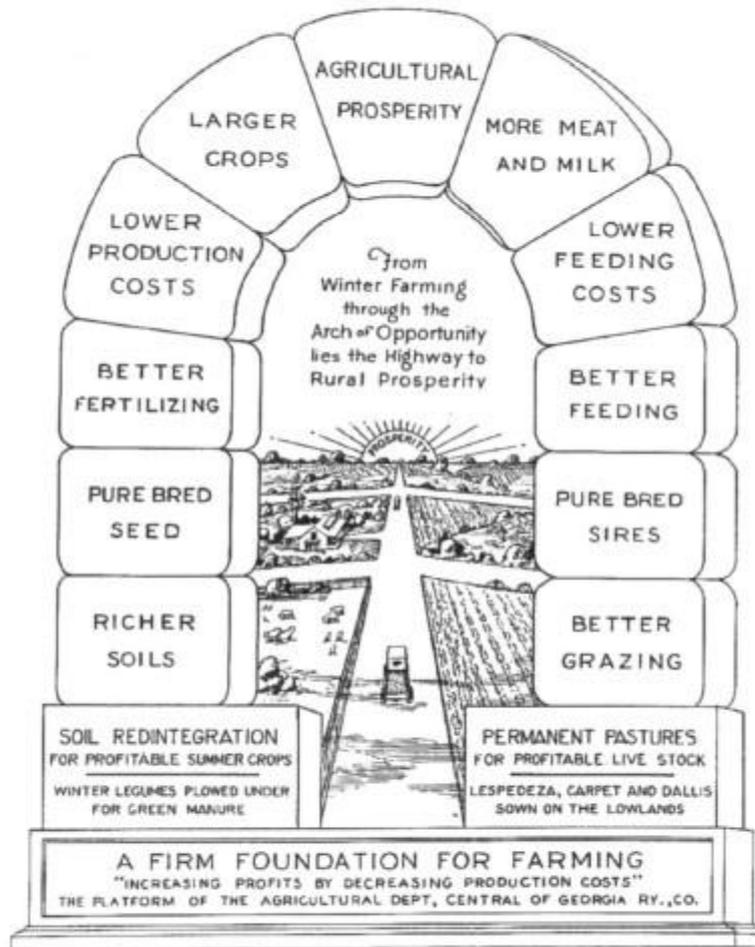
# 1. La chemurgy comme moment de problématisation d'une industrie fondée sur les ressources agricoles

La *chemurgy* est un mouvement redécouvert récemment, par les acteurs de la chimie du végétal qui se plaisent aujourd'hui à y faire référence. Ce mouvement lors de son émergence dans les années 1920 va réunir des personnages très contrastés. G. W. Carver, un fils d'esclave noire, à la date de naissance incertaine, cherche dès les années 1890 à développer des activités économiques en explorant des productions agricoles nouvelles et leur valorisation pour sortir le « Sud profond » de sa pauvreté endémique. Il cherche à valoriser l'ensemble des déchets à la ferme et à trouver d'autres voies que celles des pesticides et des engrais chimiques. Les produits explorés par la « chimie créative » de Carver (Abrams, 2008) laissent rêveur par leur proximité aux usages attendus actuels : l'utilisation des coproduits de l'alimentation pour la fabrication de panneaux isolants, peintures, colorants, alcool industriel, matières plastiques de types divers, tapis, nattes et tissus, huiles, gommes et cires, etc. Il va devenir célèbre aux États-Unis notamment à la fin de la Première Guerre mondiale en proposant un procédé de production de caoutchouc à partir de patates douces. L'improbable rencontre entre le fils d'esclave – agroécologiste avant la lettre, souvent écarté des aides fédérales à la recherche par le racisme des lois de l'Alabama – ce qui ne l'a pas empêché de trouver plus d'une centaine d'applications non alimentaires du soja et des cacahuètes –, et Henry Ford au milieu des années 1930 tient probablement au fait que ce dernier cherchait les moyens de contourner le cartel de l'acier, en produisant à partir de ressources renouvelables ses carrosseries et certaines pièces de ses automobiles. Ce dernier rêvait d'intégrer la totalité des process, matières premières et composants nécessaires à la production automobile au sein de son entreprise<sup>105</sup>. Les sociétés de chemin de fer sont d'autres acteurs inattendus, qui imaginent pouvoir fonder leur *business model* sur le développement d'une agro-industrie à la ferme (Finlay, 1997), à côté d'autres acteurs plus attendus, les lobbies d'associations de producteurs (ceux du soja notamment).

---

<sup>105</sup> « In 1929, Ford established the Edison Institute in Dearborn, Michigan, a research laboratory that sought new industrial uses for farm crops [...] By 1931, research focused on the soybean. Ford's researchers eventually developed enamels for automobile paints, lubricants for casting molds, and numerous plastic car parts derived from soybean meal. By 1935, Ford's company used 1 bushel of soybeans for every car it manufactured, and it successfully developed prototypes of a soybean-plastic trunk lid that. » (Finlay, 2003)

in Finlay 1997



This "Arch of Opportunity" laid out the means by which the Central of Georgia Railroad's Agricultural Department sought to reform the rural economy by "increasing profits by decreasing production costs" for Georgia farmers. *Flyer from Georgia Historical Society.*

Figure 41 : la problématisation de la *chemurgy* (d'après Finlay, 1997, p.26)

La Grande Dépression, si elle renforce l'intérêt pour la *chemurgy* afin de trouver des débouchés à la surproduction agricole, n'en a pas néanmoins été ni l'origine ni le moteur – si l'on excepte un programme d'agrocaburants (*algol*). C'est plutôt la recherche de solutions à la monoculture historique du coton issu de l'esclavagisme qui a guidé certains acteurs, l'idée d'un progrès social pour les paysans pauvres dans le cas de Carver, et l'alliance d'industriels et de courants agrariens qui expliquent son essor avant la Première Guerre mondiale et son accélération des années 1920. Parmi ces derniers, certains défendent une idéologie isolationniste, d'où découle une conception de l'indépendance en matière première qui induit une forme particulière de relations interindustrielles entre le complexe de production *food and fiber* et l'industrie chimique<sup>106</sup>.

<sup>106</sup> « His [Hale, un des agitateurs agrariens les plus en vue] 1934 text, *The Farm Chemurgic*, offered an unusual mix

Les enseignements pour une étude de la période actuelle résident : (1) dans le fait que tout ce mouvement constitue un espace particulier, porté par des acteurs hétérogènes, espace au sein duquel s'installent des réflexions sur l'ensemble des connaissances à produire, des ressources à assembler, et des alliances politiques à construire pour soutenir l'effort industriel ; (2) dans le fait que cet espace se construit sur la base d'espérances technologiques – nécessitant la production d'objets démonstratifs comme les prototypes de Ford, et de dispositifs institutionnels portés par l'Etat fédéral et les états du sud, même si les acteurs principaux revendiquent un *self-government*. Le problème n'est pas tant de savoir si cela produit ou non un régime de production de connaissances et d'activités économiques stable que de documenter la façon dont des acteurs décident d'engagements économiques réels sur la base de ces attentes (voir une représentation des années 1930 dans la figure ci-dessous) ;<sup>107</sup> (3) dans le fait que ces espérances technologiques connaissent des cycles qui amènent au gré des circonstances (les ruptures de chaînes de valeur engendrées par les guerres par ex.), les acteurs à identifier des produits ou des gammes de produits comme les « produits phare » de l'espace considéré ; (4) dans le fait que ces acteurs ne suivent pas seulement des voies individuelles, mais se constituent en acteurs collectifs pour explorer les espérances technologiques, et mobilisent dans une logique multinationale les différents niveaux politiques (le local, l'état local et l'état fédéral).

---

*of agrarianism, isolationism, sharp attacks upon the New Deal, and a profound enthusiasm for the glories of chemistry. Hale argued that an emergent chemurgic revolution meant that farmers should discard the cultivation of old-fashioned crops with "timeworn nicknames" like corn and wheat and instead view their job as the cultivation of products with real meaning: cellulose, starch, lignin, levulose, and the like. A farm's value, Hale believed, should be measured in terms of its organic compounds, rather than its capability to produce food and fiber. Hale assumed that there was not one chemical product that Americans could not grow domestically and that international trade would no longer be necessary » (Finlay, 2003, p.37).*

<sup>107</sup> On pourra discuter des raisons de l'échec du Chemurgy Council, qui se dissout d'ailleurs en 1972, juste avant que ne renaisse un nouveau cycle d'espérances technologiques : pour Finlay (2013, *op. cit.*) « *Moreover, chemurgists of the past encountered political barriers and the inertia of entrenched agricultural and economic systems. Fundamental tensions arose among individual, corporate, academic, and governmental interests over the power to meaningfully lead research in the realm of biobased feedstocks. The chemurgists' goal of reducing American dependence on foreign raw materials directly challenged others who embraced the increasingly internationalist economy or promoted petrochemicals and other nonagricultural sources for industrial raw materials. Also, the chemurgists' nationalist agenda threatened the political interests of farmers who produced goods for international trade and markets. And although some of the original enthusiasts presumed that chemurgy could benefit small family farmers by providing markets for their waste products, many others focused on the efficiency of large, agribusiness operations as suppliers of the raw materials that industrialists demanded. For good reason, chemurgy never received much real support from practicing farmers; many rightly suspected that industrialists would be the true beneficiaries.* » (Finlay, 2003, p.43).

<b><u>Période</u></b>	<b><u>Matières premières et produits visés</u></b>	<b><u>Produits toujours visés actuellement</u></b>
<b>1920 – 1934</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lait de soja → peintures, lubrifiants, plastiques d'automobiles</li> <li>- épi de maïs, déchets de pin, patate douce, chanvre et grains divers comme matières premières</li> <li>- alcool naturel (éthanol) pour l'énergie et mélanges essence/éthanol</li> <li>- cellulose, amidon, lignine, fructose (= sucres et fibres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- huiles de soja pour la lubrification (Biopress par exemple)</li> <li>- déchets de pin comme les écorces pour la production de mousses isolantes (cf. chap. 1), matériaux à base de chanvre, blé pour la production de PHA</li> <li>- Taux d'incorporation déjà existant, généralisation de la production de biocarburants</li> <li>- Lignine (matériaux vs. énergie), amidon (matériaux vs. chimie des molécules), cellulose dans les matériaux et l'hygiène (dentifrice par exemple, cf. JRS)</li> </ul>
<b>1935 – 1939</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation des déchets de scieries pour la production de matériaux et plastiques</li> <li>- sucre de betterave, déchets d'artichauts, déchets de ferme → butanol, acétone</li> <li>- chanvre, lin, riz → papier</li> <li>- riz → furfural et glycérine</li> <li>- amidons de patate douce</li> <li>- sucre de canne, sorgho, patates douces → éthanol</li> <li>- pins, tung → journaux</li> <li>- cellulose → fibres synthétiques, matériaux pour l'automobile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réutilisation des déchets de scieries pour matériaux et plus uniquement énergies</li> <li>- butanol biosourcé</li> <li>- furfural</li> <li>- généralisation de l'éthanol</li> <li>- techniques d'extraction de celluloses</li> </ul>
<b>1939 – 1945</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sources américaines de caoutchouc</li> <li>- molécules pour la pharmacie</li> <li>- blé → adhésifs</li> <li>- canne à sucre → graisse</li> <li>- caséine → vêtements, fibres</li> <li>- fermentation pour la production d'antibiotiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réintroduction du caoutchouc d'origine naturelle (Michelin)</li> <li>- cartons et adhésifs par l'amidon de blé (Roquette)</li> <li>- techniques fermentaires</li> </ul>
<b>1945 – 1972</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- huiles végétales → lécithine, glycérine, plastiques, adhésifs, retardateurs d'inflammabilité</li> <li>- fermentation utilisant l'acide lactique, citrique, gluconique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- polyuréthanes à partir des huiles végétales</li> <li>- PLA à partir de fermentation d'acide lactique</li> </ul>

Figure 42 : Tableau des espérances technologiques de la chemurgy et actuelle (à partir de Finlay, 2003)

## 2. Vers une bio-industrie ? la chemurgy revisitée à la fin des années 1970

Le deuxième moment que l'on a souhaité étudier est celui de la fin des années 1970. La crise apparaît aux experts de l'industrie, non pas seulement une crise conjoncturelle liée au renchérissement des matières premières, ou aux chocs pétroliers de 1973 et 1979, mais comme une crise plus profonde. Il ressort des numéros spéciaux de la Revue d'économie industrielle et de Futuribles que nous avons mobilisés, deux constats :

- (1) Le constat d'une saturation des grands marchés développés, et la fin d'un cycle dans lequel les chimistes avaient construit des monopoles sur les produits qu'ils maîtrisaient à coût d'investissement de productivité : la grande unité de production permettant d'abaisser drastiquement les coûts de production était destinée à dissuader l'entrée de concurrents — stratégie de l'*ultimate plant*, notamment théorisée par la société Dupont de Nemours. Le revers d'une telle stratégie est la constitution de rigidités structurelles peu à même de faire face à l'instabilité nouvelle (due à la saturation des marchés et l'instabilité des prix amont et aval) (Cohendet, 1982, Colombo, 1982).
- (2) Le constat d'un ralentissement important du rythme d'innovation, dans la chimie comme ailleurs par rapport aux années 1950-1960 (Monateri, 1981, constat attesté par des études économétriques ultérieures telles que Achiladellis *et alii*, 1990 ; cf. figure ci-dessous)

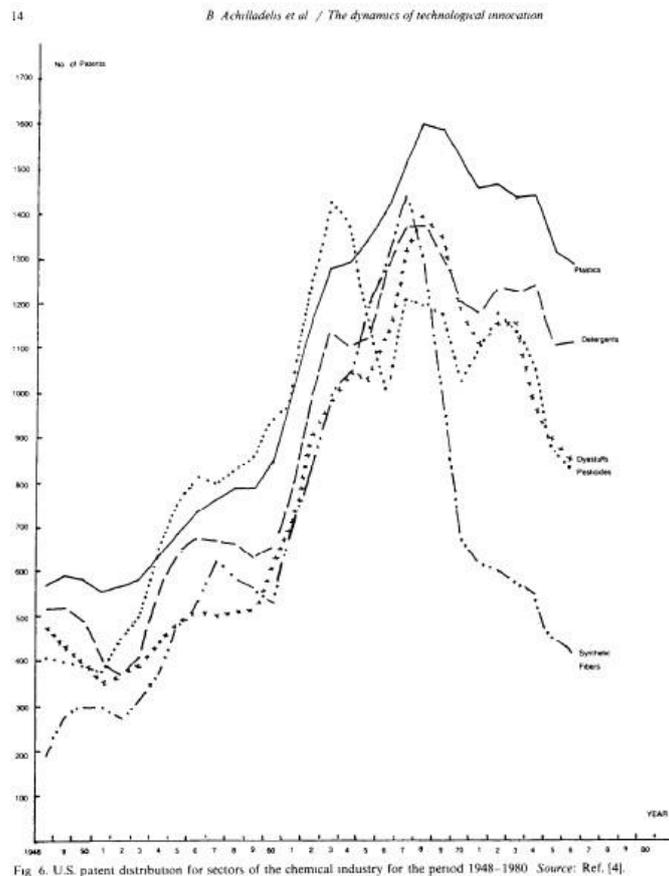


Figure 43 : le ralentissement du rythme de l'innovation dans l'industrie de la chimie (Achiladellis *et alii*, 1990, p.14)

(3) Ceci amène les régions concernées par la crise de grandes unités de production chimique, les États et la commission européenne à développer une intense réflexion sur la construction d'une vision du futur des nouveaux secteurs potentiellement porteurs d'un renouvellement de la croissance et de l'innovation dans les secteurs traditionnels tels que la chimie<sup>108</sup>. Des états de l'art et des hypothèses prospectives sont construits conjointement par des chercheurs et des hauts fonctionnaires d'entreprises privées ou publiques. Arthe Van Laer (2010) décrit très bien comment les commissaires européens de l'époque, Davignon notamment, intègrent directement les grandes entreprises de la construction de cette vision du futur et comment celles-ci l'utilisent pour convaincre les états de la nécessité d'actions spécifiques<sup>109</sup>. Le numéro spécial de *Futuribles* (1982) correspond à une opération de diffusion de l'un de ces états de l'art, dressé dans le cadre du programme FAST de la DG XII de la CEE sur les mutations technologiques et économiques du domaine de la chimie. Le numéro spécial « Genèse et développement de la bio-industrie » de la revue d'économie industrielle (1981) correspond à l'exercice français de réflexion sur l'une des deux grappes d'innovations schumpéteriennes identifiées comme susceptibles de devenir les nouvelles clés de la croissance et de recompositions intersectorielles (l'informatique et les biotechnologies).

C'est le rôle et la place de ces **états de l'art** que nous souhaitons pointer, car ils sont constitutifs du travail d'élaboration stratégique que les acteurs réalisent autour des promesses technologiques ; et ils contribuent ainsi à la formation de régimes de production de connaissances et d'activités économiques. Ainsi, le numéro « **GENESE ET DEVELOPPEMENT DE LA BIO-INDUSTRIE** » de la Revue d'économie industrielle de 1981 dresse un inventaire des dynamiques à l'œuvre et de l'ensemble des transformations attendues et des dynamiques en cours.

La structure de ce document très roboratif est la suivante : après une préface de J.P Chevènement (La France à l'aube de l'ère bioindustrielle), à titre d'introduction — Genèse et développement de la bio-industrie : Considérations pour l'analyse économique, par Kira Sipeksem. Ensuite une partie d'une centaine page de description du système :

La première partie porte sur la description du système :

1.1. Évolution et cadre de développement de la bio-industrie, avec un article « Bioindustrie : de la tradition artisanale à la pratique industrielle » de Danielou et Broun—, les Perspectives et contraintes de la bio-industrie de Lucien Penasse puis Quantifier les marchés de la bio-industrie pour mettre en évidence les priorités stratégiques, article d'Alain Barlet

1.2. Éléments d'approche normative : Options technologiques et stratégies de recherche : la nécessité d'une nouvelle donne institutionnelle, de Pierre Papon ; Biotechnologie et société, article de Pierre Piganiol ; Éléments d'une stratégie de développement des bio-industries de Gérard Siclet ; Bio-industrie et informatique, de Jean-Claude Pelissolo, Protection juridique et inventions biotechnologiques de Darmon

La deuxième partie porte sur les filières, avec Agriculture et agro-industrie de Guy Dardenne, L'agriculture et l'énergie, de Rémi Carillon, Comment calculer le contenu énergétique des produits d'origine pétrolière et de leurs substituts d'origine charbonnière ou végétale — application au carburant, de Pierre Leprince, Claude Raimbault et Jean-Pierre Arlie, L'alcool carburant et son économie de Benjamin Coriat, les Mutations des structures industrielles et problématiques de filières — des nouveaux débouchés pour l'industrie sucrière de Pascal Pecquet et Mithat Nalbantoglu

La troisième partie porte sur les secteurs (ou domaines d'applications)

<sup>108</sup> voir notamment pour le travail de réflexion de la commission européenne : « 1980-1990 : un nouveau développement de la politique scientifique européenne. Actes de la conférence tenue à Strasbourg, France, du 20 au 22 octobre 1980 »

<sup>109</sup> cf. Arthe Van Laer — « Vers une politique de recherche commune : du silence du Traité CEE au titre de l'Acte Unique » Article paru dans C. BOUNEAU, D.BURIGANA et A. VARSORI (éd.), Trends in technological innovation and the European construction : the emerging of enduring dynamics ?, P.I.E.-Peter Lang, Bruxelles-Bern-Berlin, 2010 (Euroclio. Études et documents, 56), p. 79-100.

- 3.1. L'industrie semencière avec La biologie, la propriété et l'avantage de Jean-Pierre Berlan ;
- 3.2. Les industries agricoles et alimentaires avec le développement des biotechnologies dans les systèmes agricoles et alimentaires de Christian Janet, Paul Gorse, François Nicolas, L'application des biotechnologies dans l'industrie agroalimentaire : enjeux et impacts, de Pascal Bye et Alain Mounier ; Biotechnologies et secteurs agro-alimentaires. Réflexion sur le rôle et la stratégie de l'État d'André Staropoli, Jean de Kervasdoué,
- 3.3. La chimie et la parachimie, avec L'attitude des firmes chimiques vis-à-vis de la biotechnologie, de Patrick Cohendet et Martine Keiling, Biotechnologie et modifications des structures de l'industrie chimique : quelques points de repère, de François Chesnais ; Bio-industrie et industrie pétro-chimique, de Jean-Charles Monateri, L'industrie pharmaceutique et la recherche de nouveaux médicaments de Jean-François Miquel, Jean-Christophe Dore

La quatrième partie porte sur les agents :

- 4.1. Les entreprises, avec Firmes françaises et biotechnologies de Suzanne Quier ; Possibilité d'intervention des PME dans le développement bioindustriel, de Jacques Pierre
- 4.2. Expériences vécues, en France avec L'Institut Pasteur et les biotechnologies, de Joël De Rosnay, Transgène : une société française de génie génétique d'Étienne Eisenmann, Un peu de génétique financière de Jean-Philippe Mallet ; Traitement de dépollution et de valorisation des effluents solides et liquides de l'industrie agroalimentaire — Digestion méthanique de Roger Nicol
- 4.3. Les syndicats (Négocier les changements technologiques : la C.F.D.T. et les biotechnologies de Yves Lasfargue, Edmond Toromanoff)

Le dossier se termine sur une 5<sup>e</sup> partie (Articles concernant les pays étrangers avec Biotechnology : The challenge to Europe de Mark Cantley, Ken Sargeant ; Les biotechnologies aux États-Unis de Jean Cantacuzene, La bio-industrie aux États-Unis de Jean-Claude Pinon, Michel Bernon, Les biotechnologies au Japon de Gérard Gellf, un état comparatif du développement de la biotechnologie. Approche du Japon, des U.S.A. et de la R.F.A. de Jacques Liouville.

Figure 44 : une synthèse du numéro de la Revue d'Economie Industrielle consacrée à la bio-industrie

L'introduction par J.P. Chevènement, tout récent ministre de la recherche, « la France à l'ère bioindustrielle » dessine les enjeux en termes de révolution scientifique liée au génie génétique, qui doit être exploitée industriellement. Néanmoins, il souligne l'existence de bio-industries « classiques » (p.3). Il faut, nous disent plusieurs auteurs du dossier donc bien partir de ces bio-industries « classiques » et des industries chimiques existantes pour comprendre les phénomènes économiques à appréhender<sup>110</sup>. Les bio-industries et la chimie « classiques » sont au cœur du développement d'une science de l'ingénieur biotechnologique ou chimique, car elles ont développé des processus en continu posant des problèmes techniques importants, et pour lesquels la question des gains de productivité est cruciale (Danielou et Broun – sauf précision de date, les auteurs cités dans le passage qui suit sont des auteurs du numéro spécial). Au-delà des (quelques) nouveautés réelles en termes de produits

<sup>110</sup> Pour L. Penasse : « Au niveau de la définition, il s'est fait aujourd'hui un consensus pour dire que la biotechnologie concerne tout ce que l'on peut faire d'utile avec des microorganismes, des cellules végétales ou animales, ou des fragments biochimiquement actifs qui en dérivent [...] Vue sous l'angle de la définition que nous venons de donner, la biotechnologie est ancienne : les microorganismes interviennent, et d'une façon irremplaçable, dans diverses activités traditionnelles de l'homme : sans eux il ne pourrait obtenir ni le pain, ni le vin, ni le fromage. Leur rôle est tout aussi essentiel dans plusieurs étapes des grands cycles de la biosphère : fixation de l'azote par les légumineuses, digestion, retour des déchets végétaux dans l'économie organique. Mais pendant longtemps, la présence et le rôle des microorganismes ont été ignorés. C'est vers le milieu du siècle passé que l'on a entrevu le rôle actif joué par la levure dans la fermentation alcoolique et c'est en 1880 que l'on a commencé à produire de la bière au Danemark en inoculant artificiellement le milieu à fermenter par de la levure préparée à cet effet. À partir de cette date donc, l'obtention des produits de fermentation est passée progressivement de l'état traditionnel à l'état industriel. Le passage en fait a été lent, car pour ces productions, l'avantage pratique n'était pas évident. D'une part, la productivité des procédés de type artificiel n'était pas supérieure à celles des procédés naturels et, d'autre part, dans l'accès aux denrées fermentées intervenait souvent, non pas un microorganisme, mais toute une flore microbienne, éventuellement en vagues successives, conduisant aux propriétés organoleptiques subtiles de ces produits, flores difficiles à maîtriser à cette époque et même aujourd'hui. Une première impulsion a été donnée pendant la guerre mondiale 1914-18, par la production par fermentation d'acétone et de butanol, utilisés dans la fabrication des explosifs et, peu après, par la production de l'acide citrique. La grande impulsion toutefois est venue à partir de 1940, de la découverte des antibiotiques. »

introduites par le génie génétique, c'est donc en réalité la capacité des enzymes et autres corps vivants à proposer des réactions catalytiques – c'est-à-dire des process accélérant les conversions de matières premières en produits d'intérêt à des coûts énergétiques moindres ou une plus grande efficacité de sélection — qui est la qualité la plus appréciée des biotechnologies nouvelles.

Le premier lien entre industries « classiques » et « nouvelles » se trouve donc ici et les industriels ne se posent la question de la conversion que lorsque le process biotech peut venir challenger le process existant : *« Il importe dans tous les cas que le choix de la filière soit économiquement fondé : on ne choisit pas la voie biologique parce que c'est prestigieux, à la mode, écologique. On le fait lorsque la comparaison économique est en sa faveur. »* (Penasse, p. 37). Entre les deux situations polaires, choisir entre une situation A (process chimique classique) et une situation B (process biotech mieux maîtrisé, voire process biotech issu de la révolution scientifique du génie génétique) vont bien sûr exister dans le monde réel un ensemble de situations, que les auteurs du dossier de Futuribles vont qualifier d'hémisynthèse (un couplage de réactions chimiques et biotech par exemple soit en les mariant soit à des étapes successives).

La modification la plus importante noté par les auteurs est la transformation des relations intersectorielles : les industries fondées sur la biomasse passent lorsque la comparaison économique est en leur faveur, d'une position de client de l'industrie chimique à une position de fournisseur (Danielou et Broun), Mais il faut bien retenir pour les usages non alimentaires de la biomasse, sur laquelle cette industrie devient fournisseur, que les process thermochimiques vont rester présents dans le paysage des bio-industries. La concurrence des process et le maintien de voies variées conduit les acteurs à chercher à produire des schémas analytiques de principales filières, qui jouent en quelque sorte le rôle de « cartes cognitives ». Cet exercice imposé, bien connus de tous ceux qui fréquentent les colloques de bioraffinerie et de bioéconomie, permet de constater que le paysage actuel est déjà cartographié, et pas seulement pour l'essentiel, en 1981.

Dans les deux schémas ci-dessous, issus de l'article de Chesnais, on peut voir que les sources de matière première diverses d'aujourd'hui sont déjà présentes, des schistes bitumeux à la biomasse ou aux déchets. Les procédés de transformation de la biomasse sont des procédés qui vont soit vers les gaz de synthèse (thermochimie) qui permettent de reformer la chimie issue du roi pétrole, soit vers des procédés de fermentation permettant de reboucler sur celle-ci à partir de l'éthanol ou des diacides.

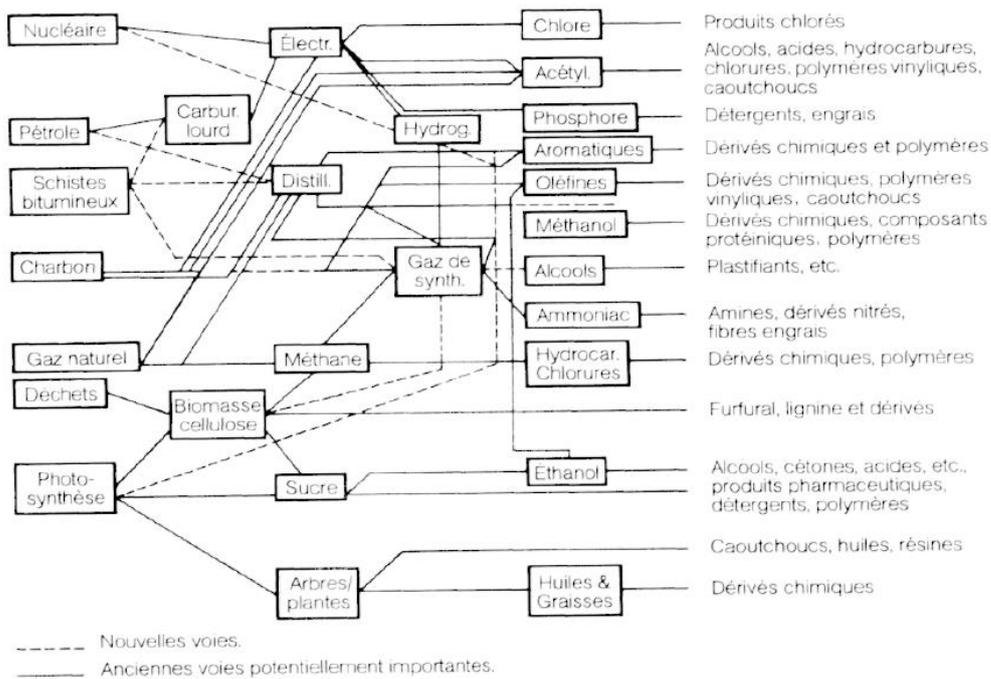


Figure 45 : Un inventaire des matières premières et leurs débouchés (d'après Chesnais, 1981, p.227)

Fondamentalement, ce sont donc les mêmes chaînes carbonées que celles issues du « roi pétrole » qui sont visées. Ce point est important, car lorsqu'on va se tourner vers l'exercice de prospective de Futuribles, la séparation entre bio-industries au sens strict (mobilisation d'un process biotechnologique, avec des process industriels au niveau cellulaire) et bio-industries (au sens d'industries mobilisant des biomasses, quel que soit le process) va être moins évidente qu'une définition apparemment logique le laisse supposer.

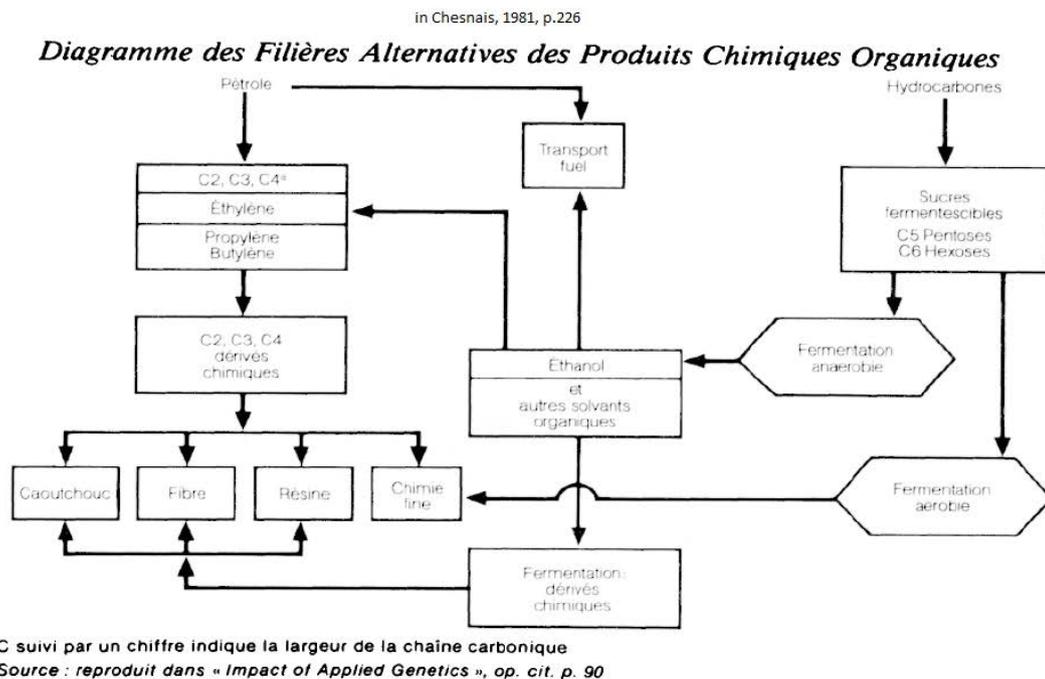


Figure 46 : La problématisation du développement des biotechnologies (d'après Chesnais, 1981, p.226)

Ce point est important, car les exercices de problématisation d'industries nouvelles ne peuvent se contenter de travailler sur les technologies – ce n'est d'ailleurs pas tant les nouveautés technologiques qui les intéressent que la concurrence entre nations, régions et firmes finement analysée par Chesnais dans ce numéro de la REI. Dans une approche néo-schumpétérienne, la biotechnologie appartient à la catégorie des technologies qui ont vocation à bouleverser les relations d'oligopole stable issues des stratégies de construction de barrière à l'entrée des grandes firmes sur les produits qu'elles maîtrisent (la chimie de ce point de vue peut s'analyser comme un ensemble de monopoles ou quasi-monopoles de chacune de ces firmes sur quelques process et produits, qu'elles assemblent dans des conglomérats). C'est la capacité de technologies nouvelles à briser les barrières à l'entrée dans ce champ monopolistique qui est l'objet réel de la problématisation de l'industrie. Par exemple, la mise au point par les groupes céréaliers aux U.S.A. de technologies enzymatiques permettant la fabrication de sirops à haute teneur en fructose (SHTF) à partir d'amidons de maïs, est venue bouleverser en l'espace de quelques années les positions des oligopoles sucriers. En dix ans, les sirops de maïs ont arraché aux sucres traditionnels environ 25 % du marché américain, obligeant les grands groupes sucriers à s'orienter vers la sucro-chimie.

De ce point de vue la question est bien d'abord une question économique : Chesnais (1981, p.220) rappelle à juste titre que « *théoriquement, pratiquement n'importe quel produit de la chimie industrielle organique peut être produit par un processus biologique* », ou encore « *que virtuellement toutes les molécules organiques peuvent être obtenues par des voies biologiques* ». On pourrait d'ailleurs ajouter qu'on peut aussi inversement obtenir à partir de structures carbonées d'origine fossile des produits identiques à ceux issus de biomasse, y compris alimentaires... « *Cette double référence à la chimie organique est d'une très grande importance méthodologique. Elle permet à la fois de situer la biotechnologie dans l'histoire des relations entre la science, la technique et la production capitaliste, et de dire, avec un assez grand degré de précision, où se situent les principaux enjeux industriels.* » Chesnais, 1981, p.222).

Or celle-ci engage une réflexion particulière sur les problèmes du niveau des investissements à consentir (ce qu'on appelle dans le jargon moderne le CAPEX des projets de production), et du temps de rotation du capital liés des exigences de l'approvisionnement en matières premières à une échelle industrielle (prix suffisamment stables pour permettre le calcul d'investissements de long terme, qualité suffisamment uniforme, et livraisons dans des quantités correspondant aux besoins d'une production industrielle). En effet, l'industrie chimique moderne est née de la capacité de la chimie de synthèse, en substituant tout un ensemble de « produits intermédiaires » aux matières premières de base végétales et animales, à la libérer des contraintes d'immobilisation du capital liées au capital foncier et au temps de maturation naturelle des produits de l'agriculture ou de l'élevage. Les conditions de déclenchements de nouveaux projets productifs sont donc encadrées par cette double exigence : remise en cause d'une position de monopole relatif antérieure, et coût de l'opération de mise en place de la *business unit* permettant cette remise en cause.

On peut ainsi passer à une relecture du dossier de Futuribles, largement inspiré du travail coordonné par le laboratoire BETA de Strasbourg dans le cadre du programme FAST de la Commission européenne (DG XII) sur les perspectives de la chimie en Europe. Cette discussion est menée à partir des principaux résultats de l'ANR AEPRC2V présentés en introduction générale<sup>111</sup>, car à 30 ans de

---

<sup>111</sup> Rappelons rapidement qu'un grand résultat de l'ANR est d'avoir cartographié 4 grandes voies de transformation

distance, les deux types de résultats font écho. Le travail de la fin des années 1970 et début 1980 identifie quatre thèmes principaux autour desquels il propose d'articuler la politique d'innovation à l'échelle européenne : « *la chimie des petites molécules (liée au renouvellement de la carbochimie), la chimie des sucres, la chimie des matériaux nouveaux, la chimie de la fonction* » (Cohendet, 1982, p.15).

Or cette façon d'organiser les thématiques laisserait penser que la bio-industrie serait réservée à la chimie des sucres, ce qui n'est pas le cas, comme nous allons le montrer. Les enjeux de la chimie des petites molécules sont discutés par les auteurs comme ceux d'une transition de la chimie du pétrole vers une nouvelle chimie du charbon. De fait, le cœur de cette reconstruction réside dans le fait que l'on pouvait imaginer de substituer aux intermédiaires issus de la pétrochimie, un intermédiaire issu d'une gazéification des chaînes carbonées du charbon, le méthanol, sur lequel il est possible de fonder un ensemble d'espérances technologiques. Tout comme les 5 intermédiaires de base de la pétrochimie, « *l'aval de la chimie du méthanol est très riche* » (Cohendet, 1982, p.17). Celui-ci permet de reformer des carburants et outre les formaldéhydes évoqués dans le chapitre 1, par ex. de l'acide acétique, qui sert de base notamment à des plastiques (le PET) ou des solvants, des peintures et des vernis.

<p>L'acide acétique, produit à partir d'éthylène pétrolier, de méthanol de la chimie du charbon, ou par voie biologique (le bon vieux vinaigre...) peut servir de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- solvant : miscible à l'eau et à divers solvants organiques tels l'éthanol, l'oxyde de diéthyle, le glycérol, mais insoluble dans le sulfure de carbone, c'est aussi un bon solvant des gommes, résines, du phosphore, du soufre et d'acides halogénés ;</li> <li>- production d'anhydride acétique, acétate de cellulose, d'acétate de vinyle monomère, et d'autres acétates, ainsi que de médicaments, pesticides, colorants, produits de l'industrie de la photographie ;</li> <li>- alimentation (production de vinaigres de fruit...), additif alimentaire ;</li> <li>- textiles ;</li> <li>- agent de nettoyage (de semi-conducteurs par ex.)</li> <li>- coagulant (du latex naturel) ;</li> <li>- bactériostatique (en solution) ;</li> <li>- dans la fabrication de plastiques tels le polytéréphtalate d'éthylène (PET) ou l'acétate de cellulose, utile à la production d'acétate de vinyle (peintures, adhésifs) et de solvants organiques ;</li> <li>- additif dans les produits dérivés du tabac (arôme).</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Cf. Article "acetic acid" <i>Ulmann's encyclopedia of industrial chemistry</i>, vol.1, pp.209</b></p>
---

Figure 47 : les applications de l'acide acétique

Or le méthanol peut être obtenu à partir de la transformation de biogaz issus de biomasse<sup>112</sup> – c'est même le plus ancien procédé, à partir du bois. De même les bio-industries au sens strict (le travail au niveau de la cellule elle-même par un procédé biotech) sont à même de produire des petites molécules à façon pour substituer les grands intermédiaires chimiques de la pétrochimie. On a donc un travail sur les espérances technologiques de la bioraffinerie (au sens d'une imitation de la raffinerie de pétrole qui vient de loin (la *chemurgy* en étant un exemple). Cette voie est documentée à la fois par

---

de la biomasse. Les deux premières s'appuient sur le schéma de la pétrochimie et de la raffinerie de pétrole ; dans la raffinerie de pétrole on produit par gazéification cinq grands intermédiaires (éthylène, benzène toluène, à partir desquels il est possible de faire pratiquement toute la chimie de synthèse issue du pétrole. Ces deux voies sont une voie thermochimique et une voie biochimique de bioraffinerie, qui permettent de retrouver les mêmes intermédiaires ou des intermédiaires remplissant les mêmes fonctions sans avoir à transformer l'aval et en maintenant l'ontologie de cracking – isolation de petits éléments – purification – reformage. Les deux autres voies sont des voies de **fractionnement limité**, soit pour extraire des macromolécules qui seront transformées ou fonctionnalisées par greffage d'autres blocs chimiques, soit pour séparer les grands composants de la plante (amidon, cellulose...), pour produire directement des polymères et matériaux (amidons modifiés, celluloses modifiées) par des procédés physico-chimiques comme l'extrusion réactive.

<sup>112</sup> Pour une revue de littérature, voir par exemple C. Sawatdeenarunat *et alii* (2016).

Cohendet (1984) à propos de la chimie des sucres, mais dans un article s'appuyant sur l'exemple du méthanol, et utilisant explicitement l'appellation de bioraffinerie dès 1980 :

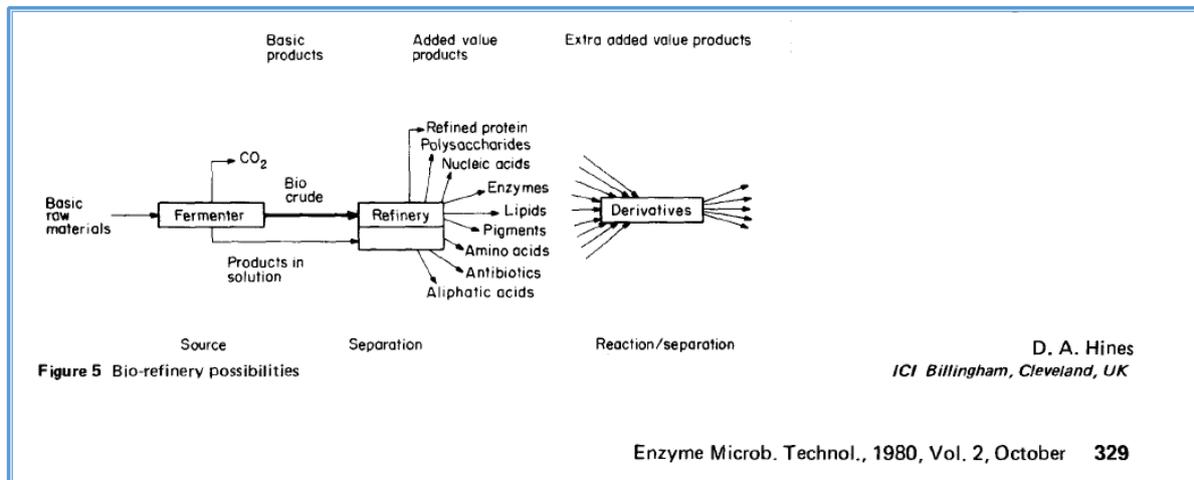


Figure 48 : une mise en forme de la bioraffinerie (d'après Cohendet, 1984)

De la même façon, la bio-industrie documente des voies de chimie des matériaux et de chimie de fonction. C'est donc dans les quatre thèmes du rapport sur les perspectives de la chimie en Europe qu'il faut rechercher les traces d'une problématisation de la bio-industrie et non dans un seul, celui de la chimie des sucres. Ce constat n'est pas surprenant si l'on suit les travaux d'U. Colombo (1980, 1982), qui va contribuer l'essor de Novamont, une entreprise phare de la reconversion de l'industrie chimique italienne vers l'usage du renouvelable. Dans son article de 1980, issu d'un rapport pour l'OCDE alors qu'il était responsable de la R et D de la Montedison, celui-ci défend l'idée de la nécessité d'une sorte de pluralisme technologique, en identifiant les champs d'activité où il est pertinent d'intervenir avec telle ou telle technologie, avec l'idée d'atteindre un meilleur équilibre entre production centralisée (*autour des ultimate plants*) et production décentralisée (Colombo, 1980, p.229).

La problématisation et la qualification dans la première bioéconomie peuvent donc être résumées ainsi :

	<b><u>Description (tensions sur les rapports)</u></b>
<b><u>Dynamique d'ordre institutionnel</u></b>	<p>Les bio-industries comme régénération du vieux tissu industriel</p> <p>Les bio-industries comme nouvelle grappe d'innovation radicale fournissant un nouveau cycle de croissance</p> <p>Intégration des risques chimiques et environnementaux</p>
<b><u>Rapport d'approvisionnement</u></b>	<p>Tensions liées à l'inversion du rapport d'approvisionnement ; des secteurs fournisseurs deviennent client et des secteurs clients de la chimie deviennent fournisseurs.</p> <p>Tensions liées à la nécessité d'une stabilité des approvisionnements d'origine renouvelable</p>
<b><u>Rapport commercial</u></b>	<p>Montée des protections par des droits de propriété intellectuelles</p> <p>Nécessité de constitution</p>
<b><u>Rapport financier</u></b>	<p>Tensions entre logiques financières (valorisation des business unit et restructurations aux logiques financières) et nécessités de financement de la recherche, de constitution de nouvelles unités (CAPEX) ou l'activité agricole</p>
<b><u>Relation d'emploi</u></b>	<p>Revisitée au niveau des qualifications exigées ; nécessités de compréhensions interdisciplinaires mettant à mal les spécialisations passées</p>

Figure 49 : La problématisation de l'espace méso des bio-industries et de la chimie à partir de la Revue d'Economie Industrielle (1981) et de Futuribles (1982)

### 3. De la bioraffinerie à la bioéconomie

Dans le jeu de qualification de l'espace méso qui donne lieu à problématisation, nous avons vu dans le passage précédent, et dans les travaux antérieurs à la thèse (Nieddu *et alii*, var.pub. ; Befort *et alii*, 2015) que la bioraffinerie est appelée à jouer un rôle particulier, à la fois en tant qu'objet technique et en tant qu'objet transitionnel structurant le champ. La bioraffinerie participe en effet d'une construction sémantique portée par la stratégie des fédérations de coopératives agricoles et des firmes de la chimie intéressées au renouvelable, telles qu'Arkema ou Novozymes, qui sont des acteurs capables de travailler sur le long terme un environnement institutionnel pour le modifier en leur faveur, et ce malgré le poids du secteur pétrolier qui a modelé celui des cinquante dernières années.

Ce terme de bioraffinerie s'est imposé au terme d'un tâtonnement dans la communication des agro-industries. Après le premier choc pétrolier, celles-ci remettent à l'agenda l'idée de produire des carburants liquides, essentiellement parce que la solution aux excédents agricoles est vue, non dans la maîtrise de la production, mais dans un retour aux débouchés non alimentaires qui avaient existé avant l'ère du « tout pétrole ». Le raffinage, opération bien connue de ces agro-industries, va être rebaptisé au début des années 2000 pour s'imposer dans les documents de la Commission européenne et ceux des acteurs concernés après 2007.

En tant qu'objet technique, la « bio » raffinerie veut se situer au cœur du nouveau régime sociotechnique, de la même façon que la raffinerie pétrolière a pu l'être dans celui qui prévaut encore aujourd'hui. Pour faire simple, cette dernière est un complexe industriel qui réalise la transformation de pétroles, aux qualités diverses (plus ou moins lourds, à plus ou moins haute teneur en soufre), par des opérations de craquage, purification, reformage, permettant de produire (1) des carburants liquides et de l'énergie (kérosène, diesel, fioul et essence) et (2) un très petit nombre de produits de base destinés à servir de précurseurs à une série d'intermédiaires dans la chimie de spécialité.

Le récit de la bioraffinerie va alors être celui d'un objet capable, à partir du carbone renouvelable, de faire le même chemin technique que celui du carbone fossile. Les exercices de « feuilles de route » menés par le ministère de l'Agriculture américaine, et adoptés à quelques variantes près par les Européens, évoqués dans le chapitre précédent, ont été conduits sous l'hypothèse que la structure de la chimie resterait inchangée. Ils visent à substituer terme à terme le petit nombre de grands intermédiaires issus de la raffinerie pétrolière par des produits ayant la même composition chimique, mais issus de la biomasse. Une étude américaine, devenue célèbre dans le monde de la chimie (Bozell, Petersen, 2010), retient ainsi une « petite liste » des « briques de base » (« *building blocks* ») issues de la biomasse, sélectionnées sur dire d'experts en croisant deux critères, l'espérance technologique de substitution rapide et la taille des marchés de substitution. Il est alors possible de concentrer les efforts de recherche et d'apprentissage sur l'obtention de ces produits à des coûts permettant de contester la chimie du pétrole, mais en reproduisant strictement les étapes de celle-ci. La bioraffinerie se conçoit donc dans un mimétisme parfait avec la pétrochimie. D'une part, elle se propose de se concentrer sur la production de carburants liquides, la valorisation de leurs coproduits ne visant qu'à permettre de renforcer la compétitivité de l'unité de production. D'autre part, pour la valorisation de ces coproduits, le produit final biosourcé (à base de carbone « bio ») ne peut se différencier du produit issu de la pétrochimie (à base de carbone fossile, qui n'est jamais que du « bio » très ancien) que par une datation au carbone 14 ; ce à quoi s'emploie la norme américaine de certification ASTM D6866 (Nieddu et Vivien, 2015).

Les travaux de représentations visent donc à mobiliser les acteurs autour d'un concept unifiant au-delà de leur diversité : « *it is expected that a sound and flexible classification approach will be able to deal with the various aspects of the biorefinery systems (both today's and future ones), and make the biorefinery area more accessible for stakeholders by improving the understanding biorefinery concepts* » (Cherubini *et alii*, 2009, p.536). La mise en forme vise donc à organiser une vision de l'espace global de la bioraffinerie. Dit autrement, cela participe à en structurer le champ, car on regroupe dans la même vision des technologies aussi différentes que des process thermochimiques et biotechnologiques en avançant qu'ils font partie du même monde ; de la même façon, l'exhaustivité revendiquée de tels schémas vise bien à désigner ce monde et ses frontières.

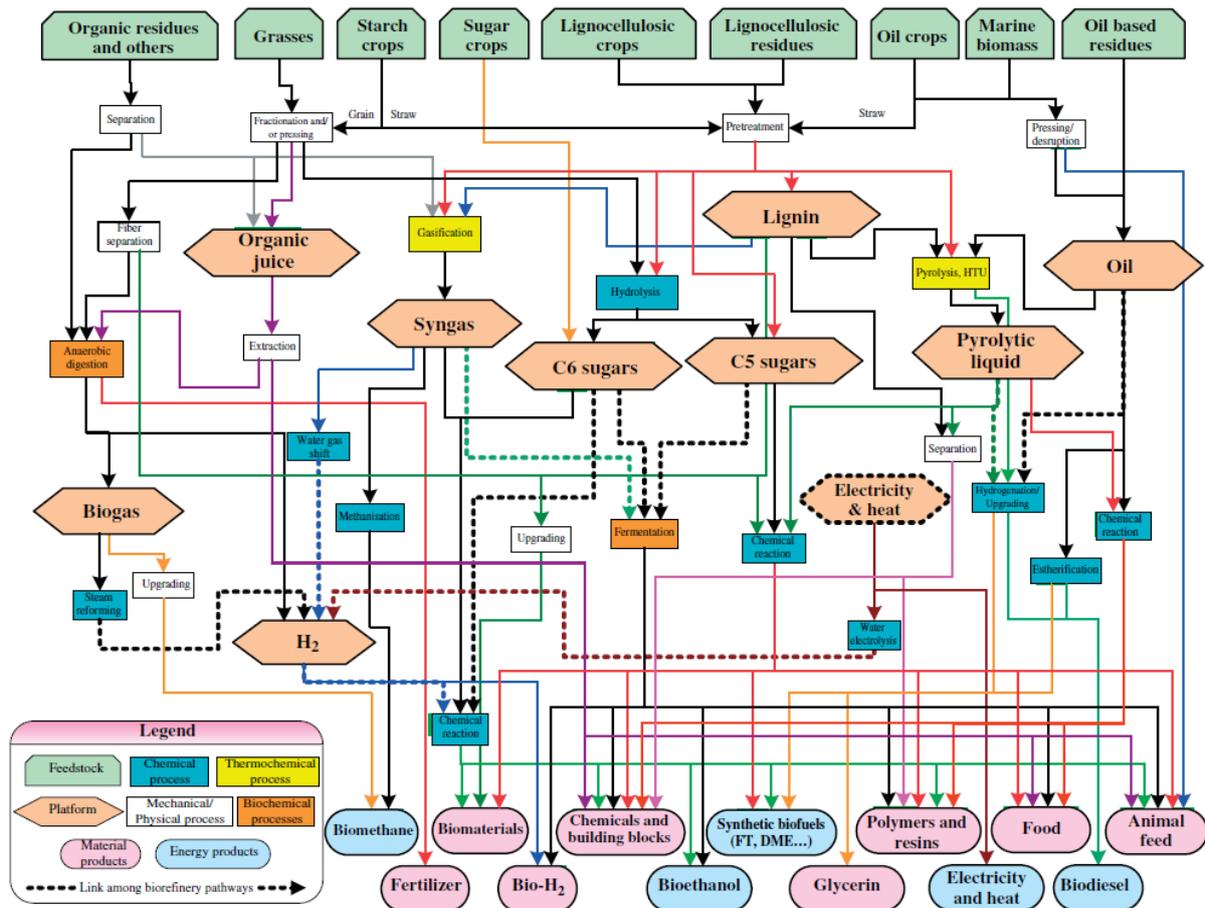


Figure 50 : La classification des bioraffineries de Cherubini *et alii* (2009, p.543)

Dans le schéma ci-dessus, on voit apparaître en rectangle jaune les process thermochimiques, et en orange les process biochimiques qui permettent d'atteindre des produits intermédiaires « plateformes » pour des produits visés par la parachimie et l'énergie. De fait, la fin des années 2010 voit s'imposer une autre opération sémantique, celle portant sur la bioéconomie, ouverte par les appellations de bio-industrie des années 1990, celle de la bioraffinerie et la réflexion globale sur la formation d'une économie de la connaissance. Elle va être déclinée en Europe sous la forme d'une **Knowledge Based BioEconomy (KBBE)**. C'est cette nouvelle phase sémantique, en tant qu'opération de « problématisation de l'industrie » qui est l'objet d'étude de ce chapitre tandis qu'on traitera des développements de molécules plateforme dans le chapitre suivant.

Pour ce faire, on va mener l'étude en deux temps : dans un premier temps on va retracer la genèse du terme bioéconomie dans ses différentes acceptations en mobilisant une étude bibliographique issue de l'interrogation du terme bioéconomie dans différentes bases d'articles scientifiques et institutionnels. Dans un deuxième temps, on va observer la constitution de feuilles de route nationales en rapport avec la bioéconomie (tels que le National Bioeconomy blueprint de 2012).

## 4. Méthodologie et sources mobilisée dans cette partie

Suivre les problématiques de l'industrie implique donc de suivre la façon dont les acteurs la qualifient. Cette qualification n'est pas neutre ; les jeux d'appellation recouvrent des projets différents et des tensions que les acteurs cherchent à prendre en charge en les inscrivant dans des pratiques institutionnalisées (notamment dans les formes d'engagement dans des régimes de production de connaissances et d'activités économiques données, et donc de soutien à la recherche et de mobilisation des acteurs publics). Ces tensions portent sur la façon dont des acteurs situés pensent les nouveautés et la façon dont ils pensent pouvoir les incorporer, en rassemblant ou mobilisant les patrimoines productifs collectifs auxquels ils ont accès. Elles portent donc aussi sur la façon dont ils cherchent à ordonner l'incertitude sur la diversité des voies technologiques pour arbitrer entre exploration de la variété et exploitation de voies particulières.

On mobilisera comme on vient de le faire pour représenter la qualification des bio-industries par ses acteurs, la caractérisation que les documents font des rapports institués de Jullien et Smith. Ceux-ci sont donc utilisés comme descripteur permettant d'interpréter la façon dont les acteurs problématifient le fonctionnement de la bioéconomie. Dans un second temps, ces résultats seront interprétés comme des logiques de qualification au sens de Billaudot (2010). La question de la coordination autour d'objets et de normes est traitée par Billaudot (2010) à partir de la distinction entre normes techniques et normes sociales. Les premières organisent les relations entre les Hommes et les objets alors que les secondes concernent les relations entre êtres humains. Le second type de normes que Billaudot distingue est les normes de qualification et les normes d'usage. Les normes de qualification visent à participer à définir ce que sont les normes techniques et sociales qui permettent de définir les objets dont elles relèvent. Les normes d'usages définissent la façon dont les objets sont engagés et par qui.

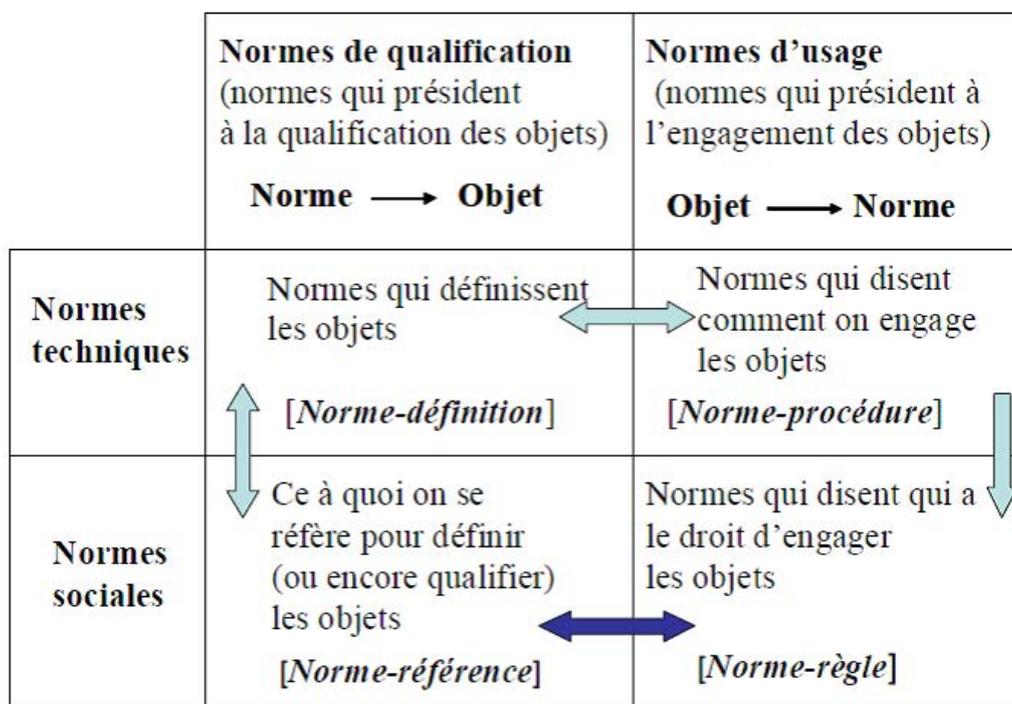


Figure 51 : Les entrecroisements entre normes (Billaudot, 2010, p.197)

Le deuxième intérêt de cette grille de lecture est de considérer la transformation d'objets en normes et inversement : « *En effet, quel que soit l'objet considéré, il y a des normes qui président à la définition (ou encore à la qualification) de cet objet – la conversion de normes en objets – et il y a des normes qui président à l'engagement de l'objet dans une activité – la conversion d'un objet en normes.* » (*Ibid.*, p. 196). De ce point de vue, on retrouve cette idée dans le cas de la bioraffinerie. Celle-ci est définie par analogie avec la pétrochimie et par rapport à ce qui est produit dans la bioraffinerie, en fonction des types de bioraffineries par exemple – bioraffinerie lignocellulosique, bioraffinerie multi-intrants, etc. Il s'agit donc de la « norme-définition ». En définissant la bioraffinerie ainsi, il est immédiatement fait référence aux techniques de *cracking* de la pétrochimie (norme-référence), mais aussi aux matières premières et à leur transformation (norme-procédure) et par conséquent, à ceux qui seraient susceptibles de mettre en œuvre ces techniques (norme-règle). Cet exemple illustre que ce cadre est adapté pour travailler l'émergence d'institutions, portées par des acteurs et ancrées dans des patrimoines productifs collectifs.

Le troisième intérêt de cette grille est qu'elle peut être adaptée à la formation d'un espace de régulation mésoéconomique comme le montre Buchs (2016) grâce au cas de la gestion de l'eau dans le canton de Fribourg en Suisse. L'auteur monte qu'à partir de la notion de « gestion intégrée par bassin » qui structure la formation de politiques publiques hétérogènes s'établit un compromis localisé régulant la gestion de l'eau. Dès lors, on se propose de travailler les différents points d'entrée exposés précédemment à partir de cette grille. C'est-à-dire que l'on se propose de partir de la troisième bioéconomie comme compromis institutionnalisé, et étudier la variété des compromis locaux qui se forment dans ce champ, et participent à fonder une bioéconomie.

## CHAPITRE 4 – NON PAS UNE, MAIS TROIS BIOECONOMIES

Depuis le milieu des années 2000, on assiste à une mobilisation croissante de termes renvoyant à une « bioéconomie » ou à une « *biobased economy* ». On se souviendra par exemple que l'Union européenne a érigé le développement d'une « *Knowledge Based Bio-Economy* » comme stratégie de développement économique au tournant des années 2000. Une interrogation de la base de données Scopus pour les termes « *bioeconomy* » et « *biobased economy* » pour la période 1950 (qui n'apparaît pas sur le graphique) – avril 2016<sup>113</sup>.

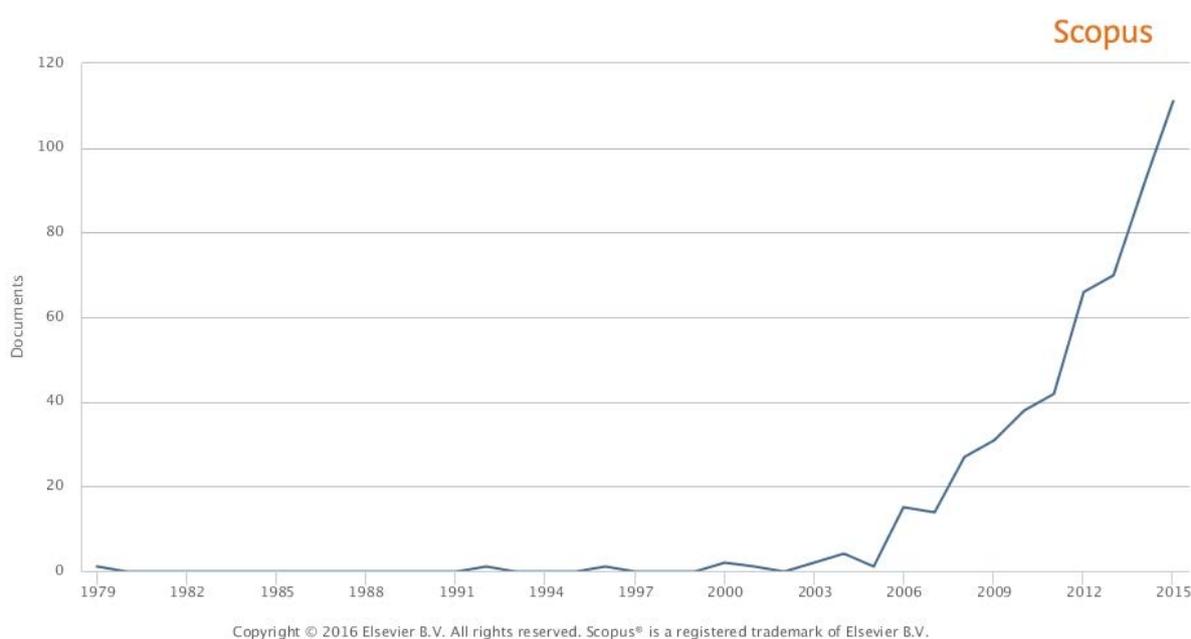


Figure 52 : L'apparition soudaine des termes "bioeconomy" ou "biobased economy" dans les publications scientifiques (base de données scopus)

Si l'origine du mot est incertaine, du moins à propos de la date stricte d'émergence, trois formes de mobilisation de ce terme peuvent être identifiées. Ces formes de mobilisation renvoient à des régimes de productions de connaissances et d'activités économiques hétérogènes. Les approches d'économie industrielle institutionnaliste (ou d'inspiration) nous rappellent que « *it is essential to note that institutional factors contribute greatly to the the shaping of these configurations* » (Coriat et alii, 2003, p.234). Il s'agit donc ici de chercher à identifier les compromis institutionnalisés *hégémoniques* qui fondent la bioéconomie de la bioraffinerie. Pour cela, nous décrivons les architectures institutionnelles de chacune des bioéconomies. Nous défendons l'idée que la bioéconomie des acteurs des agro-industries et de la chimie (la troisième bioéconomie) cherche à réaliser *en son sein* le

<sup>113</sup> Notons qu'au 21 avril 2016, date de l'interrogation de la base de données, il y avait déjà autant d'articles publiés avec les mots-clés utilisés que pour toute l'année 2006.

compromis hégémonique entre les trois bioéconomies, c'est-à-dire pour être précis, au sein de son « économie des apprentissages » évoquée dans le chapitre deux. Pour cela, nous nous appuyons sur les discours d'acteurs problématisant la bioéconomie. Puis, les « principes » seront reportés dans des tableaux synthétisant les rapports institués d'une part, et les jeux de qualification des objets d'autre part. On disposera donc, *in fine*, d'une série de représentations que l'on pourra relier à partir de la façon de concevoir le fonctionnement de l'industrie, les rapports d'approvisionnement, etc. Enfin, nous illustrons le compromis institutionnalisé au sein de la troisième bioéconomie par une étude du pôle IAR.

# 1. La bioéconomie et la place des systèmes productifs dans les écosystèmes

Dans leur article pour Biofutur, Nieddu et Vivien (2016, à paraître), expliquent que le terme de bioéconomie a été inventé dans les années 1920 par le biologiste russe T.I. Baranoff pour désigner l'économie des pêches. Il se diffuse à partir des années 1950 – et s'étend à l'ensemble de l'économie des ressources renouvelables à mesure que l'on constate une pression accrue sur ces ressources, du fait de leur exploitation industrielle. Au cours des années 1970, alors que la crise environnementale globale est de plus en plus reconnue, le terme de bioéconomie est utilisé par les économistes Nicholas Georgescu-Roegen et René Passet pour caractériser les liens entre l'économie et la Biosphère.

Nieddu et Vivien expliquent alors que l'expression de bioéconomie marque d'abord le fait que, pour ces auteurs qui se sont inspirés des travaux de l'économiste autrichien Joseph Alois Schumpeter, le développement économique doit être vu comme le prolongement de l'évolution biologique. Mais en comparaison d'autres espèces, les rapports qu'entretient l'homme avec la nature sont complexifiés par l'importance grandissante de la technique, qui permet d'étendre le champ d'action de l'humanité. La bioéconomie, telle qu'elle est conçue alors, pose la question du contrôle social des évolutions technologiques, mais aussi celle du respect des contraintes environnementales qu'elles sont susceptibles de rencontrer. La bioéconomie, au sens de Georgescu-Roegen et de Passet, est une économie qui doit être au service du vivant, du « plein développement » de « tout l'homme et de tous les hommes », pour parler comme François Perroux, et de la reproduction de la biosphère, sans laquelle on ne peut raisonnablement penser un développement sur le long terme.

C'est Georgescu-Roegen qui va donner sa visibilité au terme bioéconomie au moment où il s'engage dans les débats autour du rapport du Club de Rome. Pour Georgescu-Roegen, « *l'homme doit lutter contre la loi de l'entropie. Mais, à la suite de Schumpeter, Georgescu-Roegen souligne que l'évolution biologique de l'espèce humaine (endosomatisme) s'est poursuivie sur le plan « exosomatique» (...).* » (Nieddu et alii, 2014, p.15). Ainsi, pour survivre, l'Homme a été contraint à développer des techniques et à utiliser des matières premières d'origine minérale – en opposition à la nourriture appartenant à l'entropie biologique, et substituant depuis la Révolution industrielle des sources de basse entropie biologique par des sources de basse entropie minérales. Dès lors, il vient la question de l'épuisement des ressources minérales et notamment dans l'agriculture, lorsqu'elle les mobilise en introduisant des machines ou des intrants chimiques (Vivien, 1999) fondés sur celles-ci. Chez Passet, la perspective de la bioéconomie est celle d'un « nouveau paradigme » considérant que l'économie est un sous-système de la sphère sociale, elle-même ancrée dans la biosphère qui est un système englobant.

Passet (2010) précise qu'il se distingue de Georgescu-Roegen sur la question de la compréhension physique du monde. Ce point nous intéresse particulièrement, car il va nous ouvrir sur la conception en termes d'économie circulaire et pour une autre raison : l'économie raisonnant en termes de ressources, qu'elles soient fossiles ou naturelles est une économie de la rareté ; or ce qui caractérise le monde physique n'est pas la rareté, mais l'abondance. En effet, c'est l'abondance de l'énergie solaire qui engage l'ensemble des transformations physiques de cette énergie, par la photosynthèse dans des formes de vie. Seule une très petite partie de cette énergie est utilisée dans les processus vivants.

Le premier s'inscrit dans une vision en termes de système clos alors que le second, Passet, se situe en système ouvert : « *la planète, en effet, est un système ouvert sur l'énergie solaire qui la traverse, anime les grands cycles naturels et assure sa reproduction ; aussi longtemps que rayonnera cette énergie, le mouvement économique pourra se poursuivre à condition de se maintenir dans le cadre strict de la capacité de reproduction des ressources et d'autoépuration des milieux (...)* » (Passet, 2010, p.897). Cette conception ouvre le problème de la régulation des échanges entre les systèmes naturels et les systèmes sociaux : « *il nous faut donc explorer les mécanismes dont dépendent la reproduction et l'évolution complexifiante des écosystèmes naturels et humains afin de les confronter avec ceux qui caractérisent les activités économiques, déceler les conflits entre ces deux modes de régulation et tenter de formuler les principes d'une possible harmonisation sans laquelle aucun développement durable ne saurait se concevoir. Une véritable bioéconomie s'attache à tout cela* » (Ibid., p.897). Dès 1983, Passet s'interrogeait sur la mise en place d'instruments de mesure de la productivité énergétique : « *dans le domaine industriel, l'analyse écoénergétique permet d'évaluer l'efficacité réelle des systèmes de production, comparée à l'efficacité théorique des processus thermodynamiques sur lesquels ils reposent* » (Passet, 1983, p.193).

#### **Une réflexion sur l'économie de l'abondance en tant que bioéconomie**

**In Allaire et Daviron (2014) « Renouveler les approches institutionnalistes sur l'agriculture et l'alimentation : la "grande transformation" 20 ans après », Montpellier 16-17 juin 2014, plénière Agriculture et industrialisation**

*« Dans « La part maudite » (1947), l'écrivain et philosophe Georges Bataille développe l'idée que la nature (au fil des âges) comme les sociétés humaines (au fil des siècles), absorbent un flux croissant d'énergie et que celle-ci se trouve toujours excédentaire, ce qui pose la question de l'utilisation de cet excédent par les sociétés humaines. Le point de départ de l'hypothèse de la part « maudite » est que « le soleil donne sans jamais recevoir, il y a donc nécessairement une accumulation qui ne peut se dépenser que dans l'exubérance et l'ébullition » (présentation de J Piel). Il y a toujours excès. Un excès d'énergie qui est « dépensé » par la vie en développement, qui occupe tous les recoins de la planète. Le développement des formes de la vie avec la reproduction sexuée, l'apparition des végétaux, puis des herbivores, puis des carnivores, puis de l'humanité et la complexification des formes de vie, permet à l'ensemble du vivant de mobiliser et dépenser plus d'énergie. Il ne s'agit pas d'une analogie entre le développement de la vie sur terre et celui de l'humanité, mais d'une continuité. Comme le dit Marc Guillaume (1978) ; « Cette vision se résume dans la proposition suivante : ce n'est pas la nécessité et la rareté, mais leurs contraires, le luxe et l'excès, qui sont à l'origine des problèmes fondamentaux de l'humanité. (...) L'apparition même de l'homme peut être interprétée comme une réponse au problème de l'excès d'énergie, mais elle ne fait que repousser le problème, la société humaine restant soumise à la fatalité de l'excès. » Si l'on suit cette analyse, l'industrialisme est une manifestation de cette fatalité. ».*

Figure 53 : Bioéconomie et économie de l'abondance

Les évaluations écoénergétiques telles que les ACV et les représentations en termes d'économie circulaire (Debref et alii, 2016) sont des tentatives pour intégrer cette bioéconomie dans le monde industriel, et pour les acteurs industriels, dans la construction de leur discours de développement soutenable :

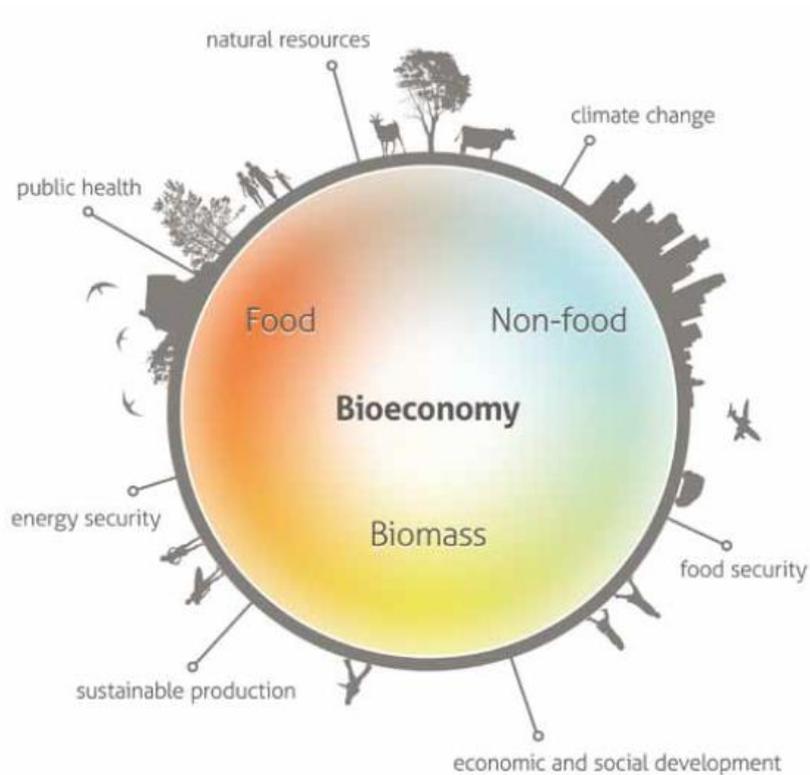


Figure 54 : Une vision des problématiques dans le système de la bioéconomie (projet BECOTEPS)

C'est parce que les acteurs de la bioéconomie du troisième type cherchent à intégrer cette première bioéconomie dans leur représentation de l'activité industrielle que nous y prêtons attention. Le document, ci-dessous est issu d'un power-point de présentation de la bioéconomie du troisième type.

**Bioéconomie: une économie circulaire ...par nature**

**Photosynthèse**

Source: European Space Agency

**Photosynthesis** - taking solar energy, water & CO<sub>2</sub> to produce fuel & oxygen

Credit: Zina Deretsky NSF

**Cycle du Carbone**

Source: Climate Change Knowledge

Source: Oak Ridge National Lab.

Figure 55 : La mise en forme de la bioéconomie comme économie industrielle circulaire (Chauvet, 2014)

La seconde illustration vise à organiser le discours entre, d’une part, les grands cycles naturels de la photosynthèse, et d’autre part, la place de ces matières au sein des procédés industriels, organisant une « économie circulaire ».

La problématisation et la qualification dans la première bioéconomie peuvent donc être résumées ainsi :

<u>Rapport</u>	<u>Description</u>
<u>Ordre institutionnel</u>	La bioéconomie comme nouveau paradigme qui considère le système économique comme un sous-système appartenant à la sphère sociale, elle-même prise dans l’environnement.
<u>Rapport d’approvisionnement</u>	Approvisionnement dans des boucles de flux de matière (comme les effluents d’industries voisines par exemple)
<u>Rapport commercial</u>	X
<u>Rapport financier</u>	X
<u>Relation d’emploi</u>	X

Figure 56 : Les rapports institués de la première bioéconomie

Si l’on renseigne le tableau des normes mises en œuvre proposé par Billaudot, on obtient ceci.

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d’usage</b> (normes qui président à l’engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Durabilité, recyclage, capacité à être déconstruit et être dégradé (biodégradabilité)	Comme objet consommé et comme source de matière première en fin de vie Réalisation d’analyses de cycles de vie
	<i>[Norme – définition]</i>	<i>[Norme – procédure]</i>
<b>Normes sociales</b>	Discours sur l’économie circulaire La bioéconomie comme nouveau paradigme qui considère le système économique comme un sous-système appartenant à la sphère sociale, elle-même prise dans l’environnement.	Engagement dans la première bioéconomie en appartenant à une boucle de flux de matières (avec d’autres industries par exemple)
	<i>[Norme – référence]</i>	<i>[Norme – règle]</i>

Figure 57 : Les dynamiques de qualification dans la première bioéconomie

## 2. La bioéconomie comme rupture schumpetérienne grâce aux biotechnologies

La bioéconomie de type 2 est celle des biotechnologies. Aguilar *et alii* (2013) replace l'émergence de la bioéconomie dans le prolongement de la mise en évidence de la structure de la molécule d'ADN en 1953 par Watson et Crick d'une part, et la régulation de la synthèse des protéines par Monod et Jacob en 1962 d'autre part. Les avancées des années 60 ont ouvert « *a second period, full of questioning followed closely in the wake of the first, one which proved to be very much contextual to policy work inside European institutions. It corresponded to the early 1970s, during which time scientific elites all over the world were addressing the responsibilities of researchers in molecular and cellular biology and the potential for fully mastering the most vital processes involved in the replication of life itself and, ultimately, the generation of new living forms* » (Aguilar *et alii*, 2013, p.411). Un élément de ce contexte est celui de la Guerre froide qui a été l'occasion d'un affrontement sur les développements scientifiques autour de nouvelles formes de guerre à partir de l'arme biologique ; elle a conduit les États-Unis à chercher à dominer la production scientifique soit en attirant les chercheurs dans ses centres soit en organisant des traités et conventions instituant notamment l'European Molecular Biology Laboratory et l'European Molecular Biology Organisation, tous deux en Allemagne.

### 2.1. Les dispositifs institutionnels qui ont permis le développement des biotechnologies aux États-Unis

Parallèlement, les États-Unis ont reconnu à la fois la possibilité de breveter le vivant et mis en place une série de dispositifs institutionnels qui ont favorisé le développement des biotechnologies industrielles, avec comme emblème la « start-up fondée sur la science » (au sens que lui donne Orsi, 2007) (Carpentier *et alii*, 2007). En juin 1980, le règlement de l'affaire Diamond vs. Chakrabarty par la Cour Suprême des États-Unis a reconnu qu'une bactérie inédite, produite génétiquement pouvait être brevetée, ainsi que les procédés permettant cette production. Cette même année *Bayh Dole Act* a accentué cette autorisation à breveter le vivant, toujours à l'exception de l'espèce humaine. Il institue le droit pour les Universités et les laboratoires publics de breveter leurs découvertes alors qu'auparavant, elles appartenaient à l'agence fédérale qui avait financé la recherche. De plus, la propriété intellectuelle est devenue transférable sous forme de licences exclusives ouvrant la voie à la formation des *Technology Transfer Office* (TTO), c'est-à-dire des organisations chargées de déposer les brevets et de gérer les accords entre les Universités et les entreprises.

Carpentier *et alii* (2007) montrent également que le développement des biotechnologies a été permis par la modification des structures de financements par quatre formes de mobilisations de capitaux externes à la firme : les financements publics, le soutien des grandes firmes aux *start-ups*, les capitaux-risques et les marchés boursiers. Par ailleurs, les fonds de pension ont été autorisés à investir dans des entreprises risquées sur les marchés financiers, et les conditions d'accès au NASDAQ ont été assouplies, permettant à des entreprises non bénéficiaires d'accéder aux marchés financiers. C'est la recherche interne et la détention de brevets et donc la détention d'actifs immatériels qui est utilisée comme garantie sur ces marchés (Coriat *et alii*, 2013). Cette évolution des modes de financement ouvre la voie à l'émergence d'une économie des promesses technico-économiques dans les biotechnologies (pharmaceutiques ou non) sur la production de brevets, et donc d'actifs immatériels qui vont justifier les financements (Joly, 2010).

Enfin, l'institutionnalisation du transfert de technologies est le résultat de la « réorientation des politiques publiques favorisant l'essai public et la production de connaissances au sein de réseaux de ressources associant laboratoires publics et PME intensives en recherche » (Carpentier et alii, 2007, non paginé). Chiaroni et Chiesa (2006) distinguent les *clusters* européens des biotechnologies (à l'exception des *clusters* britanniques) des *clusters* américains anglo-saxons sur la place des pouvoirs publics dans le champ (ce qui ne veut pas dire qu'ils ne soient pas mobilisés dans les deux cas) : les premiers sont impulsés par les pouvoirs publics, autour de pôles de recherche principalement publics alors que les seconds seraient avant tout développés par les acteurs eux-mêmes (à partir de pôles de recherche également) « *to favour the connections among the actors in the cluster, to conduct lobby actions towards governmental actors, and to promote the cluster internationally* » (Chiaroni et Chiesa, 2006, p.1074).

## 2.2. Importation des dispositifs institutionnels américains et problématisation de la deuxième bioéconomie

La problématisation de la deuxième bioéconomie « emprunte la métaphore de la triple hélice d'ADN, pour décrire une articulation forte entre industries, universités et acteurs publics » (Nieddu et alii, 2014, p.18). Cette articulation est mise en forme dans des *clusters* (comme le pôle de compétitivité IAR ou le Cluster Industrielle Biotechnologie en Allemagne) équipés de plateformes technologiques ou d'outils de démonstration. L'importation du discours sur les *clusters* remonte à la stratégie de Lisbonne et à sa version amendée de 2003 comme en témoigne la citation suivante, extraite de la communication de la Commission européenne : « *La coopération réussie avec d'autres entreprises et les pouvoirs publics impose la création de « grappes d'entreprises » (clusters<sup>114</sup>) complémentaires, géographiquement concentrées, interdépendantes et concurrentes. Les conditions du marché et la demande des consommateurs jouent aussi un rôle important. Certains paramètres comme la concurrence, l'apport en capitaux, l'environnement réglementaire peu contraignant, l'existence d'une main-d'œuvre qualifiée et mobile sont également nécessaires au développement de procédés novateurs.* » (Commission européenne, 2003). Le concept de « clusters » fait alors son entrée dans le discours stratégique de l'Union européenne.

Dans une étude financée par la Commission européenne publiée en 2006 dont le but est d'identifier les facteurs de succès, Chiaroni et Chiesa comparent les *clusters* européens et américains. Ils établissent que les premiers résultent de choix de politiques publiques alors que les seconds auraient émergé spontanément. Ainsi, le développement de *clusters* que décrivent les auteurs relève soit de la volonté de maintenir une activité industrielle sur un territoire dans le cas du *cluster* Biovalley dont l'existence est due à la fermeture de Novartis dans la région frontalière entre la France, l'Allemagne et la Suisse, soit de la « requalification » d'activités existantes comme dans le cas du *cluster* d'Heidelberg, ancré dans le *Rhein-Neckar* ou le cas du *cluster* de Milan.

Dans le cas d'Heidelberg, cette zone géographique est commune à trois *Länder* : le *Rheinland-Pfalz*, *Hessen* et le *Baden-Württemberg*. Or ce *cluster* comprend un certain nombre de grandes entreprises comme John Deere et surtout, BASF et son usine de Ludwigshafen. Cette zone dispose d'une longue tradition de coopération attestée depuis les années 60, est structurée par une politique

---

<sup>114</sup> Surligné par nous.

de développement de parcs industriels (de recherche et de production) et a été qualifiée de « Bioregion » par le gouvernement allemand.

Concernant Milan, les auteurs soulignent qu'il s'est agi d'organiser les relations entre l'Université et l'industrie : « *In the years 2000-2002, the local and central government implemented actions and funding programmes aimed at fostering the creation of new biotech companies as industrial spin-offs. On the one hand, public actors facilitated the transfer of facilities and intellectual properties from their parent company to the new DBFs* » (Chiaroni et Chiesa, 2006, p.1071). Dans les deux cas, il s'agit donc d'organiser selon une logique de clusters, c'est-à-dire un système de percolation spontanée entre acteurs – que nous différencions des trajectoires d'apprentissage supposant l'instauration de structures et de problématiques dédiées. Mais les auteurs soulignent également le rôle des universités dans la plupart des *clusters* et utilisent le nombre de création de *start-ups* comme un facteur de réussite. Enfin, dans leurs conclusions, les auteurs insistent sur la nécessité de mobiliser la finance pour la réussite des *clusters*.

En 2008, l'Union européenne a publié le « European Cluster Memorandum » qui sert de feuille de route dans la stratégie de développement industriel en Europe et reprend les conclusions de Chiaroni et Chiesa : « *Regions that combine risk capital, skills, and research excellence with strong cluster portfolios face more opportunities to become innovation hubs, while regions with no clusters or isolated research risk falling behind (...) This means turning ideas, opportunities, unique capabilities and 'intellectual capital in-waiting' into tangible real value.* » (The European Cluster Memorandum, 2008, pp.1-2). Ce point est à relier à l'action de l'European Biotechnology Network, c'est-à-dire le *lobby* des sciences de la vie industrielles, en faveur d'un brevet européen. Ainsi, C. Skentelbery, secrétaire générale de l'organisation écrivait en février 2013 : « *All the hard work I invested in 2012 to rescue the Eurozone with biotechnology has reaped a new reward in 2013, as the European Parliament and Council finally approved the European patent in December. We can now look forward to a revolution in the commercialisation of innovation, as a unified Europe opens the doors to lower cost and wider impact patents.* »<sup>115</sup> (Skentelbery, 2013). La propriété intellectuelle est donc bien au cœur de la stratégie de développement dans les biotechnologies, suivant en cela l'inspiration du modèle américain.

---

<sup>115</sup> <http://www.european-biotechnology-news.com/people/heard-in-brussels/2012/patents-dancing-in-the-spring.html>, consultée le 17/05/2016.

## \* KEY STEPS FOR CLUSTERS AND EMERGING INDUSTRIES



Figure 58 : la mise en récit de l'usage des clusters par la Commission européenne (d'après Buescher, 2013)

Le lancement de l'Observatoire Européen des Clusters a consisté en la réalisation de l'inventaire des *clusters* existants, participant donc à mobiliser les industries existantes, allant dans le sens de notre hypothèse. Par conséquent, la stratégie des biotechnologies doit être reliée à la nécessaire démonstration de sa crédibilité, sinon de ses réussites qui ne peuvent être immédiates pour au moins deux raisons. D'une part, Chiaroni et Chiesa (2006) rappellent que pour des questions de financement, les firmes des biotechnologies doivent réaliser la démonstration de la faisabilité de leurs procédés, permettant d'attirer des fonds publics entraînant celle des capitaux risqués. Ils prennent ainsi l'exemple du *cluster* d'Heidelberg dont les *start-ups* des biotechnologies ont perdu leurs investisseurs financiers après le retrait du soutien de l'État.

D'autre part, la promesse de réussite par des projets démonstratifs à visée médiatique permet à ces firmes de passer des accords de codéveloppement. Par exemple, Global Bioénergie est une firme issue du Génomopôle d'Évry. Elle annonce opportunément sa capacité à produire de l'isobutène à partir d'une bactérie modifiée génétiquement, une molécule particulièrement intéressante d'un point de vue économique, lorsque les gaz de schiste viennent perturber la filière pétrolière dont le butène était un coproduit fatal. Elle en a réalisé la démonstration sur Biodémo, le pilote de démonstration du pôle IAR avant de formuler un accord de licence avec Cristal Union pour développer une unité de production. Par conséquent, le développement des biotechnologies industrielles nécessite la prise en charge collective de la démonstration de faisabilité technique. Lors de l'inauguration de ses nouveaux bâtiments en juin 2015, ARD, outil de recherche de la coopération agricole champenoise, a par exemple regretté de ne pas avoir été sélectionnée dans les projets européens Horizon 2020 (qui prolongent la stratégie de Lisbonne<sup>116</sup>) pour réaliser les démonstrations industrielles. Ce sont d'autres pilotes, comme le Bio Base Europe Pilot Plant installé en Belgique, qui reçoivent ce soutien : la concurrence entre acteurs passe donc par ces mécanismes institutionnalisés de construction de

<sup>116</sup> Ce processus est détaillé plus loin dans cette section.

patrimoines collectifs. C'est une position assumée par la Commission européenne si sourcilleuse sur les distorsions de concurrence, mais qui organise la concurrence par les fonds européens entre les différentes unités pilotes disponibles en Europe, conformément à la mise en concurrence des *clusters* affirmée dans le European Cluster Memorandum de 2008<sup>117</sup>.

Le fonctionnement de la deuxième bioéconomie peut être résumé comme suit :

<u>Rapport</u>	<u>Description</u>
<b><u>Ordre institutionnel</u></b>	La bioéconomie comme révolution technologique des biotechnologies appliquées à un grand nombre de secteurs (chimie, agriculture, santé, alimentation)
<b><u>Rapport d'approvisionnement</u></b>	Forte mobilisation de la science pour la production de brevets, rôle des producteurs de levure. Rôle des <i>clusters</i> pour soutenir l'émergence des industries
<b><u>Rapport commercial</u></b>	Achats et ventes des licences d'exploitation
<b><u>Rapport financier</u></b>	Quatre formes de mobilisation de capitaux externes à la firme : financements publics, soutien des grandes firmes aux <i>start-ups</i> , capitaux-risques, marchés boursiers
<b><u>Relation d'emploi</u></b>	Gestion des compétences, et recrutements de chercheurs sur laboratoires interdisciplinaires dédiés

Figure 59 : Les rapports institués dans la deuxième bioéconomie

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d'usage</b> (normes qui président à l'engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Définition du champ des biotechnologies par la technologie (fermentation, manipulation génétique, etc.)	Engagement des process développés par des accords de licence ou développement des <i>process</i> grâce à la mobilisation de la recherche académique
	<b>[Norme – définition]</b>	<b>[Norme – procédure]</b>
<b>Normes sociales</b>	Révolution schumpétérienne, un nouveau secteur emmenant la croissance  Définition et qualification des acteurs par rapport à leur capacité à déposer des brevets et lever des fonds (capitaux-risques, introduction en bourse)	Engagement dans des projets de recherche, détention de brevets, engagement dans des accords de codéveloppement ou des <i>joint-ventures</i>
	<b>[Norme – référence]</b>	<b>[Norme – règle]</b>

Figure 60 : Les logiques de qualification de la deuxième bioéconomie

<sup>117</sup> Un tableau récapitulatif des *clusters* de la bioéconomie est présenté en introduction de la section 1.4..

### 3. La bioéconomie de la bioraffinerie

Contrairement au discours sur les biotechnologies se présentant comme une « révolution », la troisième bioéconomie, celle de la bioraffinerie, sa problématisation est celle d'une « *grande transition vers un usage généralisé des ressources renouvelables* » (pour reprendre l'expression de Nieddu *et alii*, 2014), qui s'inscrit dans la trajectoire évoquée dans le chapitre précédent reliant *chemurgy* du début 20<sup>e</sup> siècle, bioindustries du début des années 1980 et recherche de solution aux excédents agricoles des années 1980-90.

Bioraffinerie de 1980	Retrouver l'autonomie énergétique nationale dans un contexte de chocs pétroliers.
Bioraffinerie du début des années 1990	Trouver de nouveaux relais de croissance pour l'agro-industrie et la papeterie ; problématique des VANA (valorisations agricoles non alimentaires)
Bioraffinerie des années 2000	Développement durable et transition vers l'usage des ressources renouvelables. Insertion dans l'économie de la connaissance.

Figure 61 : la bioraffinerie et ses principes de justification successifs

Il est important de repérer ici comment les acteurs jouent de champs situés à des niveaux différents pour recomposer leurs systèmes d'alliance et requalifier leur problématisation de l'industrie dans un sens leur permettant de constituer les coalitions politiques et économiques dont elles ont besoin. L'émergence de l'orientation de la Commission européenne vers une Économie de la connaissance est l'occasion pour ces acteurs de proposer une requalification de leurs projets liés aux agrocarburants et aromatisés.

#### 3.1. La « Knowledge Based BioEconomy »

Elle prend place, institutionnellement du moins, dans la Stratégie de Lisbonne lancée par la Commission européenne au tournant des années 2000, que les acteurs déclinent sectoriellement sous la forme d'une « Knowledge Based Bio-Economy » (KBBE). Le rapport d'évaluation de la KBBE<sup>118</sup> publié en 2010 résume l'ambition de cette politique européenne ainsi : « *when the European Commission developed the concept of the KBBE, it was with the aim of developing the European bio-economy so that it could compete on a global level and build on European strengths. These included excellence in science, technology and in industry to deliver innovation, world leadership in food technologies and products and animal breeding technologies, and having a strong chemical and manufacturing industry base. Over the last five years, within the Commission, research and innovation have provided the main supporting policies for the KBBE. To support this initiative, 9 KBBE specific European Technology Platforms (ETP) were set up, and research in the area of the KBBE has been promoted and financed through the Commission's Framework Programme 7 and several Member State initiatives* » (Clever Consult, 2010, p.5). Cette citation souligne l'importante recomposition des frontières des différents dispositifs institutionnels déployée par la Commission européenne pour organiser cette KBBE.

<sup>118</sup> Notons que ce rapport a été rédigé par Clever Consult, qui est le lobby des biotechnologies à Bruxelles (du moins, celui de la deuxième bioéconomie), dont l'ancien dirigeant (qui a participé à la rédaction du rapport) est désormais le dirigeant du PPP BioBased Initiative (BBI) européen sur la bioéconomie (cf. chapitre 5).

Une telle recomposition n'allait pas de soi : il faut bien imaginer que ce bricolage institutionnel aurait pu aboutir à d'autres formes. Par exemple, on aurait pu imaginer que le « *food* » soit séparé du « *no-food* », (avec le risque pour l'agriculture industrielle de perdre sa mainmise sur ce domaine et de la remise en cause de son modèle de développement en alimentaire et non-alimentaire) ; on aurait pu imaginer un autre « bricolage », démembrant entre les plateformes s'occupant de l'énergie et celles s'occupant de la chimie, ou centré sur la bioéconomie du deuxième type. Or la bioéconomie du deuxième type est annexée dans ce dispositif au service de la KBBE.

Parallèlement à la mise en place des ETP, les réseaux ERA-NET ont été lancés afin d'organiser la formation de projets de recherche entre différents pays ainsi que des groupes d'experts comme le EU Standing Committee for Agriculture Research (SCAR) qui a fini par s'approprier la question de la bioéconomie comme en témoigne la production de son rapport « **WHERE NEXT FOR THE EUROPEAN BIOECONOMY ?** » (SCAR, 2014) par exemple.

### 3.2. De la KBBE à la bioéconomie tout court

Les auteurs du rapport d'évaluation des avancées dans la KBBE soulignent que les points critiques nécessitant des développements ultérieurs sont « *the current and future availability of biomass feedstock for food, feed, energy and industrial material use in Europe* » (Clever Bio, *Op. cit.*, p.6). Ainsi, la production de matériaux est associée à la bioraffinerie dont on note qu'elle constitue la mise en forme d'une perspective devant intégrer les différents aspects évoqués dans la citation précédente : « *in Europe, there is also a growing focus on biorefineries. These use biological matter (as opposed to petroleum or other fossil sources) to produce transportation fuels, chemicals, and heat and power. Because they combine and integrate the technologies necessary to convert renewable raw materials into industrial intermediates and final products, they can straddle the whole value chain* » (*Ibid.*, p.7). Les auteurs rappellent que le terme de bioraffinerie est choisi par analogie avec celui de la raffinerie pétrolière. Celui-ci s'appuie sur un récit de l'émergence de la bioraffinerie en trois phases (Nieddu *et alii*, 2014) :

- 1) La première bioraffinerie aurait été développée selon une logique « une seule matière première, un produit » dédiée à la production de carburants liquides (biodiésel et éthanol). Mais ces productions génèrent des coproduits dont la gestion de la fin de vie (par le réemploi dans le cas du glycérol et la production de biodiésel) doit être assurée.
- 2) La deuxième génération de bioraffinerie assure la valorisation des coproduits de la bioraffinerie et propose donc une variété de production dont l'articulation dans le modèle économique dépend de la production principale.
- 3) La troisième génération devrait émerger d'ici 2020. Il s'agirait d'unités de production à même de gérer plusieurs matières premières et productions, et de modifier les itinéraires de production en fonction des cours mondiaux des matières premières.

### 3.2.1. Articuler matières premières/procédés/produits pour construire un modèle de bioraffinerie

Cette représentation s'appuie sur une représentation initiale de la bioraffinerie en termes d'outil de production de biocarburants. Or on a rappelé que dès les années 80, on a pu noter l'émergence d'exercices de prospective sur le devenir de la chimie et de ses rapports avec ce qui était appelé la « bio-industrie » par exemple dans le numéro spécial de la Revue d'Économie Industrielle de 1981, décrit plus haut. Plus tard, à partir des États-Unis, ont été produites des « feuilles de route » visant à définir les produits qui feraient partie de la bioraffinerie (Nieddu *et alii*, 2010). Ce travail d'identification des « produits pertinents » ne couvre pas la seule production de biocarburants, mais bien une variété de produits pour une variété d'intrants, mais dans une description ordonnée. L'ouvrage de référence dans le domaine édité par Kamm *et alii* (2006), fait état de la diversité des types de bioraffineries qui sont assimilés soit à un type de produit particulier, soit à une matière première, soit les deux. La consultation de la table des matières est édifiante de ce point de vue. Elle montre la variété des matières premières utilisées, des procédés ou débouchés. Pour cela, une partie de l'ouvrage est consacrée aux « *biorefinery systems* ». Le tableau suivant reprend ces différents « systèmes de bioraffineries » et les classe en fonction du fait qu'il s'agisse d'un modèle fondé (principalement) sur les matières premières, les procédés ou les produits.

<b><u>Modèle de bioraffinerie</u></b>	<b><u>Matières premières/procédés/produits</u></b>	<b><u>Titre</u></b>
Bioraffinerie lignocellulosique	Matière première	« The Lignocellulosic Biorefinery – A strategy for Returning to a Sustainable Source of Fuels and Industrial Organic Chemicals »
Bioraffinerie lignocellulosique	Matière première/procédé	« Lignocellulosic Feedstock Biorefinery: History and Plant Development for Biomass Hydrolysis »
Bioraffinerie fondée sur le procédé Biofine	Procédé	« The Biofine Process – Production of Levulinic Acid, Furfural, and Formic Acid from Lignocellulosic Feedstocks »
Bioraffinerie de la plante entière	Matière première	« A Whole Crop Biorefinery System: A Closed System for the Manufacture of Non-food Products from Cereals »
Bioraffinerie fondée sur le procédé logen	Matière première/procédé/produit	« logen's Demonstration Process for Producing Ethanol from Cellulosic Biomass »
Bioraffinerie fondée sur le sucre	Matière première/procédé/produit	« Sugar-based Biorefinery – Technology for Integrated Production of Poly(3-hydroxybutyrate), Sugar, and Ethanol »

Bioraffinerie fondée des procédés thermochimiques/biologiques	Procédé	« Biomass Refineries Based on Hybrid Thermochemical-Biological Processing-An Overview »
Bioraffinerie verte	Matière première/procédé/produit	« Green Biorefineries : The Green Biorefinery Concept – Fundamentals and Potential »
Bioraffinerie fondée sur le jus de plante	Matière première/procédé/produit	« Plant Juice in the Biorefinery – Use of Plant Juice as Fermentation Medium »

Figure 62 : Classification en fonction des modèles de bioraffinerie des biorefinery systems dans Kamm *et alii* (2005)

On rappellera ici le rôle de telles taxonomies. L'inventaire a plus comme objectif de montrer l'intensité du développement, pour montrer une convergence d'acteurs vers un paradigme, qu'à traiter la diversité en soi – sinon des voies minoritaires de traitement de la biomasse auraient fait partie de l'ouvrage (amidons et celluloses modifiées plutôt que bioraffinerie par exemple). Cet ouvrage fait référence chez les responsables de la rédaction de feuilles de route sur la bioéconomie, car il donne des clés sur la façon de réfléchir sur ces problématiques. On voit qu'au-delà de la diversité des appellations retenues par les auteurs, que chaque modèle ne définit pas une chaîne de valeur complète, mais un segment qui peut être occupé dans un système global. Bien entendu, pour chacun des modèles les trois dimensions sont présentes, mais on identifie une dimension dominante dans le modèle.

### 3.2.2. Deux exemples de diversité, mais au sein du même modèle économique : l'ancrage territorial des bioraffineries et l'oléochimie

#### 3.2.2.1. L'ancrage territorial de la bioraffinerie

Rappelons que du point de vue de l'ancrage territorial, la bioraffinerie est décrite de deux façons : soit comme étant articulée à des ressources locales, constituant une « bioraffinerie des champs », soit comme une « bioraffinerie portuaire », ancrée sur des unités de production issues de la pétrochimie reconvertie à la transformation du végétal<sup>119</sup>. Dans le premier cas, la bioraffinerie n'est pas présentée comme une unité industrielle indépendante, mais comme un site industriel où des unités juridiquement et économiquement indépendantes cherchent à trouver des synergies. Celui-ci est ancré dans le territoire, en relation avec une production locale : céréales et sucre de betterave sur le site de Pomacle en France, betteraves et prairies permanentes en Autriche, Allemagne et Danemark, couple pomme de terre/luzerne aux Pays-Bas (Sanders *et alii*, 2007), lignocellulose du bois en Suède (Hahn-Hägerdal *et alii*, 2006). Les descriptions de ces complexes industriels organisent la mise en scène d'échanges selon une logique de « symbiose industrielle » (Realff et Abbas, 2004) : « les déchets et sous-produits de la première pourraient être la matière première pour la seconde et une source d'énergie pour la troisième » (Octave et Thomas, 2009, p.663). Ainsi, dans le schéma de présentation du site de Pomacle, considéré comme exemplaire en Europe, les synergies entre entreprises sont déclinées en termes de récupération de condensats de vapeur, d'énergie, de traitement des effluents et de mise à

<sup>119</sup> Nous nous appuyons ici sur une contribution collective parue en 2015 (Béfort *et alii*, 2015), mais restons seul responsable des interprétations exposées ici.

disposition de coproduits devenant les matières premières du partenaire (dont la récupération de CO<sub>2</sub> pour des usages industriels).

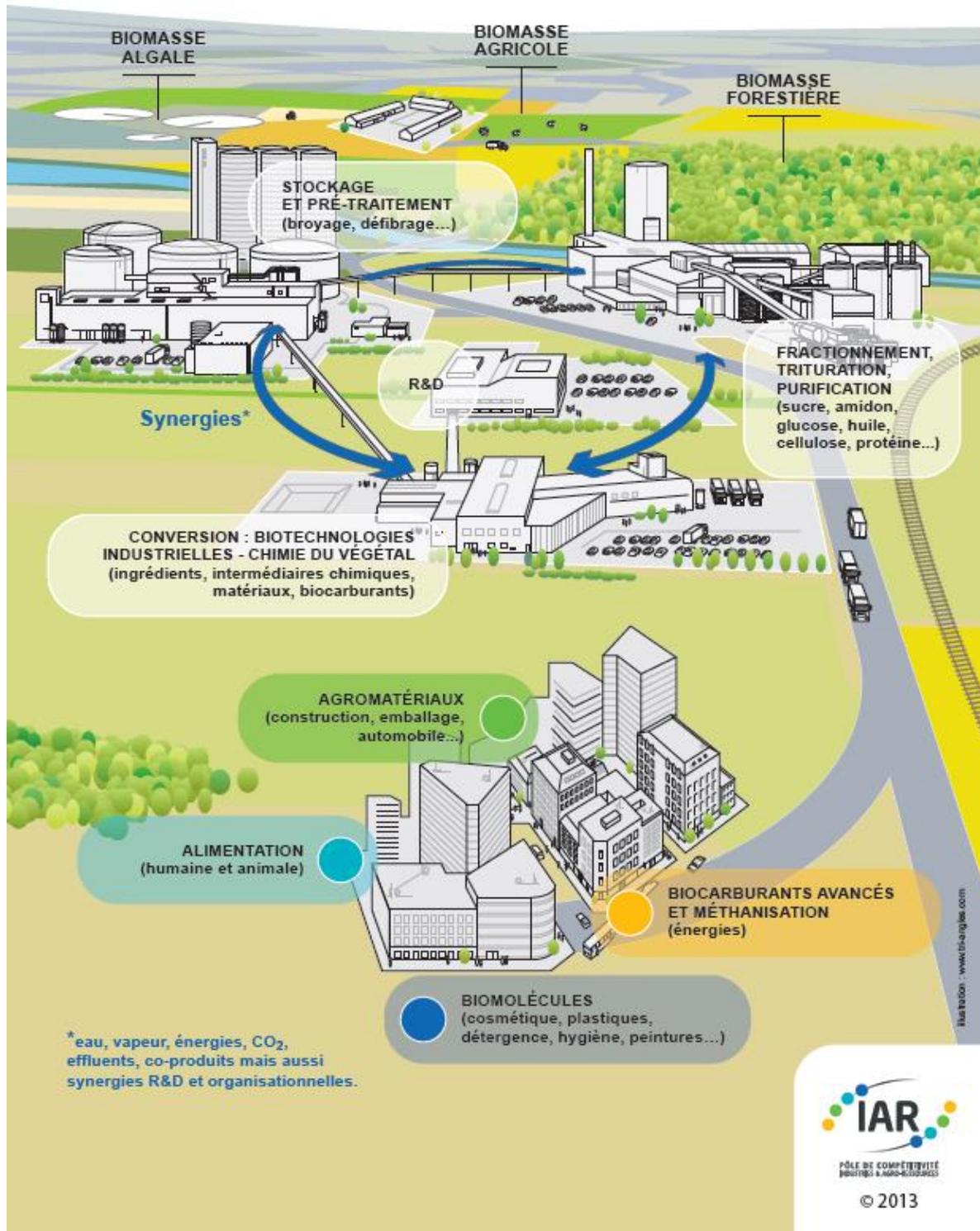


Figure 63 : La représentation de la bioraffinerie territorialisée (produite par le pôle IAR)<sup>120</sup>

Les acteurs mettent en avant les efforts faits dans le domaine des polymères et des matériaux, mais aussi dans les espérances technologiques d'agrocarburants de deuxième génération fondées sur

<sup>120</sup> <http://www.iar-pole.com/wp-content/uploads/2012/03/bioraffinerie-FR1.pdf>, consultée le 24/05/2016

les parties non alimentaires de la plante ou des plantes non alimentaires, à mesure qu'enfle la polémique sur la concurrence entre nourrir les hommes et produire des biocarburants<sup>121</sup> dont la soutenabilité économique est largement discutée (Carus, 2014). La « bioraffinerie intégrée » ou « bioraffinerie des champs » se présente donc comme un objet diversifié, mettant l'accent sur le fait qu'elle est adaptable à des situations de fourniture de produits agricoles ou renouvelables variés. La distinction d'un modèle territorialisé suppose donc qu'il existe un modèle d'un autre type : la « bioraffinerie portuaire ».

L'idée de cette bioraffinerie rend compte d'une stratégie d'installation dans les grandes zones d'industrie chimique portuaires existantes (comme le port de Rotterdam), dans un souci de préservation de ces zones industrielles aujourd'hui pétrochimiques : « *In these developments, the aim will be to optimize production chains of both building blocks and materials to ultimately render these materials price competitive with petrochemical-based products present in the market. With regard to bulk chemicals in the short to mid-term, a much larger impact might be expected from the production of bio-based bulk chemicals with a structure identical to today's bulk chemicals. This could, for example, lead to bio-based ethylene, butadiene, acrylic acid or styrene. If society succeeds in developing effective bio-based synthesis routes into these bulk chemicals, the chemical industry could largely profit from the existing infrastructure in which the production of bulk chemicals, polymers and materials based on crude oil as a feedstock has been already optimized to a very large extent. (...) We include a case study of how bio-based routes might influence the currently produced petrochemical based bulk chemicals in the Port of Rotterdam.* » (van Haveren et alii, 2008, p.42).

À la lumière de ces deux modèles d'ancrage territorial, le fractionnement du végétal apparaît comme raisonné en fonction de trois volontés : (1) celle de l'ancrage de l'activité industrielle sur des ressources existantes dans un périmètre donné (défini par une logique d'optimisation de la logistique) ; (2) celle d'une conduite du fractionnement qui ne soit pas nécessairement orientée vers une chimie du pétrole « bis » : il s'agirait de conduire le fractionnement, non pas jusqu'aux « *building blocks* » servant pour la chimie traditionnelle, mais de l'adapter aux situations de production, en réalisant des « coupes » plus ou moins importantes sans chercher nécessairement à atteindre un haut degré de décomposition ; (3) celle de ne pas rechercher une substitution terme à terme, mais de basculer dans une économie de la fonctionnalité : on cherche alors, non pas des molécules pétrochimiques devenues biosourcées, mais des molécules ou des méthodes nouvelles capables d'atteindre les mêmes fonctions que celles des matériaux issus de la pétrochimie, voire si possible des fonctions enrichies par les caractéristiques de la biomasse. Ce premier exemple des modèles institutionnels d'ancrage de la bioraffinerie illustre les problématiques d'institutionnalisation de la production.

---

<sup>121</sup> Nous revenons sur cette controverse dans la dernière section de ce chapitre.

### 3.2.2.2. Le cas de l'oléochimie : une illustration d'un couple produit-process dominant

Le cas de l'oléochimie prolonge l'exemple précédent à partir de la question de la production de diesel biosourcé. À partir des années 80 et de la montée des excédents de production agricole, les agro-industries ont cherché à valoriser dans le non alimentaire leurs productions. À ce titre, le dirigeant de Sofiprotéol déclarait à l'époque que la filière française des oléagineux pouvait être sauvée grâce aux valorisations non alimentaires du végétal. Issue du regroupement de quatre organismes professionnels de la filière (FOP, ONIDOL, UNIP et Proléa)<sup>122</sup>, l'objectif de Sofiprotéol était d'organiser et structurer la filière des oléagineux. En effet, celle-ci venait de subir une crise sur le soja, qu'elle a tenté de substituer par du colza, mais dont les caractéristiques ne pouvaient tenir la comparaison avec le soja et dont l'outil de production n'avait pas atteint une taille suffisante.

D'abord concentrée sur l'alimentation animale (et humaine avec Lesieur par exemple), Sofiprotéol s'est tournée vers les biocarburants pour saturer les capacités de production de la filière, d'où la création (ou le rachat en fonction des cas) à l'aval de la filière de Diester, Novance et Oléon (rachat de cette entreprise, qui est l'ancienne fabrique royale belge de bougies détenteur du patrimoine de connaissances sur les glycérides). Sofiprotéol a reçu le soutien de l'État dans le développement de Diester, sa filiale productrice de diesel biosourcé, dont un taux d'incorporation va être rendu obligatoire pour les producteurs de carburants liquides. Cependant, la Cour des Comptes estimait dans un rapport de 2010 que le soutien de l'État, en plus de l'obligation pour les pétroliers d'intégrer du diesel biosourcé, que cela n'aurait fait que participer à couvrir les coûts de production et permis à Diester de pratiquer des prix élevés. Indirectement, on retrouve la critique émise par Carus *et alii* (2014) à propos du fait que la production de carburants biosourcés n'est rentable qu'à condition de recevoir des subventions (nationales ou européennes).

Comment la chimie va-t-elle revenir dans le jeu, apparemment déployé dans le champ constitué par la problématique de l'énergie, au point que pour certains chimistes interviewés, Sofiproteol est devenue par son chiffre d'affaires le premier chimiste de France ? La production de biodiesel implique la production d'un coproduit fatal, le glycérol, dont, comme tout coproduit fatal, la gestion est coûteuse et sur laquelle les ingénieurs, comme à leur habitude, s'interrogent très vite. On insiste sur ce point, car dans les colloques de chimie verte, le glycérol est extrêmement présent. Il suffit de parcourir les programmes de colloques tels que *l'International Symposium of Green Chemistry* de la Rochelle, à laquelle l'équipe de l'ANR AEPRC2V a participé). Et on aurait pu penser que cet intérêt pour le glycérol venait du cœur de la chimie verte, et de l'application de son 7<sup>e</sup> principe (l'exploration de l'usage du renouvelable). Ce n'est pas le cas : c'est la commande des acteurs économique qui a piloté l'explosion des publications scientifiques dans les revues de chimie verte, et non l'inverse.

En effet, la réflexion du modèle économique de la bioraffinerie productrice de biocarburant va s'orienter vers la production du couple biocarburants-produits à plus haute valeur ajoutée, pour assurer la rentabilité des unités de production. Il s'agit donc d'un compromis de produits fondé sur la domination des biocarburants<sup>123</sup> : « *la glycérine participe au rendement de la filière biodiesel. (...). Si le*

---

<sup>122</sup>La FOP représente les producteurs d'oléagineux et de protéines, l'ONIDOL les producteurs de graines d'oléagineux. L'UNIP est la fédération des producteurs de protéines et PROLEA, l'organisme de financement des filières oléagineuses et protéagineuses.

<sup>123</sup> Alors que d'autres voies sont possibles (par exemple réserver la production de biocarburants à une

*glycérol en excès pourrait faire l'objet d'une valorisation énergétique, les acteurs de la bioraffinerie oléagineuse ont tout intérêt à se diriger vers des voies de plus hautes valeurs ajoutées. La transformation du glycérol en intermédiaires chimiques par des voies thermiques, chimiques et biotechnologiques est une voie intéressante. » (Vandeputte, 2012, p.16).*

L'achat d'Oléon par Sofiprotéol correspond donc à cette stratégie de renforcement des compétences visant à assurer la rentabilisation de la production de biocarburants. S'il est rappelé, comme le fait Vandeputte (2012) plus loin dans sa contribution, que le glycérol est déjà utilisé dans la pharmacie ou les cosmétiques, celui-ci est présenté pour ses promesses technologiques dans le domaine de la production de molécules comme l'acroléine, l'acide acrylique ou l'épichlorhydrine ayant assuré le succès de grandes firmes chimiques (certaines de ces molécules ont d'ailleurs servi à la production de glycérol, car il ne faut pas oublier qu'en chimie les voies de transformation peuvent être renversées : production d'éthanol à partir d'éthylène, puis l'inverse par exemple). Ainsi, ce premier modèle économique de bioraffinerie vise la production de molécules plateformes.

On observe une stratégie opposée à la fois dans les matières premières utilisées et dans les produits offerts. En effet, *« les huiles végétales peuvent également être sources de nouveaux polyols en remplacement des polyols d'origine pétrochimique. En effet, la structure même des huiles (longueurs de chaînes, degré d'insaturation, stéréochimie des doubles liaisons permet d'envisager la réalisation de composés multiples et variés. Une huile est un mélange de triglycérides (triesters) formés par condensation d'acides gras et du glycérol. Le nombre élevé de types d'acides gras (jusqu'à 24) potentiellement présents dans chaque corps gras sont des mélanges plus ou moins complexes de composés à l'origine de propriétés variables d'une huile à l'autre (...) » (Chollet et alii, 2012, p.42).* Le statut des huiles végétales, contenant du glycérol, est donc ici différent. Elles ne sont pas le résultat de la production de biocarburants comme cible prioritaire. Au contraire, elles sont recherchées pour la possibilité de les fonctionnaliser. Par exemple, dans le schéma ci-dessous, tiré de la présentation de Candy et alii (2012), les carburants ne sont pas mentionnés.

---

production à partir des déchets d'une autre production dominante).

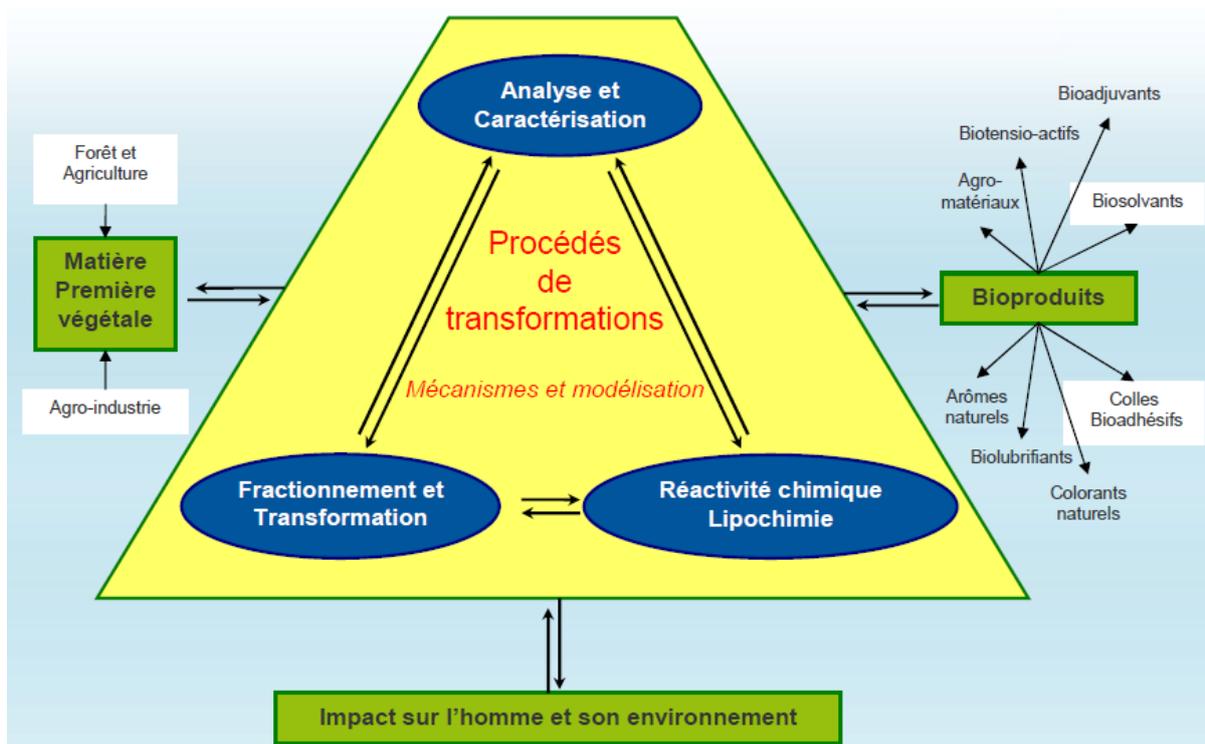


Figure 64 : Un exemple de problématisation de l'utilisation des huiles végétales en-dehors des biocarburants (Candy *et alii*, 2012)

Dans ce modèle, les matières premières ne sont pas nécessairement directement liées à l'activité agro-industrielle comme c'est le cas pour Sofiprotéol qui organise la collecte de la production principalement pour les biocarburants. Ici, ce sont les huiles au sens large qui sont utilisées comme les « huiles de restauration » (huiles récupérées après usage). Par exemple, la SCOP Biolub en Lorraine a racheté un procédé de transformation des huiles alimentaires usagées pour la production de lubrifiants biosourcés et répondre à des commandes issues notamment de l'Office National des Forêts ou des Voies Navigables de France.

Le développement de la variété de différents types de filières (notamment pour la production de lubrifiants, graisses, etc.) pose le problème de la concurrence entre trajectoires technologiques. Chollet *et alii*. (2012) rappellent que les polysaccharides sont une source majeure de polyols, c'est-à-dire rentrant directement dans la production de polyesters et de polyuréthanes, tout comme le glycérol. Or le champ de la chimie des polyesters et polyuréthanes renvoie à des acteurs différents comme Arkema (avec son Rilsan connu comme le « nylon français » ou Solvay et son épichlorhydrine) ou bien encore à la production de PHA, un polymère biosourcé produit par voie biotechnologique. Ce second exemple souligne la complexité des relations entre acteurs et des tentatives d'organisation du réel auxquelles ceux-ci se livrent, notamment en organisant au niveau macro-sectoriel des grandes représentations de la division du travail et de la production de valeur.

<b><u>Rapport</u></b>	<b><u>Description</u></b>
<b><u>Ordre institutionnel</u></b>	Fonctionnement de l'industrie appuyée sur la sur modèle « food-no-food » et une diversité des articulations matières premières/procédés/produits
<b><u>Rapport d'approvisionnement</u></b>	Diversité des matières premières/diversité des débouchés
<b><u>Rapport commercial</u></b>	Variété de produits (énergies et matériaux)
<b><u>Rapport financier</u></b>	Financement par des projets de recherche, financements publics de plateforme de démonstration, capitaux-risqueurs  Investissement par le « capital lent » agricole sur sa trajectoire VANA, et non financement de l'économie des promesses de la 2 <sup>e</sup> bioéconomie.
<b><u>Relation d'emploi</u></b>	Mobilisation des chercheurs

Figure 65 : Les rapports institués dans la problématisation de la troisième bioéconomie

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d'usage</b> (normes qui président à l'engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Bioéconomie fondée sur l'image de la bioraffinerie et la diversité des trajectoires technologiques.  Discours d'une grande transition dans les matériaux et l'énergie.	Définition de modèles économiques qui visent à définir le mode de production
	<b>[Norme – définition]</b>	<b>[Norme – procédure]</b>
<b>Normes sociales</b>	Référence aux produits et modèles de filières associés pour définir ce qui relève de la bioéconomie. Pour cela, publication de feuilles de route définissant des objectifs à atteindre => construction collective	Acteurs participant aux projets de prospective ou de développement économique qui contiennent tous une dimension prospective.  + Les modèles économiques définissent un mode d'organisation de la production
	<b>[Norme – référence]</b>	<b>[Norme – règle]</b>

Figure 66 : Les logiques de qualification de la troisième bioéconomie

### 3.3. Le pôle IAR et le site Pomacle-Bazancourt : une dynamique de compromis entre les trois bioéconomies

Ce pôle a répondu au premier appel à projets pour les pôles de compétitivité en 2004, néanmoins il n'émerge pas de nulle part. On peut voir sa formation en élément du patrimoine productif collectif d'un certain nombre d'acteurs à partir de sa logique synchronique (le système tel que les acteurs cherchent à le faire vivre à partir de certaines fonctions assemblées entre elles de façon cohérente), mais aussi dans sa logique diachronique (l'histoire de l'assemblage de ressources qui conduit à une trajectoire autorenforçante). En effet, il est important d'en décomposer les éléments, car lors de sa création officielle, en tant qu'association entre deux régions à dominante agricole qui ont dû s'allier pour obtenir son attribution – ce qui n'allait pas de soi, la narration des justificatifs du pôle masque le long travail qui a abouti à ce succès (Thomas, 2005).

Ce texte synthétise en effet différentes pièces du « puzzle » constitutif de la construction de la légitimation du pôle, qui sont entrées par segments à des moments différents de la vie des acteurs qui le porte : « A l'heure où l'activité économique doit prendre en compte la préservation de l'environnement, la Picardie et la Champagne Ardenne ont décidé d'orienter leur développement industriel (1) sur les ressources renouvelables (6). Riches en agro ressources comme le blé, la betterave, le chanvre, la luzerne, le raisin ou la forêt, les deux régions misent sur l'utilisation intégrale de la plante (7), pour produire par exemple des biocarburants (2), des produits cosmétiques (4) ou encore des fournitures pour l'automobile (5) ou l'aéronautique (3) » (*Ibid.*, p.1).

Notre numérotation correspond à un classement grossier de l'entrée en scène des différents items : (1) les deux régions avaient une tradition agro-industrielle historique de première transformation – donc le pôle n'introduit pas une nouveauté... (2) avant de s'attaquer aux biocarburants comme relais de croissance dans les années 1980 – renouant avec les agrocarburants des années 1920-1950, (3) ils s'intéressent à la valorisation du glycérol, pour rendre leurs filières carburant solvables (des produits de dégivrage d'avion) dans les années 1990, avant d'explorer les cosmétiques (4) puis les pièces auto (5) (pratiquement au même moment fin 1990 débuts 2000, prennent le tournant du développement durable (6), un concept pourtant assez rejeté par la profession aux environs du sommet de Johannesburg (2002), et plaident la stratégie plante entière à peu près au même moment (7).

Nous allons dans une première partie faire la présentation synthétique du pôle par grandes fonctions selon une logique synchronique par grandes fonctions pour montrer que le pôle IAR est bien un dispositif contribuant à la génération des patrimoines productifs collectifs des acteurs. Ensuite nous montrerons la logique diachronique de renforcement de la trajectoire par la construction d'un compromis sous l'hégémonie de la troisième bioéconomie qui intègre les deux autres types de bioéconomie. Nous allons le faire à partir d'un espace plus restreint : celui d'un des trois sites de clusters portés par le pôle IAR – à moins que ce ne soient les clusters qui aient contribué à l'existence du pôle ce qui serait plus exact historiquement. Il s'agit du site de Pomacle-Bazancourt qui accueille sur une longue période (plus de cinquante ans), les efforts agro-industriels d'une coopération agricole ayant une tradition centenaire de constitution de patrimoines collectifs.

#### 3.3.1. Le Pôle IAR, comme illustration des logiques synchroniques de constitution en patrimoines collectifs

Pour l'anecdote, le pôle s'est constitué contre le corps de doctrine des pôles voulant placer en son centre un champion industriel international (qui aurait dû être Roquette, d'après des entretiens privés) ; la première période montre la capacité de mobilisation des grandes coopératives agricoles qui vont réussir à se placer au cœur du champ, au point qu'une opération de soutien spécifique à Roquette

sera montée par l'État. Celle-ci aboutira à l'association de la chimie du végétal. Néanmoins, progressivement l'ensemble des forces convergent, les coopératives rejoignant l'association de la chimie du végétal et inversement.

### 3.3.1.1. Le pôle comme porteur de la constitution de clusters

Le pôle IAR a été conçu comme un des pôles de compétitivité à vocation mondiale, sur la base des activités de l'agriculture et des agro-industries champardennaises et picardes, et de la mise en réseau autour de celles-ci, d'acteurs, n'appartenant pas nécessairement à ces régions. Ceux-ci appartiennent à l'industrie chimique, l'énergie, les biotechnologies et des équipementiers qui mettent au point des unités de production. Fidèles à leur stratégie d'exploration visant la substitution d'intermédiaires chimiques dans le *Business-to-Business*, les acteurs du pôle IAR ne se sont pas contentés de faire entrer dans le réseau les chimistes clients de la première transformation, mais aussi des clients potentiels plus éloignés sur la filière (les groupes Faurécia ou Trèves, sur des pièces automobiles, Danone pour les emballages). Historiquement ces acteurs sont d'ailleurs entrés les premiers dans les réseaux du pôle, avant les chimistes qui ont été plus attentistes – probablement parce que ces clients situés en aval de la chimie voulaient tester des fournisseurs alternatifs à leurs fournisseurs habituels, toujours selon nos entretiens<sup>124</sup>.

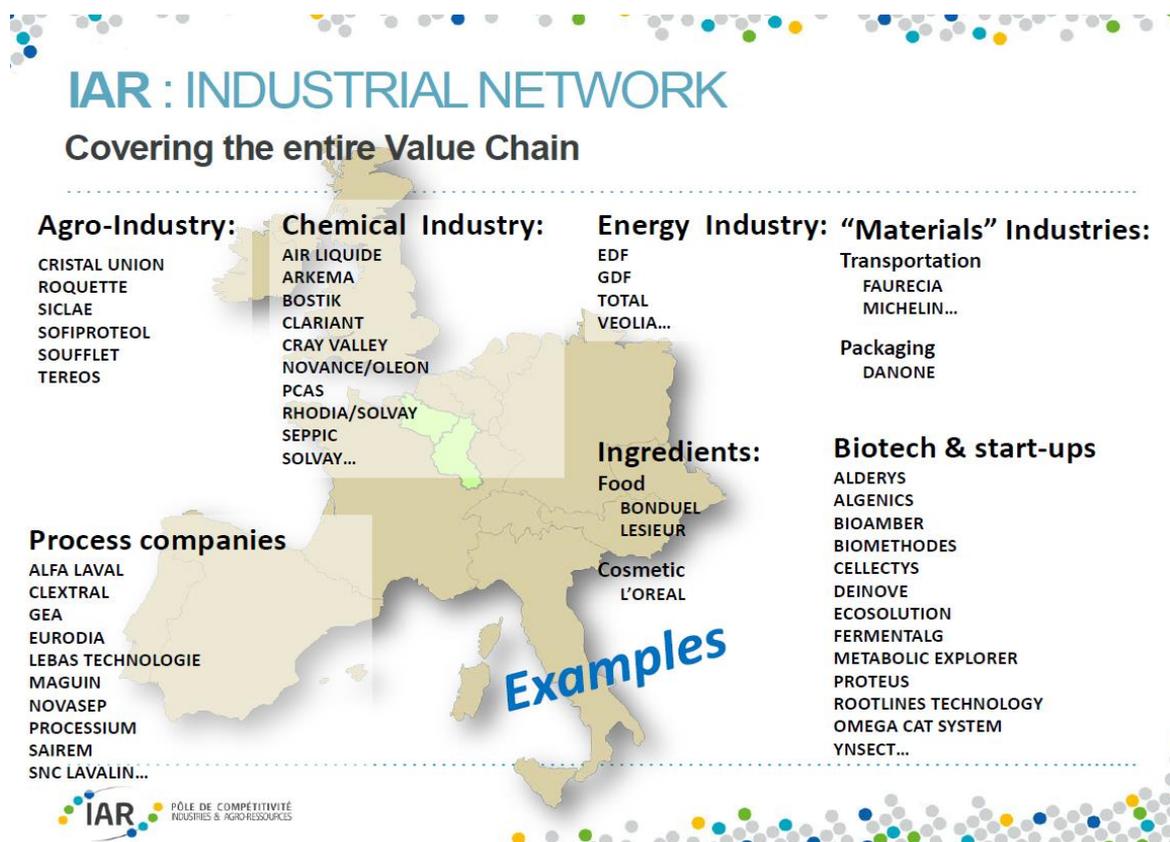


Figure 67 : Une illustration de la vision globale du pôle IAR lors d'un colloque ACHEMA consacré à la problématisation de la bioéconomie en Europe<sup>125</sup> (Luguel, 2015)

<sup>124</sup> « Ce qui intéresse l'aval dans la chimie du végétal, c'est qu'ils viennent voir s'ils peuvent échapper à l'oligopole de la chimie traditionnelle », nous dira un de nos interlocuteurs, lors d'un échange du colloque de restitution finale de l'ANR.

<sup>125</sup> Cf. Chapitre 5, section 1.2., pour une présentation de l'association allemande DECHEMA qui organise ces

Le pôle va se penser alors comme le dispositif d’animation d’une vision globale, dont l’histoire a été progressivement rationalisée dans la représentation ci-dessous (tirée de la présentation faite par C. Luguel en 2015)<sup>126</sup>. Celle-ci présente le cœur de l’activité du pôle comme celle de trois plateformes d’innovation ouvertes organisant les partenariats public-privé à partir de trois grands composants des plantes : les protéines (Improve), les lipides (Pivert), et les sucres (Biodemo).

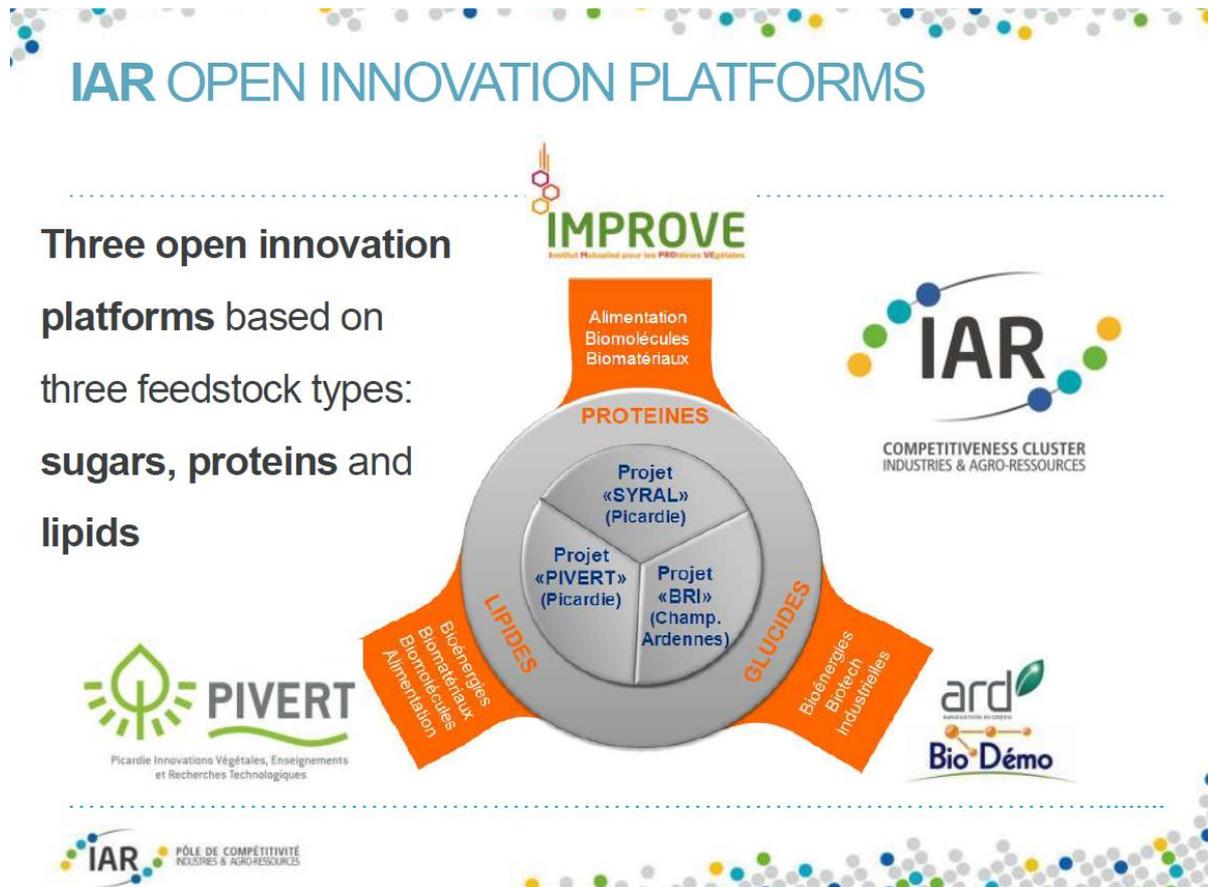


Figure 68 : Les trois plateformes d’innovation ouverte (Vandeputte, 2016)

colloques et son rôle dans la problématisation de la bioéconomie.

<sup>126</sup> On ne développera pas dans le détail, la façon dont se sont formés entre les acteurs régionaux des compromis autour de cette représentation, mais c’est une histoire qui reste à faire.

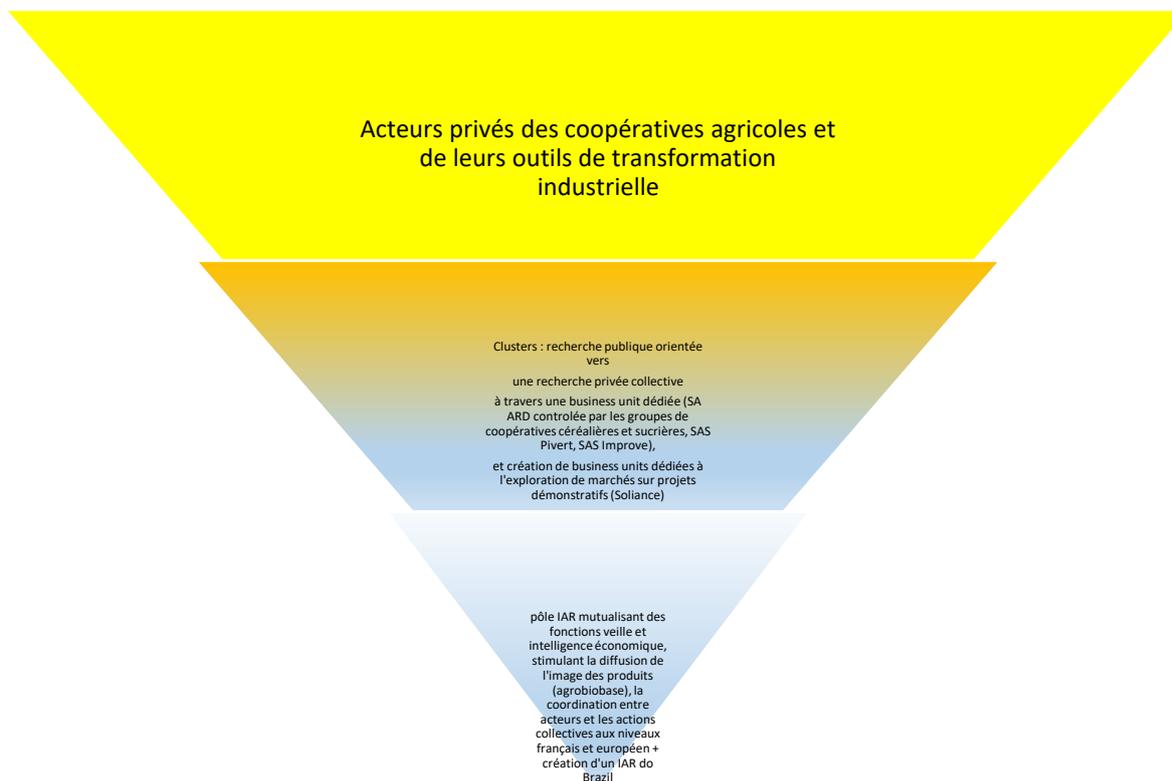
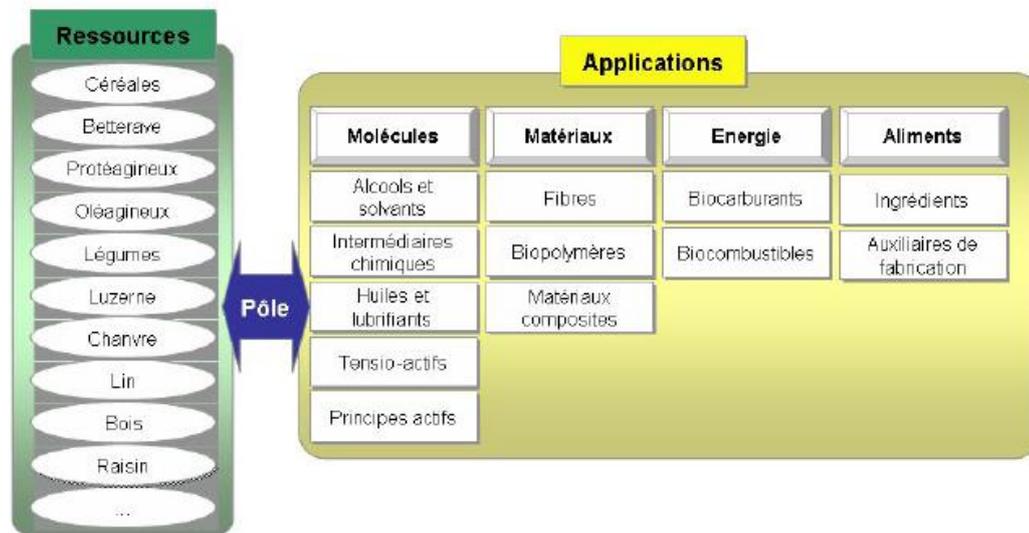


Figure 69 : une structuration en patrimoines productifs collectifs

L'intérêt d'étudier ce pôle de compétitivité est qu'il constitue un des acteurs majeurs dans l'émergence d'une bioéconomie en Europe et que sa dynamique permet de pointer des dynamiques d'ensemble que nous retrouverons dans les projets européens émergents. Mais au-delà, c'est qu'il permet d'illustrer un mouvement de constitution en patrimoines productifs collectifs que l'on retrouve dans toute l'Europe de façons diverses.

Le problème des acteurs agricoles qui ont monté ce pôle de compétitivité réside dans l'accès à de nouveaux marchés pouvant avoir deux aspects : accéder à des marchés déjà existants (comme pour les cosmétiques) ou développer de nouveaux marchés (comme pour les plastiques biosourcés, même s'il s'agit de substitution terme-à-terme). Cet accès aux marchés pose le problème de la structure des filières qui seront à même de réorienter leur production vers ces débouchés. Ainsi, le pôle était pensé comme devant être l'intermédiaire entre les filières agricoles existantes et ces nouveaux marchés :

## Le pôle « INDUSTRIES ET AGRORESSOURCES » ...



... une interface entre les entreprises et les ressources issues du végétal

Figure 70 : Représentation du rôle du pôle IAR lors de la présentation de sa stratégie à la DATAR (Thomas, 2005)

Le Pôle ambitionnait d'organiser les débouchés des filières agricoles en s'appuyant sur les ressources existantes : « *Ce partenariat entre les acteurs s'appuie sur : une cohérence avec la politique de développement économique du territoire concerné, Picardie et Champagne Ardenne, un des plus grands bassins de production agricole et agro-industrielle de l'Union européenne, s'appuyant sur des filières structurées ; (...)* une cohérence et un cœur scientifique et technologique multidisciplinaire autour de compétences (recherche et formation) présentes dans les universités et laboratoires des deux régions Champagne-Ardenne et Picardie. C'est cette **recherche originale qui est à l'origine des connaissances, des savoirs et des innovations qui, aujourd'hui et demain, irrigueront le pôle en créant des emplois et technologies nouvelles.** »<sup>127</sup> (*Ibid.*, p.2). La fondation du pôle IAR s'appuie donc sur un patrimoine collectif ancré sur les ressources des deux régions agricoles : c'est le cas emblématique d'une bioraffinerie territoriale.

### 3.3.1.2. La place de la recherche

La recherche scientifique publique, notamment universitaire, va être fortement réorientée vers le développement de produits que les filières agricoles existantes localement peuvent produire. Le schéma classique de l'appel à projets va être développé, à la fois pour recenser les forces scientifiques mobilisables (l'appel à projets agit comme focalisation), pour établir des états de l'art (formés par la collection des projets répondants, riches d'information pour qui les centralisaient), et pour orienter la recherche. On a là une structuration de la recherche qui choquera certains chercheurs en sciences sociales (Delaplace, 2011) ou en sciences de la vie attachés à une recherche fonctionnant sur le principe de la sérendipité. En effet, elle s'apparente plus à un projet Manhattan (focalisation de

<sup>127</sup> Nous avons mis en gras les passages fondamentaux de la citation.

compétences pour réaliser la bombe atomique), au sens où la focalisation doit lever les obstacles sur le chemin d'un objectif tracé d'avance (rendre la valorisation des ressources végétales viable économiquement). En ce sens la distinction entre recherche fondamentale et recherche appliquée s'en trouve abolie dans l'esprit des animateurs du réseau au profit d'une conception de la recherche comme *recherche finalisée, quel que soit son degré d'applicabilité*<sup>128</sup>.

### 3.3.1.3. Le pôle IAR comme vitrine de produits? Le cas de l'« agrobiobase »

Depuis 2011, le pôle IAR s'est doté d'un outil de communication pour les membres du pôle qu'est l'« agrobiobase »<sup>129</sup>. Cet outil, présenté comme « la vitrine des bioproduits », vise à fournir un espace au format de présentation standardisée pour les firmes qui souhaitent exposer leurs produits. Car il ne faut pas oublier qu'il s'agit de semi-produits, des produits intermédiaires (soit de première soit de seconde transformation, soit au-delà, mais de produits qui doivent trouver pour un autre industriel un champ d'application).

La description de ces produits semi-finis est donc un élément important de la coordination des acteurs qui cherche à résoudre un des problèmes posés par le chapitre 1 : comment des acteurs s'agglomèrent-ils autour de la nouveauté de ces types de produits. Le premier aspect de ce service est la production de notes de synthèse qui vise à produire une représentation structurée soit sous forme de filières (comme le cas des biolubrifiants)<sup>130</sup>, soit sous forme de variété « horizontale » des options technologiques pour un produit (comme pour le Bisphénol A)<sup>131</sup>. Ces dossiers s'appuient sur les « fiches produits » fournies par les firmes. Enfin, depuis 2011, est décerné un « Prix de l'Agrobiobase ». Nous proposons de revenir sur ces deux dimensions de l'Agrobiobase pour montrer le rôle d'exposition, et donc de structuration de l'espace, que joue cette base de données.

#### 3.3.1.3.1. L'utilisation de la base de données comme structuration de filières

Chacune des fiches de synthèse proposée renvoie à un segment de filières et des débouchés précis tels qu'ils peuvent être présentés dans l'Agrobiobase. Le rapport portant sur les matériaux composites vise explicitement à faire la promotion des produits biosourcés pour ces matériaux au sein duquel le pôle IAR se positionne comme un acteur majeur : « *le développement de cette filière à un niveau national est favorisé par la création de partenariats. Ainsi, le pôle IAR et le pôle technique de la*

---

<sup>128</sup> Celui-ci est mesuré, car l'objectif est bien d'atteindre la mise en route d'unités de production, par le désormais canonique classement en TRL. L'échelle TRL (en anglais *technology readiness level*, qui peut se traduire par niveau de maturité technologique) est un système de mesure qui permet de gérer le financement de la recherche en segments spécialisés sur un niveau de TRL, ou dans le cas qui nous occupe le long d'une « filière de la science » dédiée à la résolution d'un problème. Les projets financés dans le cadre des pôles sont en général de TRL3 à 6 (c'est-à-dire de la validation d'éléments séparés issus de travaux de laboratoires divers, à la montée de l'intégration de ces éléments en un système viable ayant fait sa preuve dans un environnement simulé, avant de monter en industrialisation). L'analyse TRL a d'abord été utilisée par les agences gouvernementales américaines, et a été adoptée comme « *guiding principle* » dans le programme Horizon 2020 de financement de la recherche européenne par la Commission.

<sup>129</sup> <http://www.agrobiobase.com/>, consultée le 14/06/2015

<sup>130</sup> <http://agrobiobase.com/fr/dossier/biolubrifiants-la-fili%C3%A8re-s%E2%80%99organise-progressivement>, consultée le 14/06/2015

<sup>131</sup> <http://agrobiobase.com/fr/dossier/alternatives-v%C3%A9g%C3%A9tales-au-bisph%C3%A9nol-A>, consultée le 14/06/2015

*Confédération Européenne du Lin et du Chanvre (CELC) mettent leurs compétences en synergie et permettent une mutualisation des filières agro-industrielles, du réseau de chercheurs scientifiques et des entreprises en prise directe avec les attentes des consommateurs » (Bausset et alii, 2015, p.5). Les matériaux présentés ici visent de très larges applications, car on les retrouve dans les résines, les plastiques, etc. Il est particulièrement intéressant de noter que ce rapport est cosigné par un membre (K. Behlouli) d'EcoTechnilin. Cette firme est spécialisée dans la production de produits à base de fibres naturelles visant l'aménagement des automobiles, le bâtiment...Parmi l'ensemble des produits proposés, une bonne partie est soit produite par EcoTechnilin (créée à l'origine par une coopérative agricole et rachetée par une entreprise anglaise) soit par le CELC. Ce rapport est donc le signe que le pôle IAR (auquel appartient FRD) et le CELC s'allient pour assurer la construction de filières permettant de fournir des débouchés dans de nouvelles applications pour d'autres secteurs d'activité. En effet, FRD est un autre des grands acteurs nationaux de la production de matériaux composites à base de fibres végétales. Le compromis entre acteurs utilisant des matières premières différentes susceptibles d'entrer en concurrence vise à structurer une filière d'acteurs à même d'exporter des produits, à partir de la base agricole française, même si l'un des acteurs est devenu anglais<sup>132</sup>. Ainsi, il est rappelé<sup>133</sup> que 80 % des fibres européennes seraient produites en France.*

Les segments de filières de matériaux composites sont partiellement recouverts par la note de synthèse dédiée à la production de plastiques (Bausset *et alii*, 2014). Cette note vise à montrer qu'il existe également une variété de segments de filières utilisant des plastiques biosourcés (additifs, résines, compounds, renforts et intermédiaires chimiques). Chaque type de produit est appuyé par des exemples où l'on retrouve les grands acteurs de la chimie (comme Arkema avec ses polyamides ou Solvay et l'épichlorhydrine), des agro-industries (Roquette avec son isosorbide biosourcé, Cargill avec des cires ou Novance-Oléon avec ses plastifiants) et des fibres (BioFibra et CCP composites qui sont également fortement présentes dans le rapport présenté précédemment). Ceci illustre bien le fait que les firmes cherchent à construire la crédibilité de leurs produits, en offrant la description de la variété de leurs applications, mais surtout en envoyant comme message qu'elles collaborent avec des « grands ».

Les notes de veille produites pour l'Agrobiobase visent également à structurer des filières et entretenir des voies technologiques. La note portant sur les solvants biosourcés pose les enjeux pour cette filière autour de la variété des matières premières disponibles en France, notamment en citant des acteurs majeurs qui cherchent à prendre position sur ces filières comme Novance ou ARD. Les débouchés pour cette filière seraient les produits emblématiques du top 10 comme l'éthanol ou le 1,3 propanediol. Enfin, cette filière devrait prendre place dans l'aval de la production de biocarburants : « Chez Rhodia, une collaboration avec la société Cobalt Technologies vise à produire des solvants biosourcés à partir de bio-nbutanol issu de bagasse [...] Nous cherchons à développer des produits verts de seconde génération, en utilisant par exemple les déchets de la production de biocarburants », souligne Vincent Kame. De son côté, la société Pennakem cherche à développer de solvants à partir de coproduits, comme le confirme Norbert Patouillard : « Nous nous impliquons actuellement dans de

---

<sup>132</sup> Ce petit détail montre bien que c'est sur la base des acteurs agricoles que la structuration du pôle IAR se fait. Pour assurer son développement, sa firme coopérative s'est vendue à un acteur étranger, ce qui n'efface pas le soutien national français accordé à ses filières agricoles.

<sup>133</sup> <http://agrobiobase.com/fr/dossier/agrocomposites-une-structuration-n%C3%A9cessaire-de-la-fili%C3%A8re-en-france>, consultée le 14/06/2015

nouveaux partenariats, afin de développer et fabriquer des produits à faible teneur en COV, et ainsi limiter leur émission dans l'environnement » (Formule Verte, août 2012).

### 3.3.1.3.2. Les « prix de l'Agrobiobase »

Les prix de l'Agrobiobase ont été mis en place en 2011 et sont attribués tous les deux ans sur la base du « caractère innovation [des] bioproduits, son pourcentage d'origine végétale et son impact environnemental et socio-économique » (Dossier de presse du prix de l'Agrobiobase, 2013, p.4). Les premiers prix sur les biomolécules ont été attribués aux firmes Novance-Oléon et Roquette respectivement pour des résines alkydes en émulsion aqueuse entièrement biosourcées et pour l'isosorbide. Le premier produit est présenté comme un résultat récent de la firme Novance-Oléon. Le produit est obtenu à partir d'une transformation de glycérol, un coproduit de la production de diesel biosourcé, c'est-à-dire, une part du patrimoine productif de Sofiprotéol qui a racheté au début des années 2000 la firme Oléon, qui est l'ancienne Fabrique Royale Belge de Bougies (fondée en 1835) et s'est tournée vers l'oléochimie (dont il est question ici) dans les années 50 (Béfort, 2014).

Dans le cas de Roquette, il s'agit du Polysorbid ID 37 qui a été récompensé. L'isosorbide est un des produits phares de Roquette dans les VANA, en réalité issu de sa longue tradition de travail sur le sorbitol qui a connu des applications alimentaires et non alimentaires depuis 1954 – témoin que la microbiologie n'avait pas attendu la « révolution biotechnologique » pour se développer. La firme a cofinancé une thèse en 1992 avec l'INSA de Lyon sur les propriétés de cette molécule principalement produite à partir de la fermentation d'amidons, soit le cœur du patrimoine productif de Roquette. La firme a poursuivi l'exploration de cette molécule en pilotant le projet Biohub à partir de 2006 et en démarrant une unité de production dédiée à l'isosorbide sur son site historique de Lestrem (Pas-de-Calais, France) en 2007. Le troisième prix décerné en 2011 a été attribué à EcoTechnilin, firme déjà évoquée précédemment, concerne son FibriCard. Il est produit à base de lin, de coproduits de canne à sucre (potentiellement, des coproduits amont de la production de biocarburants) et de carton recyclé. La technique développée ici s'inspire largement du mode de production des revêtements de sols résilients (Debref, 2014). En effet, les fibres végétales servent à constituer la matrice du produit. Elles sont particulièrement indiquées dans le cas de surfaces larges, comme c'est le cas pour le FibriCard.

Il s'agit donc d'un même prix qui récompense trois modèles de filières qui s'affrontent – preuve qu'il s'agit bien de construire une communauté d'actions au-delà des divergences de modèles. Par exemple, lors du colloque CGAAER 2012, nous avons pu assister à une violente charge de M. Roquette contre les modèles de filières centrées sur la production de biocarburants dont les coproduits serviraient de matière première pour des matériaux comme l'organise Sofiprotéol. De même, le modèle d'Ecotechnilin s'appuie sur une transformation limitée de la matière, qui est un troisième modèle de filières qui s'appuie sur des procédés chimiques peu intensifs en énergie et permettent d'obtenir des produits facilement recyclables.

Le prix 2013 a été attribué à Flax Technic pour un textile en fibres de lin à base de polyamide biosourcé (le PA 11) dont on peut supposer qu'il est fourni par Arkema, le leader mondial de la production de polyamides. Le prix 2015 a été décerné à la firme Valagro pour son produit absorbant SAP-BIO-09. Ce produit entièrement biosourcé est primé, de notre point de vue, car il permet de faire la démonstration sur un produit critique dans les débats sur le développement durable que sont les

accumulations de produits de la vie courante à fin de vie non assurée comme les couches. Il récompense aussi une firme issue de la constitution en cluster régional entre l'agroalimentaire du Poitou-Charentes et l'Université de Poitiers. Ainsi, l'association a été transformée en Société d'Économie Mixte en 2008 afin de pouvoir vendre des licences. Ce modèle de développement s'apparente à celui de la société de recherche ARD (devenue en 2010 « plateforme d'innovation ouverte) qui est représentée comme étant au cœur du modèle de développement du pôle IAR et donc le modèle qu'il porte.

L'Agrobiobase vaut donc plus par ses prix et ses référencements comme un outil faisant apparaître une focalisation collective sur les activités à partir de produits agricoles. Sa valeur dépasse donc la somme des cas individuels évoqués dont on voit qu'ils peuvent provenir de trajectoires différentes, mais alimentant tous l'idée d'une bioéconomie en train de se faire, à travers ses *success-stories*.

### 3.3.2. Du local à la bioéconomie : le rôle des promoteurs.

Dans le schéma multiniveau que nous avons établi, nous avons insisté sur les boucles de rétroaction entre niveaux. Il est possible de montrer ici à partir de l'exemple de la structuration des coopératives agricoles autour d'ARD, comment cela a contribué à structurer des niveaux supérieurs par leur action collective.

#### 3.3.2.1. Une histoire liée au syndicalisme agricole

Le nord de la Champagne-Ardenne est un territoire dont l'activité agricole et agro-industrielle a été structurée par la coopération agricole<sup>134</sup>. Le premier syndicat agricole champenois a été fondé en 1894 par G. de Bohan dans la région de Reims. Fortement influencés par la doctrine sociale de l'Église, les agriculteurs du pays de Reims ont, tout au long du 20<sup>e</sup> siècle, développé des outils collectifs de gestion des filières.

Le rôle des coopératives a également résidé dans l'organisation et la diffusion de la production au sein des exploitations agricoles en facilitant l'accès aux engrais, etc., mais également dans les filières en étant dès les années 30 des organismes de collecte et de stockage. Les principales productions agricoles<sup>135</sup> sont l'orge, les céréales, le sucre, la luzerne et le maïs. Dans chacun des cas, on trouve des grandes coopératives qui ont été organisées pour répondre aux crises que pouvaient connaître les filières agricoles régionales. Dans le cas de l'orge, c'est à partir de 1961 que les acteurs ont essayé d'intégrer l'aval des filières avec une première transformation en malt. En 1980, les deux coopératives de malterie marnaises ont été concentrées pour répondre aux excédents de production mondiaux. Ces premiers développements ont contribué à organiser le développement en patrimoines productifs collectifs de l'agriculture régionale. Cette agriculture, qui s'est dotée d'outils industriels, a donc développé une logique d'exploration et de maîtrise de la première transformation : « *éloignée des marchés de l'alimentation animale déjà couverts par la région Centre, la Champagne aurait cherché*

---

<sup>134</sup> Le sud aubois connaît une autre tradition, dans laquelle se combinent des agriculteurs du monde coopératif, volontiers expérimentateurs et un groupe privé devenu un des leaders européens derrière les coopératives du Nord champenois, et qui développe lui-même des outils de transformation liés à la bioraffinerie.

<sup>135</sup> Nous ne revenons pas ici sur les tentatives de développement des exploitations forestières en Champagne-Ardenne. Pour plus de détails, se tourner vers Nieddu (1998) et Garnotel (1985).

*d'autres débouchés, et ceux auxquels elle était en état d'accéder ont nécessité des transformations industrielles. Il s'agit de secteurs à faible valeur ajoutée (sucrierie, abattage de gros bovins, malterie, déshydratation » (Nieddu, 1998, p.387).*

Les filières sucrières (fondée sur la betterave) et céréalières (notamment le blé) ont été organisées jusqu'à la limite de ce qu'elles estimaient comme supportable en termes de compétences et de niveau d'investissement (le fameux CAPEX) par les coopératives. Par exemple, dans le cas de la meunerie, les produits sont essentiellement destinés à la boulangerie industrielle alors que dans le cas du sucre, les filières peuvent aller jusqu'au conditionnement du sucre de détail par Cristal Union. La dynamique de ces filières, et principalement de ce que sont aujourd'hui Cristal Union<sup>136</sup> et Vivescia<sup>137</sup>, a donc été portée par ce que Nieddu (1998) qualifiait de « non-réticence » à l'industrialisation de l'agriculture, notamment pour permettre de construire l'outil industriel à même d'écouler la production liée à l'explosion des rendements des années 1960. Le maintien plus récent de cette trajectoire résulte d'une alliance entre les deux filières céréalières et sucrières (Cristal Union et Vivescia) ayant permis d'agglomérer d'autres filières comme la filière luzernes<sup>138</sup> ou celle du chanvre autour de projets dans le non alimentaire.

### 3.3.2.2. Un site sur lequel s'est focalisé l'effort d'apprentissage sur le non alimentaire

En 1948 a été fondée une sucrierie qui est devenue en 1953 une sucrierie coopérative qui va devenir Cristal-Union. Le développement de ce premier outil de production sert aujourd'hui de base dans le récit de l'émergence de la bioraffinerie qui a été construite autour de cette première maîtrise élémentaire de la chimie des sucres, élémentaire, mais importante, car elle apprend à gérer des unités industrielles dotées de flux en continu. Les excédents structurels dans la production agricole ont conduit les acteurs à répondre par la fondation d'organisations collectives, comme elles avaient pu le faire par le passé : *« il s'agit de trouver des débouchés non alimentaires de masse pour conforter la tendance productiviste de l'agriculture champardennaise. Les projets de carburants verts qui relèvent d'une logique de filière structurée nationalement ne constituent pas une priorité explicite ; en revanche, l'orientation vers des transformations de l'amidon est cohérente avec l'objectif de valorisation des agroressources régionales dans la région dès lors qu'elle ouvre sur des débouchés en qualités importantes »* (Nieddu, 1998, p.432). La notion de projets indique bien qu'il s'agit d'une construction collective, comme en témoigne la fondation de la firme Agro-Ressources Développement (ARD) en 1989 par les coopératives sucrières et céréalières. Cette firme est conçue comme la *business unit* de recherche autour de laquelle céréaliéristes et betteraviers vont explorer la chimie des sucres (voir le chapitre précédent sur cette chimie) ; celle-ci fait très largement appel à la recherche publique en pilotant des choix de sujets de thèse et incarne donc une première forme de partenariat public privé avant la lettre.

---

<sup>136</sup> Dont le dirigeant actuel, O. de Bohan, est un descendant de G. de Bohan.

<sup>137</sup> Vivescia est le fruit d'un regroupement de coopératives, sous la houlette de ce qui était anciennement Champagne Céréales.

<sup>138</sup> La luzerne est réputée comme captant d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> (cf. débats de la journée « Bioéconomie – Économie circulaire par nature » qui s'est tenu le 01<sup>er</sup> juillet 2015 à Reims).

Parallèlement les coopératives développent des business unit de production fondées sur le fractionnement du blé, ce qui va favoriser la théorisation de la bioraffinerie par les acteurs (fondation de Chamtor en 1992), ou de *business units* issues de la recherche d'ARD telle que Soliance en 1994.



Figure 71 : le modèle économique de Chamtor (image extraite du site internet de la firme<sup>139</sup>)

Chamtor va explorer différents projets, dont la production de l'inuline à partir de chicorée et du glucose à partir de blé. Racheté par Pfeifer und Langen, le troisième sucrier allemand, mais sa production de Chamtor a été réorientée vers la production d'amidon et de glucose pour revenir dans le giron de Champagne Céréales en 2009. On peut donc dire que les agriculteurs ont testé les deux *business models* (vendre de la matière première ou vendre des produits intermédiaires) avant de revenir au second.

Avec le développement des pilotes industriels sur le site de Pomacle-Bazancourt et la présence de Soliance, qui produit les cosmétiques et tensioactifs mis au point par ARD, il y a bien le maintien d'un modèle de développement autour de la construction collective de filières. Dans ce cadre, les unités sucres du site jouent le rôle de fournisseur de produits de « première transformation », tandis que Soliance explore les marchés aval à partir de produits la rendant visible pour des alliances,

<sup>139</sup> [www.chamtor.fr/savoir-faire](http://www.chamtor.fr/savoir-faire) (consultée le 12/08/2016).

recherchées notamment avec L'Oréal, qui participera à la structure de veille et d'intelligence économique qui va préfigurer le pôle IAR.

Le caractère de plateforme d'apprentissage pour l'ensemble de la profession agricole organisée va s'approfondir avec la venue de start-ups cherchant à construire des alliances avec le monde agricole. C'est le cas, par exemple, de l'arrivée en 2008 pour des essais à Pomacle-Bazancourt la firme Bioamber, créée en joint-venture entre ARD et DNP Green Technology pour produire de l'acide succinique sur la base d'une licence d'un brevet américain du DOE<sup>140</sup>. De même, à partir de 2008 (le pilote industriel a été inauguré en 2011), a été lancé le projet Futurol qui vise à réaliser l'unité prototype de production d'éthanol par un procédé biotechnologique, qui pourrait être ensuite commercialisé. La société CIMV est venue travailler sur un pilote industriel sur le site pour produire des lignines commercialisables. Enfin, en 2013, la *start-up* Global Bioénergies, qui développe un procédé biotechnologique de production d'isobutène, a également installé un pilote industriel sur le site de Pomacle-Bazancourt.

Le dernier élément qui montre qu'ARD et le site de Pomacle-Bazancourt servent d'outils d'exploration et d'alliance avec les biotechnologies réside dans l'installation d'AgroParisTech et de l'École Centrale sur le site de la bioraffinerie ainsi que de la labellisation d'ARD comme plateforme d'innovation ouverte. Les échanges que nous avons pu observer lors de l'inauguration du nouveau bâtiment d'ARD en mai 2015 ou avec des responsables d'ARD nous confirment que celle-ci cherche à devenir le centre d'essai pour la bioéconomie européenne, dans une concurrence qui peut exister avec d'autres clusters, français, belges ou allemands de bioraffinerie.

Ainsi, on peut constater que le site de Pomacle-Bazancourt vise à réaliser sous la houlette du premier type, l'alliance de la bioéconomie du troisième type et de celle du deuxième type. Il ne s'agit pas de basculer dans le monde des « biotechnologies », mais d'en faire un des composantes du système productif ancien qui s'est développé sur la base de l'alimentaire puis du couplage sur le même site de briques alimentaires et non alimentaires. Comment se réalise l'intégration de la bioéconomie du premier type ? Face aux critiques contre la bioraffinerie – face aussi aux tensions avec des riverains pour certains excédés par les odeurs persistantes du site industriel – les acteurs du site vont réaliser leur *aggiornamento*. Ils vont d'abord revisiter le site selon une logique d'écologie industrielle pour raisonner la durabilité des flux prélevés sur la nature (en eau par exemple), et optimiser l'échange de flux, lorsque cela est possible, entre les différentes unités (juridiquement indépendantes) du site. Elles vont ensuite l'intégrer dans le raisonnement plus large d'économie circulaire – avec par exemple, des effluents retournant en amendements des sols par un réseau de canalisations vers les champs des sociétaires. Cette théorisation par les acteurs est celle qui est reprise par Octave et Thomas dans leur article canonique où ils traitent de la bioraffinerie comme un métabolisme industriel. La bioraffinerie devient donc à la fois un objet problématisé en termes de développement durable (la bioraffinerie territoriale gérée selon une logique d'écologie industrielle), le terrain de l'industrialisation de la biologie par les biotechnologies, et l'outil de valorisation alimentaire et non alimentaire. Ce qui signifie qu'elle ne peut n'exister qu'en tant que compromis entre les trois types de bioéconomie, à renouveler en permanence, car cela ne peut aller sans questions sur les moyens d'assurer leur coexistence

---

<sup>140</sup> Finalement, en 2010, BioAmber a été rachetée par DNP et s'est délocalisée au Canada où elle tente d'installer sa première unité de production. La dernière consultation en août 2016 des cours de Bioamber montre qu'elle est plutôt dans le cycle des déceptions que dans celui des promesses pour atteindre leur niveau d'avant 2014.

dynamique. Tout cela s'est construit localement avant d'être porté dans ce qui est présenté aujourd'hui comme un modèle européen de la bioéconomie.

## Conclusion

Ce chapitre a permis d'exposer comment les acteurs de chacune des bioéconomies problématissent le fonctionnement de celle-ci et comment ces trois conceptions sont venues se fondre dans un compromis organisé de façon dominante par la troisième bioéconomie qui enrichit sa trajectoire à partir d'éléments des deux premières. L'exploration de trois cas (l'ancrage des bioraffineries, les filières de l'oléochimie et le pôle IAR) permet de montrer que les acteurs mettent en forme leur problématique d'industrialisation en l'enrichissant de cette façon.

Nous avons montré que le compromis dominant au sein de la troisième bioéconomie reposait sur le couple biocarburants/coproduits (qu'ils soient atteints par des voies thermochimiques ou biochimiques). Néanmoins d'autres trajectoires technologiques et modèles économiques apparaissent dans les représentations des acteurs : une bioraffinerie (puisque le terme s'impose à l'ensemble des acteurs comme l'artefact central du dispositif) sans carburants ; des voies d'oléochimie partant des huiles végétales pour les fonctionnaliser sans passer par l'étape biocarburant ; des voies de réalisation de matériaux où les *building blocks* issus du cracking trouvent leur place, mais comme liants de structures fibres et pas comme *building blocks* d'une filière entièrement chimique – donc une variété de compromis de produits. Les acteurs du champ apparaissent alors comme en concurrence du fait de l'hyperconcurrence entre matières premières éligibles aux transformations ; entre process et semi-produits issus de la chimie de base du végétal, et entre façons de satisfaire les fonctionnalités économiques attendues. Mais ils s'inscrivent tous dans un champ de la bioéconomie qu'ils ne peuvent que développer conjointement.

Cette problématisation est prise en charge à différents niveaux. On a pu pointer le fait qu'elle pouvait être prise en charge au niveau national soit par la mise en forme de dispositifs institutionnels comme aux États-Unis en ayant permis l'entrée de la finance dans les biotechnologies. Au niveau national, la question de l'industrialisation peut également être mise en forme dans le soutien à des industries existantes comme cela est le cas pour le pôle IAR. L'industrialisation est également prise en charge au niveau européen par l'importation de dispositifs institutionnels américains sur les biotechnologies, mais aussi en imposant des dispositifs comme les *clusters* et l'organisation de la concurrence entre ceux-ci. Néanmoins, à chaque fois on trouve des acteurs qui ont su convaincre les pouvoirs publics de différents niveaux (local, régional, national, européen) de la pertinence des espérances technologiques dont ils étaient porteurs. Ces deux éléments (des acteurs porteurs de solutions différentes et des dynamiques d'assemblages entre niveaux territoriaux) invitent donc à « chercher les différences » au sein de ce compromis dominant, ce que nous allons faire dans le chapitre suivant, consacré aux enseignements que l'on peut tirer de l'inscription des régimes de production de connaissance et d'activités économiques dans les dispositifs institutionnels de niveau national et européen.



## CHAPITRE 5 – L’INSCRIPTION DES REGIMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D’ACTIVITES ECONOMIQUES DANS DES DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS

Ce chapitre va être divisé en deux sections. La première porte sur la façon dont des régimes de production de connaissances et d’activités économiques vont s’insérer dans des feuilles de route technologiques, à travers l’analyse de « feuilles de route nationales » qui sont devenues un exercice quasi obligé du pilotage des politiques technologiques. La notion de « *technology roadmap* » est une des technologies de l’action sociale<sup>141</sup> clé pour comprendre les formes de problématisation et de théorisation du changement par les acteurs. Elle participe donc directement des éléments de régulation *institutionnalisée* du changement qu’on souhaite décrire, même si l’on ne souhaite pas réduire la régulation à la version anglo-saxonne du terme « *regulation* » à savoir des règles de l’action publique<sup>142</sup>.

Le *roadmapping* vise à fournir des outils de planification au chef d’entreprise, que ce soit en matière stratégique (mettre en perspective la vision du dirigeant avec les fondamentaux des besoins du marché, et les marchés cibles) ; en matière de mise au point de produit (produire le document qui guide réellement l’assemblage des différents composants d’une technologie, et donc les efforts de développement des équipes opérationnelles et notamment d’équipes R et D) ; ou de construction d’une relation commerciale (faire la description fonctionnelle du produit de façon à ce que le client puisse s’en emparer). On remarquera que ces trois composantes font bien partie de l’univers analytique du champ qu’on étudie, de même que la notion d’institutionnalisation du développement dans la roadmap, présente dans les modèles de *roadmap* d’entreprises, prouve si l’en était que les régulationnistes ne sont pas si loin de la réalité :

---

<sup>141</sup> Par exemple, l’International European Agency, dont le lecteur intéressé pourra consulter sur internet le guide des principes d’implémentation d’une *technology roadmap* qu’elle a édité en 2014 en collaboration avec l’OCDE, décrit ainsi la finalité de son travail en la matière : « *There is a pressing need to accelerate the development of low-carbon energy technologies in order to address the global challenges of energy security, climate change and economic growth. This challenge was acknowledged by ministers from G8 countries at their meeting in June 2008 in Aomori, Japan where they declared the wish to have IEA prepare roadmaps to advance innovative energy technology. It was reconfirmed by IEA member countries. To achieve this ambitious goal, the IEA is developing a series of global low-carbon energy technology roadmaps covering the most important technologies. The IEA is leading the process, under international guidance and in close consultation with government and industry. The overall aim is to advance global development and uptake of key technologies to reach a 50% reduction in energy-related CO<sub>2</sub> emissions by 2050. The roadmaps identify priority actions for governments, industry, financial partners and civil society that will advance technology development and uptake to achieve international climate change goals.* » (<https://www.iea.org/roadmaps/>, non daté, relevé le 16/08/2016)

<sup>142</sup> Cf. la revue *Research / Technology Management* (Vol 47/2, 2004) pour un dossier sur l’importation de cette notion du *management* vers les politiques publiques.

## Les stades de maturité du *roadmapping*

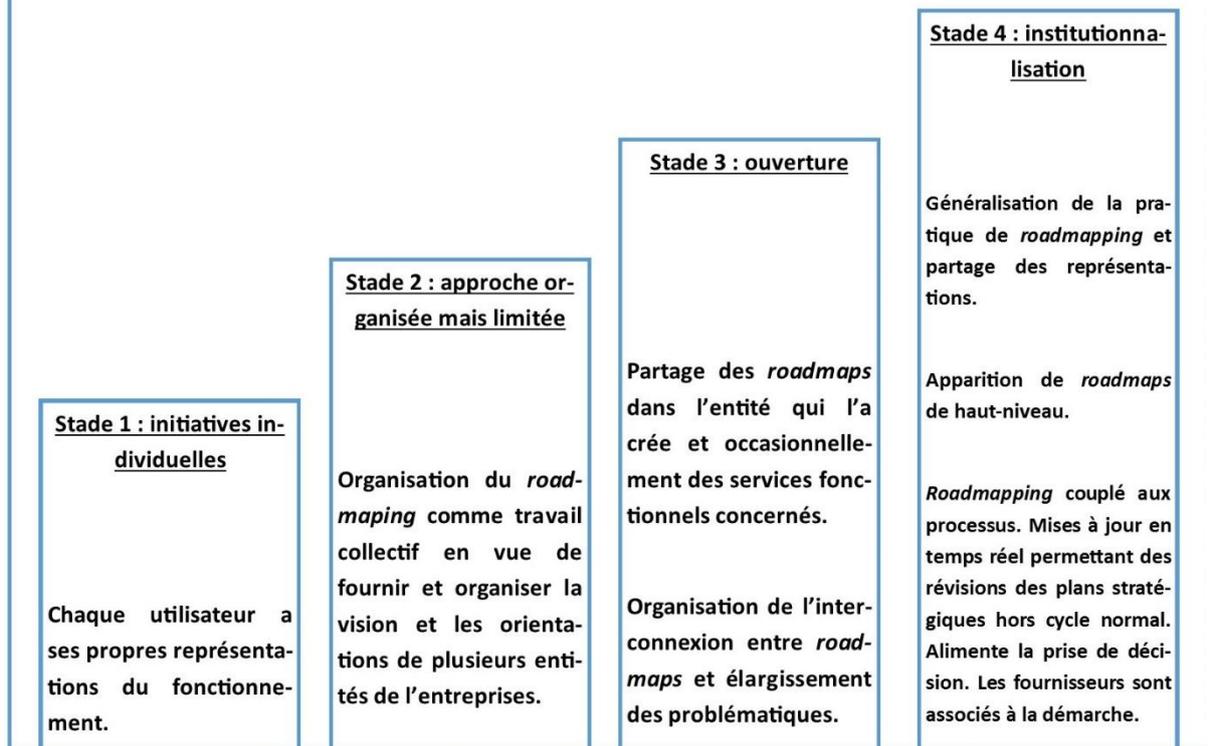


Figure 72 : Les différents stades du *roadmapping* (d'après Treitel, 2005 ; notre adaptation)

La deuxième section est consacrée à l'analyse des jeux stratégiques dans le champ de la bioéconomie au niveau européen. Non pas parce que nous considérons ce niveau comme le niveau supérieur, mais parce que c'est celui où l'on peut le mieux observer ces jeux stratégiques. On va donc observer les jeux de tensions et de composition entre régimes de production de connaissance et d'activité économiques à partir de deux entrées. Une entrée *process*, à travers la description de projets européens portant sur les mises au point de *process*, et organisant des partenariats public/privés pour y parvenir. Ils vont aboutir en 2014, au partenariat public privé Bridge rebaptisé BioBased Industries (BBI) qu'on lira comme un compromis hégémonisé par certains acteurs. Une entrée par les produits produits, où l'on relatara des affrontements entre les logiques produits, dans la mise en place de cette autre forme de technologie d'action sociale que sont les normalisations de produits.

## 1. Régimes de production de connaissances et d'activités économiques dans les espaces nationaux<sup>143</sup>

Dans le rapport intitulé « LA BIOECONOMIE A L'HORIZON 2030 : QUEL PROGRAMME D'ACTION ? », l'OCDE développe une position similaire quand elle défend l'idée de la structuration d'une bioéconomie fondée sur les biotechnologies dont les applications iraient de la production d'OGM, de médicaments, produits chimiques, etc. Cette feuille de route illustre parfaitement la problématisation de la deuxième bioéconomie : rôle de la finance, insertion des biotechnologies dans un grand nombre de secteurs, etc.

Colonna *et alii* (2015) ont également établi une synthèse des feuilles de route nationales<sup>144</sup>. Parmi les critères discriminants des feuilles de routes proposées par les auteurs, on y retrouve bien la distinction que nous avons faites entre bioéconomie (entendue comme « industrialisation de la biologie par des voies biotechnologiques issues de la révolution du génie génétique, plutôt que de la microbiologie traditionnelle ») et économie biosourcée (au sens de « valorisation des ressources végétales ou animales, en étant agnostique sur le *process* à même de transformer au mieux telle ou telle ressource »). Il s'agit donc bien d'approcher les feuilles de route nationales à partir des différents concepts de bioéconomie que nous avons dégagés et de décrire la façon dont la bioéconomie est problématisée dans ces documents, selon la grille que nous avons dégagée dans le chapitre précédent, qui porte à la fois une différenciation entre trois bioéconomies et des effets de composition entre elles.

Néanmoins, la question posée ici n'est pas seulement de déterminer des différences *nationales* dans la façon dont est travaillée la bioéconomie dans les espaces nationaux. Certes, il s'agit d'un résultat intéressant de constater comme nous l'avons fait dans Béfort et Nieddu (2016, à paraître) que des firmes impriment à des feuilles de route nationales une spécificité propre, et continuent à considérer leur espace national comme un espace d'appui pour le soutien à un premier régime de production de connaissances, mais analyser en quoi des feuilles de route de bioéconomies nationales sont identiques ou hétérogènes, permet de s'interroger, si elles sont différentes, sur l'origine de ces différences. Celles-ci sont les témoins de la diversité que nous nous souhaitons capter analytiquement pour l'opposer à l'hypothèse de convergence des niches vers la « *winning technology* » du modèle MLP.

Pour répondre à ces questions, nous nous intéresserons au cas de l'Allemagne, des États-Unis, de la Finlande et de l'Italie. Nous n'avons pas retenu la France, car celle-ci n'a pas encore publié sa feuille de route nationale. Notre interprétation suite à divers entretiens (dont celui avec J. Dugué, chargé de mission bioéconomie et bioproduits du ministère de l'Agriculture) est que si la feuille de route française n'a pas encore été publiée, c'est qu'il n'existe pas de compromis stabilisé sur les deux dimensions de la grille analytique déployée dans ce chapitre à savoir les différences en termes de composition entre les trois bioéconomies et les différences entre régimes.

Les États-Unis ont une longue histoire de valorisation du végétal à travers le mouvement de la *chemurgy*. Il a été montré que comme aujourd'hui, ce mouvement était porté à la fois par des

---

<sup>143</sup> Pour chacun des rapports mobilisés dans cette section, le lecteur peut se reporter à l'annexe correspondante pour une analyse détaillée des rapports à partir des rapports institués de Jullien et Smith.

<sup>144</sup> Qui aurait dû être présentée dans la même session du colloque de Montpellier que notre papier (Nieddu *et alii*, 2014) ce qui n'avait pas été possible en raison de perturbations dans les transports.

industriels, des agro-industries et des chercheurs et qu'ils défendaient l'usage non alimentaire du végétal comme vecteur d'indépendance pour les États-Unis. De plus, les États-Unis ont été le premier pays à se doter d'une feuille de route portant sur la bioéconomie. Si elle n'était pas encore nommée ainsi, mais « *carbohydrate economy* » suite à l'importation de la méthode des feuilles de route du management d'entreprises telles que Motorola vers le management public (cf. Porter *et alii* 1998 notamment). Elle faisait état d'une volonté de faire émerger des productions biosourcées, à partir d'une diversité de matières premières et de technologies. L'Allemagne a été le premier pays européen à se doter d'une stratégie sur la bioéconomie en même temps qu'une stratégie sur le développement de la bioraffinerie et d'un conseil de la bioéconomie, sous l'impulsion de C. Pattermann. Ce dernier est très actif au sein de l'OCDE et de l'Union européenne pour soutenir les biotechnologies.

Le cas finlandais est particulièrement intéressant, car ses feuilles de route portent exclusivement sur l'usage du bois, qui ne saurait surprendre dans le contexte des ressources renouvelables de l'Europe du Nord, dont les acteurs dans la bioéconomie sont plutôt issus du monde de la pâte à papier, comme l'illustre l'exemple de la firme norvégienne Booregaard, très présente dans les projets présentés dans la section 2 et qui montre que la concurrence n'est pas seulement entre ressources fossiles et ressources renouvelables. Le cas de la vanilline de Booregaard montre bien que c'est le positionnement concurrentiel dans un univers d'hyperconcurrence des sources d'approvisionnement et des voies technologiques pour des fonctionnalités attendues qui est le moteur de l'action de firmes et de territoires et qui détermine les choix. Enfin, le cas italien est fondé sur un discours évoquant la bioéconomie comme « économie de système » articulant des producteurs de matières premières agricoles et des politiques de revitalisation de sites industriels de la chimie délocalisés.

Chaque cas est traité en première approche à partir des quatre rapports institués de Jullien et Smith. Cependant, nous ajoutons une cinquième catégorie qui est le « fonctionnement global de l'industrie ». Cette catégorie vise à saisir la façon dont le fonctionnement de la bioéconomie est théorisé dans la feuille de route. Chacun des tableaux utilisés pour l'analyse est reporté en annexe. Le tableau suivant résume la liste des sources utilisées. Pour faciliter la compréhension de notre propos, nous mentionnerons dans les citations le titre du document, qui sont mentionnés en bibliographie.

<u>Pays</u>	<u>Titre du document</u>	<u>Institution responsable</u>	<u>Date</u>
<b>États-Unis</b>	Plant/crop-based Renewable Resources 2020. A Vision to Enhance U.S. Economic Security Through Renewable Plant/Crop-Based Resource Use	US Department of Energy (DOE)	1998
	The National Bioeconomy Blueprint	The White House	2012
	Why biobased ?	US Department of Agriculture (DOA)	2014
	Industrialization of Biology: A Roadmap to Accelerate the Advanced Manufacturing of Chemicals	National Research Council of the National Academies	2015
<b>Allemagne</b>	National Research Strategy BioEconomy 2030	Federal Ministry of Education and Research	2010
	Biorefineries Roadmap	Agency for Renewable Resources	2012
	Wood in the Bioeconomy – Opportunities and Limits	Bioökonomierat	2015
	Future Development of Mechanisms for the Support of public and private Research in Regard to the Needs of the Bio-Economy	Bioökonomierat	2015
<b>Finlande</b>	Sustainable Growth from Bioeconomy : The Finnish Bioeconomy Strategy	Ministry of Environment	2015
<b>Italie</b>	Les bioplastiques : études de cas de la bioéconomie en Italie	Kyoto Club	2014
	The biobased Chemical Industry towards an Italian Strategy of Bioeconomy	Cluster Spring	2015

Figure 73 : Tableau des sources employées

## 1.1. Le cas des États-Unis

Nous avons vu plus haut que la société américaine n'a pas découvert récemment la problématique d'une transition vers l'usage de ressources renouvelables. Finlay (2003) relate qu'à partir des années 1920 s'est développé le mouvement de la « *chemurgy* ». Ce mouvement, porté principalement par des acteurs ayant une visée de progrès social par la chimie, des industriels (comme H. Ford ou des membres de Dow Chemicals) ou encore des journalistes, avait déjà, à des degrés divers chez les acteurs, trois objectifs : développer l'usage non alimentaire des productions agricoles, développer de nouvelles commodités qui seraient utiles pour l'industrie et utiliser toutes les parties de la plante et les déchets agricoles.

Ce mouvement s'est imposé dans le contexte de l'après-Première Guerre mondiale à l'issue de laquelle, la chimie a été saluée pour sa participation à l'effort de guerre (production d'engrais, de pesticides, d'explosifs, etc.). La contrepartie dans l'agriculture de cette participation à l'effort de guerre et d'intensification de la production agricole a été une crise de surproduction durant les années 20. Au niveau international, la période est marquée par des tensions internationales sur le commerce qui nourrissent l'intérêt pour des ressources disponibles aux États-Unis. Ainsi, l'Angleterre augmenta les tarifs du caoutchouc qu'elle produisait en Asie, ou bien encore le prix des huiles végétales utilisées pour les graisses industrielles. Par ailleurs, il se tenait déjà à cette époque de découverte de grands champs de pétrole un discours sur la possible raréfaction des ressources.

Ainsi, les ingénieurs de Ford ont développé des peintures, lubrifiants et des parties en plastiques pour des automobiles. Cette période voit également le développement d'intermédiaires comme l'acide lévulinique, qui est aujourd'hui présenté comme une des molécules clés pour la transition. Le discours autour de la *chemurgy* est celui d'un ancrage de la production sur des ressources agricoles produites aux États-Unis à la fois comme source de prospérité économique, mais également comme moyen de garantir l'indépendance énergétique du pays. Finlay (2003) rappelle que les membres du mouvement de la *chemurgy* ont poursuivi leurs travaux autour de cette dernière question en publiant un ouvrage consacré à l'utilisation de l'agriculture pendant la guerre. Malgré tout, la période *post* Seconde Guerre mondiale marqua le recul du mouvement notamment suite au développement de la chimie du pétrole. Notons que le développement de ce type de chimie est lié à ce qui a fait le succès de la chimie pendant la Première Guerre mondiale et après : la rationalisation de sa production et de sa pensée grâce au tableau périodique des éléments et à la chimie des polymères.

Ce que l'on peut retenir du mouvement de la *chemurgy* est à la fois le positionnement politique autour de la question de l'indépendance énergétique des États-Unis et de l'épuisement des ressources pétrolières. Mais il porte aussi la formalisation d'une problématisation des agro-industries, s'opposant à une vision dominante en termes de « *food and fiber system* », si l'on reprend la citation de Finlay déjà mobilisée dans le premier chapitre de cette partie, « *argued that an emergent chemurgic revolution meant that farmers should discard the cultivation of old-fashioned crops with « time-worn nicknames » like corn and wheat and instead view their job as the cultivation of products with real meaning: cellulose, starch, lignin, levulose, and the like. A farm's value, Hale believed, should be measured in terms of its organic compounds, rather than its capability to produce food and fiber.* » (Finlay, 2003, p.37). Les fermes doivent être dédiées à produire des matières premières utilisables à la fois dans l'alimentaire (l'amidon par exemple) et dans le non alimentaire. Par conséquent, c'est leur capacité à produire des matières premières et non de la biomasse qui doit être évaluée.

### 1.1.1. Le rapport de 1998

Les États-Unis ont publié une première feuille de route consacrée à l'émergence d'une « *carbohydrate economy* ». Celle-ci identifie les chaînes carbonées d'origine agricole comme sources de carbone et identifie une problématique d'articulation non résolue entre agriculture et chimie qui va être le cœur de la problématisation de la feuille de route face à la « *hydrocarbon economy* » actuelle.

Ainsi, le document débute sur le constat suivant : « *Use of plant/crop resources for energy, or as basic building blocks for industrial production, has been limited because of a poor fit with the hydrocarbon processing system that has been successfully developed to utilize fossil fuels.* » (*Plant/crop-based renewable resources 2020, 1998, p.2*). Pourtant, l'approvisionnement en biomasse est décrit comme stratégique pour les États-Unis : « *The vision is to provide continued economic growth, healthy standards of living, and strong national security through the development of plant/crop-based renewable resources that are viable alternative to current dependence on non-renewable, diminishing fossil fuels. (...) Plant/crop-based renewable resources are a strategic option to meet the growing need for industrial building blocks, and to maintain the leadership position for the U.S. into the next century.* » (*Ibid., p.2*). On retrouve donc une partie de la problématisation de la *chemurgy* au sens du rôle de l'agriculture à la fois comme moyen de croissance supplémentaire pour l'économie américaine, mais également d'indépendance énergétique.

Cependant, la contribution de l'usage de ressources renouvelables n'était estimée qu'à 10 % en 2020 : « *Note that the vision for 2020 assumes fossil fuels will still contribute 90% of the base inputs. The addition of plant-based renewables is not an « either/or » situation, it is a necessary contribution to meet future demands.* » (*Ibid., p.8*). On a donc une réflexion autour de l'articulation entre une économie fondée sur l'usage de ressources renouvelables et une autre fondée sur les ressources fossiles que l'on va retrouver dans d'autres feuilles de route américaines.

#### 1.1.1.1. La diversité comme point de départ dans le rapport d'approvisionnement

Le travail d'identification des technologies et matières premières s'appuie sur la matrice suivante. La partie basse de la matrice désigne les différents types de matières premières : les déchets et coproduits, les cultures existantes, les cultures dédiées et les OGM. La partie haute est consacrée aux procédés utilisables : la chimie existante, une chimie modifiée, les procédés biotechnologiques et la production de nouvelles molécules. Au centre de cette matrice est matérialisé le « front de recherche » visant à définir les domaines sur lesquels doivent porter les efforts de recherche.

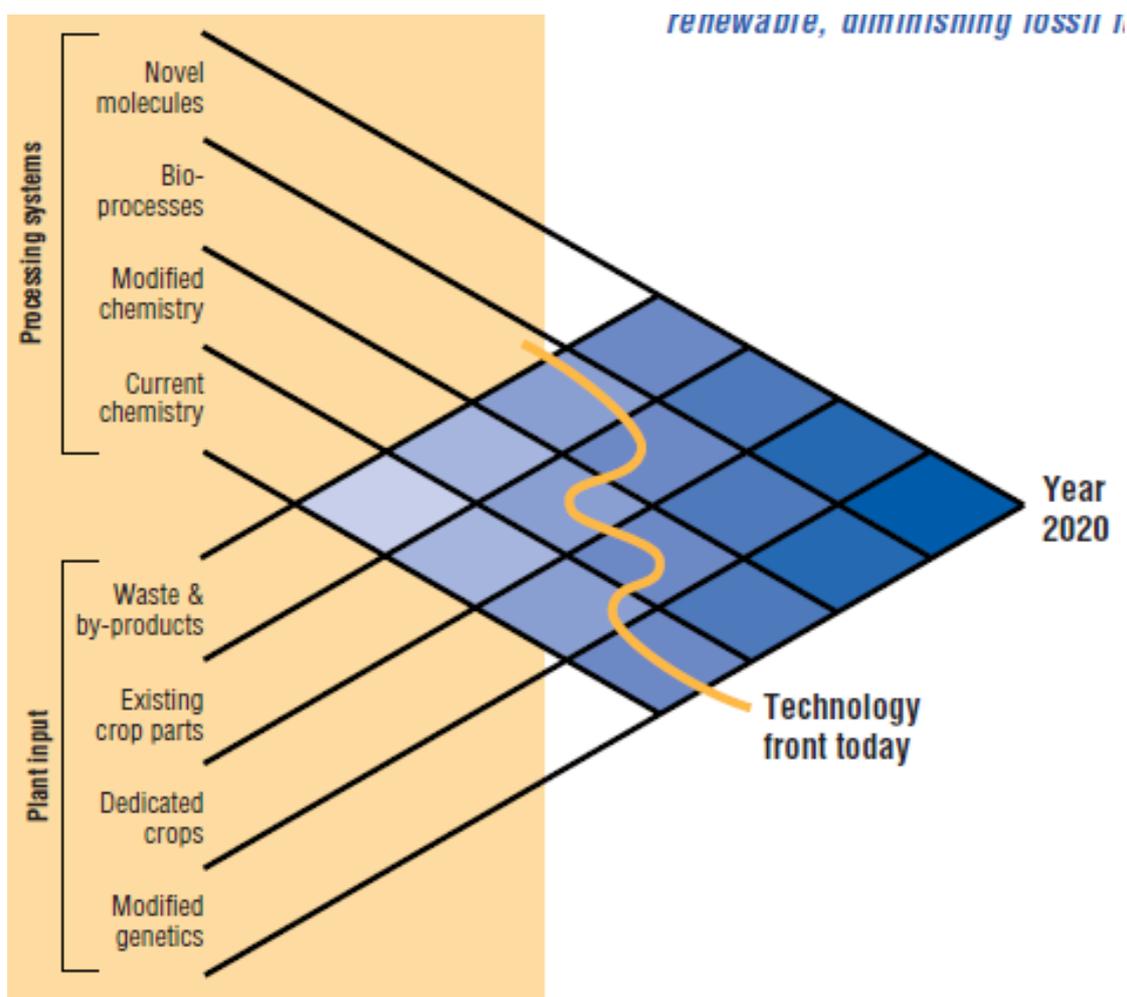


Figure 74 : Matrice d'identification des couples matières premières/technologies pertinentes (Plant/crop-based renewable resources 2020, 1998, p. 2)

Cette matrice d'évaluation des opportunités est utilisée pour structurer le travail de prospective et attribuer un rôle aux matières premières ou aux procédés : « *In the shorter term, modified processes will allow economic use of plant/cropbased resources, while longer-term opportunities exist via the application of recent biotechnology advances.* »<sup>145</sup> (*Ibid.*, p.3). Dans ce discours, il pointe la mise en récit de la mobilisation du patrimoine productif de la chimie traditionnelle, qui modifierait ses procédés pour traiter de nouvelles matières premières, suivies par l'émergence des biotechnologies pour arriver jusqu'en 2020, plutôt qu'une concurrence entre voies – une façon de désigner le fait que les *process* biotechnologiques reposent plus sur une économie des promesses.

Le rapport souligne ensuite la diversité des articulations entre les matières premières et les procédés, leurs différents niveaux de productivité et les différents niveaux de productivité des régions agricoles :

<sup>145</sup> Souligné par nous.

Type de diversité	Citation extraite de la feuille de route
Diversité des articulations [matières premières/procédés]	« Plant-based inputs may take several forms (wood, cellulose, lignin, starch, amino acids, etc.), and may be sourced from different places (biomass, crop residues, dedicated crops, crop processing by-products, etc.). » (p.21)
	« In many cases, major sources of plant materials are not even geographically suited to be the locations of petrochemical processing facilities. The use of plant/crop-based resources requires the development of concepts around « alternative processing » <u>rather than</u> just « alternative sources » for existing processes. » (p.3)
Diversité des niveaux de productivité des régions agricoles	<p>- « Some proponents of increased use of plant-based renewables point to the many acres of so-called marginal land (low unit biomass production), and suggest that those acres should be the source of materials for feedstocks. Marginal land is called marginal for a reason. If economic comparisons are to be made using plant production levels from marginal land, <u>it is difficult to envision why such a system alone would be economically viable.</u> » (p.11)</p> <p>- « Plant-based inputs may take several forms (wood, cellulose, lignin, starch, amino acids, etc.), and may be sourced from different places (biomass, crop residues, dedicated crops, crop processing by-products, etc.). » (p.21)</p>
Diversité des niveaux de productivité des procédés dans le couple [matières premières/procédé]	« A major issue to be addressed in supply relates to the intent of the original production and how that is to be managed. Today, trees are grown for wood and pulp, crops are grown for food, feed, or fiber, <u>and have not been well optimized for multiple uses.</u> Evaluation of input costs have been based on plant/crop inputs from non-optimized (as raw materials) plant production systems, and thus carry an up-front economic penalty. » (p.10)

Figure 75 : Les différents types de diversité dans le Plant/crop-based renewable resources 2020

L'étude dans le rapport de ces différents types de diversité sert en réalité à identifier ce qui est qualifié de « hot spots », c'est-à-dire des couples matières premières/technologies « prometteurs ». Ceux-ci sont à court terme [*existing crop parts/modified chemistry*] pour aller vers le couple [*modified genetics/bio-processes*], que l'on retrouve sur la figure suivante.

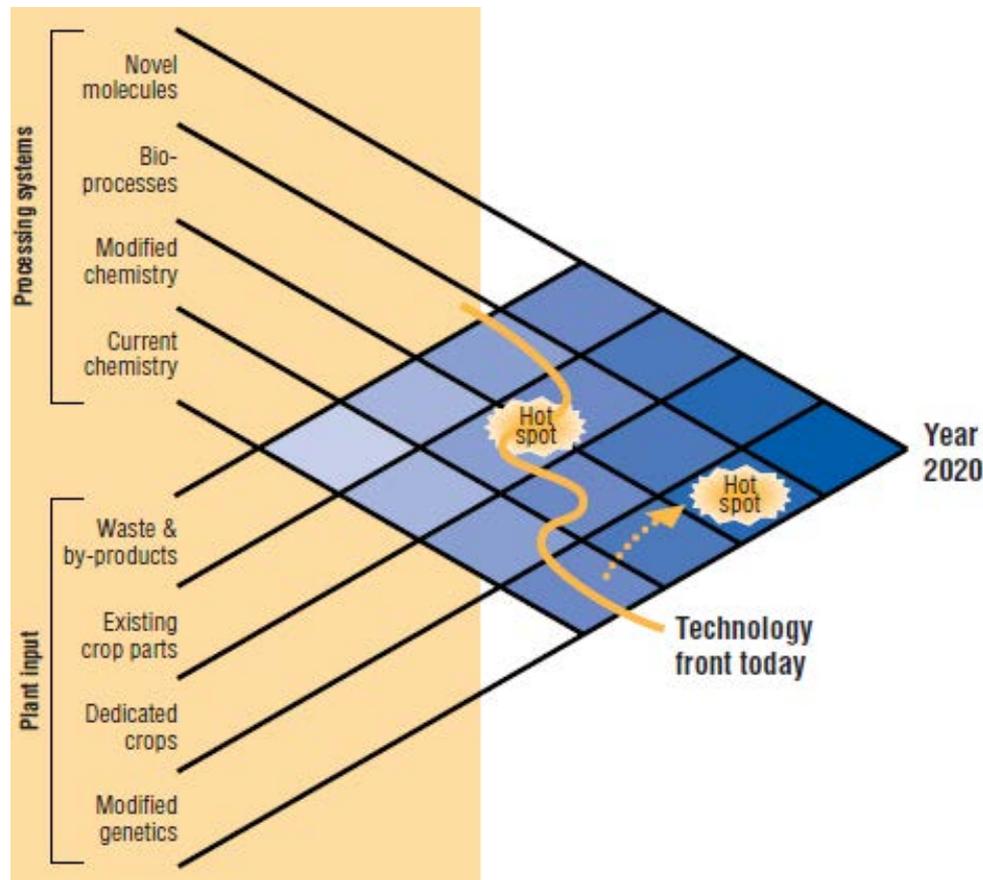


Figure 76 : Les hot-spots pour une bioéconomie d'après le Plant/crop-based renewable resources 2020 (Plant/crop-based renewable resources 2020, 1998, p.23)

Le document analysé est considéré par les acteurs du champ comme fondateur. Traité en ce sens, il permet de souligner qu'il fonde une façon de penser le développement des activités économiques en termes de couples [matières premières/procédés], mais également à partir des matières premières et des technologies existantes. Du point de vue du cas particulier des États-Unis, on voit que dans cette feuille de route se cristallisent à la fois des positions héritées du mouvement de la *chemurgy*, mais également de l'émergence des biotechnologies aux États-Unis

### 1.1.1.2. La question de la commercialisation

Sur la question de la commercialisation, la feuille de route souligne le fait qu'un certain nombre de produits (à partir d'une variété de matières premières) sont déjà produits : « *Although the total quantity consume is low, plant-based materials are currently used for a wide variety of chemicals, ranging from paints to adhesives to lubricants. Soybeans have been a traditional source of vegetable oils, and more recent genetic advances have allowed the production of specialty oils for particular lubricant markets. Also, in recent years the use of soybean-derived ink has become relatively common.* » (*Ibid.*, p.9). Mais la question du développement de la production de produits biosourcés évoqués dans l'ensemble du rapport portait déjà sur les niveaux de productivité.

Cette question, au niveau du rapport commercial, est traitée comme suit : « *Plant materials, such as lignin or starch, can also be high-volume, low-cost materials and could compete on a commodity basis if the appropriate systems were developed. The types of cost comparisons that have been done historically showed that plant-based materials were not particularly well-suited to the economics of the petrochemical industry, but in cases where cost was similar, the portion of material derived from plants increased significantly (...). The real issue is perhaps one of cost of conversion to « force fit » plant-derived materials into a manufacturing system that requires a different chemical strategy. (...) **There is a need to avoid the conflict of « either/or » and explore what opportunities can be developed to use the best of both sources of raw materials***<sup>146</sup>. » (*Ibid.*, p.12). Ainsi, le mode de développement des produits doit reposer sur l'articulation entre [matières premières/procédés/opportunité exploitable étant donnée les deux premières conditions].

### 1.1.2. La bioéconomie dans le National Bioeconomy Blueprint

Sur la question de la définition de la bioéconomie, on retrouve ici la distinction opérée entre d'une part la bioéconomie des biotechnologies, promue par le *National Bioeconomy Blueprint* de 2012 et la feuille de route *Why biobased ?* qui se situe plutôt sur celle de la *chemurgy*.

Ce document a été publié avec le soutien de la Maison-Blanche en 2012, comme en témoigne la signature de B. Obama en conclusion du document. La bioéconomie y est définie comme suit : « *the growth of today's U.S. bioeconomy is due in large part to the development of three foundational technologies : genetic engineering, DNA sequencing, and automated high-throughput manipulations of biomolecules* » (*National Bioeconomy Blueprint*, 2012, p.1). C'est-à-dire que la bioéconomie est portée par les biotechnologies. Par conséquent, ce qui fait partie de la bioéconomie est tout ce qui relève du champ des biotechnologies : « *The U.S. bioeconomy is all around us: new drugs and diagnostics for improved human health, higher-yielding food crops, emerging biofuels to reduce dependency on oil, and biobased chemical intermediates, to name just a few.* » (*Ibid.*, p.7). La définition est donc alignée sur celle de l'OCDE, à moins que ce ne soit l'inverse en réalité, avec les grands domaines concernés que sont la santé, l'énergie, l'agriculture et l'environnement.

La bioéconomie pourrait être favorisée, d'après la feuille de route, par la facilitation des dépôts de brevets et la suppression d'un certain nombre de réglementations sur le contrôle des biotechnologies, mais aussi par un accès privilégié pour des procédés et produits développés aux États-Unis aux marchés publics grâce à des programmes d'achats fédéraux. Ces recommandations,

---

<sup>146</sup> Surligné par nous.

présentées dans la définition de la bioéconomie, ont été reprises sous l'angle de l'industrialisation dans la feuille de route *Industrialization of Biology* (2015).

### 1.1.3. La bioéconomie du Why Biobased ?

Comme son titre l'indique, le document porte plus sur les matières premières que sur les technologies. Par conséquent, la bioéconomie y est définie comme ceci : « *The Bioeconomy is characterized by a new generation of environmentally-friendly materials and products and economic opportunities for U.S.-based agriculture, chemical, and manufacturing sectors and their value chains, with far-reaching potential impacts on socioeconomic development and the resurgence of production in the U.S. (...) The Bioeconomy is the global industrial transition of sustainability utilizing renewable aquatic and terrestrial resources in energy, intermediate, and final products for economic, environmental, social, and national security benefits.* »<sup>147</sup> (Why Biobased ?, 2014, p.1). On retrouve donc ici l'idée d'une grande transition vers l'usage de ressources renouvelables, tout en reprenant le discours autour de la relocalisation de la production industrielle aux États-Unis, mais aussi en redéveloppant les « zones rurales » (pour reprendre l'expression utilisée) : « *The emerging bioeconomy has the potential to create unprecedented growth in the rural economy and create a higher level of selfsufficiency for farming and rural communities. (...) The conversion of lignocellulosic biomass is considered to provide maximum benefits to the rural economy.* » (*Ibid.*, p.2).

Le passage par la *chemurgy*, après avoir décrit le développement des biotechnologies dans la première section de ce chapitre, nous a permis de montrer deux lignes soutenant l'émergence d'une bioéconomie, mais avec des visions différentes. Nous allons montrer plus loin que ces deux lignes participent à structurer les feuilles de route américaines.

Les analyses précédentes nous ont permis de mettre en évidence les influences structurant la définition de la bioéconomie et de son fonctionnement global. Il ressort une tension entre une vision d'une bioéconomie fondée sur les biotechnologies et une seconde vision sur la diversité des trajectoires technologiques. Or la première feuille de route américaine posait le problème de l'industrialisation des procédés. Il s'agit donc de déterminer comment cette question est prise en charge dans les feuilles de route.

### 1.1.4. L'industrialisation des procédés dans le National Bioeconomy Blueprint

Dans le *National Bioeconomy Blueprint*, l'industrialisation est d'abord traitée à partir des *drivers*. Ceux-ci relèvent tout d'abord du soutien public au *scale-up*, c'est-à-dire le problème du passage du stade du laboratoire au démonstrateur industriel, puis au pilote et enfin à l'unité de production. Dans le cas de la production de mousses de tanins, nous avons assisté « en direct » aux discussions sur ces problèmes. Abordés par des questions techniques (choix des machines, etc.), ces problèmes renvoient également au problème de l'incertitude liée à la demande du produit (qui va consommer des mousses de tanins parce qu'elles sont sans formaldéhydes ?) et donc au problème de ce que les acteurs appellent la « vallée de la mort ». C'est-à-dire qu'au-delà de l'incertitude inhérente à l'investissement, celle-ci se trouve renforcée par le fait que la demande n'est pas identifiée – ce que nous montre le travail de définition d'une norme sur les produits.

---

<sup>147</sup> Surligné par nous.

La définition de cette norme est un des *drivers* avancés dans la feuille de route, s'appuyant sur la norme ASTM Method 6866<sup>148</sup> dans le cadre du *biopreferred program*. Lancé en 2002, il vise à contraindre le choix de produits biosourcés dans les commandes publiques. D'abord confidentiel, c'est à partir de 2012 que l'on assiste à un renforcement de ce programme avec l'extension de la liste des produits agréés par l'USDA. Par exemple, le Biosuccinum produit par Reverdia, qui est une coentreprise entre DSM et Roquette a obtenu le label *biopreferred*. De même, une partie du matériel équipant les bases militaires américaines (comme le savon, les serviettes de toilette...) est d'origine végétale.

Le rapport américain insiste également sur la construction de *pool* de ressources pour affronter la « *valley of death* » (pour reprendre l'expression utilisée dans le rapport) : « *strategic objectives : Identify and support opportunities for the development of public-private partnerships and precompetitive collaborations – where competitors pool resources, knowledge, and expertise to learn from successes and failures* »<sup>149</sup> (National Bioeconomy Blueprint, *Op. cit.*, p.38). Pour cela, un certain nombre de moyens ont été identifiés pour soutenir la constitution de ressources collectives comme des « *open-source initiatives* », la formation de partenariats publics-privés ou encore des prix visant à récompenser des procédés ou produits.



Figure 77 : Les modèles de constitution de ressources collectives dans la feuille de route américaine (National Bioeconomy Blueprint, 2012, p. 38)

<sup>148</sup> Notons que la norme américaine n'évalue que l'origine du carbone, or ce point fait débat en Europe, car il est lourd d'implication notamment pour l'évaluation de la productivité des sols. Cette question est traitée plus loin dans le chapitre.

<sup>149</sup> Surligné par nous.

1.1.5. Le rapport « Industrialization of Biology » qui prolonge le National Bioeconomy Blueprint sur l'industrialisation

La feuille de route « *Industrialization of Biology* » définit la bioéconomie comme « *The bioeconomy refers to the portion of the economy that is derived from biological processes and manufacturing.* » (Industrialization of Biology, p.16).

1.1.5.1. L'industrialisation comme problème pour le fonctionnement global de l'industrie

Elle se fixe pour but de « *create a roadmap for accelerating the advanced manufacturing of chemicals using biological systems* » (Industrialization of Biology, 2015, p.1). Pour cela, la feuille de route vise à traiter le changement d'échelle pour la production : « *Lowered costs, increases in production speed, flexibility of manufacturing plants, and increased production capacity are among the many potential benefits that the increased industrialization of biology may bring to producers and consumers of chemical products that have not been previously available at scale.* »<sup>150</sup> (*Ibid.*, p.2). La réponse à la disponibilité des molécules chimiques biosourcées réside donc dans l'industrialisation de la biologie et « *the convergence of biology with chemistry and engineering in transformative new ways* » (*Ibid.*, p.30). Ainsi, dans le modèle d'industrialisation, la chimie est mobilisée en tant que discipline et secteur économique qui dispose de procédés clés dans l'industrialisation de la biologie.

---

<sup>150</sup> Surligné par nous.

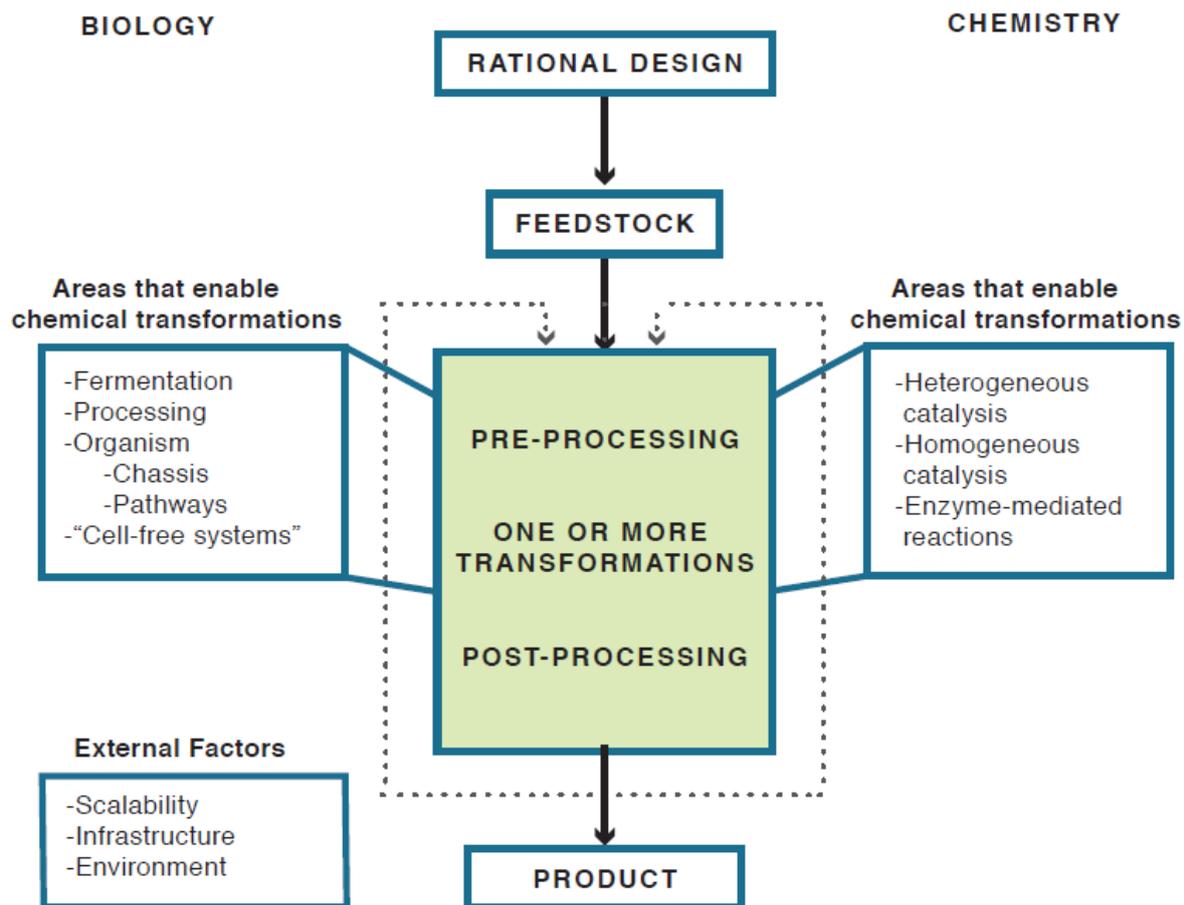


Figure 78 : L'organisation de la convergence entre la biologie et la chimie (Industrialisation of Biology, 2015, p.17)

## 1.1.5.2. La formalisation de l'industrialisation

### 1.1.5.2.1. *Le triptyque [matières premières/procédés/produits]*

Le triptyque [matières premières/procédés/produits] développé ici s'appuie sur l'articulation entre des technologies issues des biotechnologies vers des produits alors produits par l'industrie de la chimie : « *Biological engineering seeks to take advantage of the tools of recombinant DNA technology while applying systems and network analyses to the challenge of engineering more productive host organisms. (...) These principles have already been successfully applied to generate highly efficient and productive germination processes for a number of products. Early successes include, for example, the production of industrial enzymes, artemisin, lactic acid, 1,3-propanediol, isoprene, and alcohol-based biofuels.* » (*Ibid.*, p.4). Pour cela, les technologies clés sont la biologie synthétique, le séquençage ADN, la bio-informatique et les technologies complémentaires issues de la chimie pour la conception des produits. L'industrie de la chimie est donc reléguée au rang de fournisseurs de technologies d'appoints. Concernant les matières premières, la feuille de route établit qu'actuellement, c'est essentiellement du sucre extrait d'amidon qui est utilisé, mais que celui-ci devra être complété par la cellulose dont les usages sont à développer, tout comme pour le méthane ou le CO<sub>2</sub> : « *Cellulosic biomass holds great promise as a feedstock, but there are still many challenges associated with using recalcitrant cellulosic material in industrial biotechnology. (...) There is also significant active work in facilitating the use of syngas, methane, and carbon dioxide in manufacturing.* » (*Ibid.*, p.5).

Cependant, la production va faire face au problème de la production des organismes utilisés dans la fermentation. Pour cela, on doit d'abord connaître la molécule visée sinon on ne peut affiner la cible de production de bioorganismes. Il est ensuite nécessaire d'identifier des prix et volume ainsi qu'une qualité particulière en fonction du type de produits. Pour cela, il est fait mention de la nécessité de développer des études technico-économiques.

### 1.1.5.2.2. *La question du modèle économique*

La feuille de route prend en charge cette question à travers la définition d'une série de modèles. Le premier est celui de la firme au « développement intégré verticalement ». Dans ce modèle, toutes les activités, de la production de matières premières jusqu'à la vente du produit final, sont prises en charge par la firme. Le deuxième modèle est celui d'une « stratification horizontale » qui renvoie à des chaînes de valeur fragmentées.

Les deux modèles suivants renvoient en réalité à des unités de production. Le troisième modèle est celui de la grande bioraffinerie, similaire à la pétrochimie, dans des bioraffineries de grande taille. Le dernier modèle, de la « production distribuée », décrit de petites unités de production utilisant des ressources disponibles localement.

### 1.1.5.3. La question spécifique des produits

Nous avons abordé précédemment essentiellement la question des matières premières et des procédés. En effet, la question des produits était certes évoquée en lien avec les deux autres dimensions, mais il est notable que soit théorisées des stratégies de remplacement des produits.

#### 1.1.5.3.1. Les stratégies de remplacement des produits

La première approche est celle de la substitution terme-à-terme : « *one approach is the direct replacement of existing monomers derived from petrochemical sources with the same structure made by microbial fermentation.* » (*Ibid.*, p.60). Le problème associé à ce modèle est qu'elle induit directement une concurrence par les prix et vise essentiellement des produits de commodités, induisant d'importantes mobilisations de capitaux. Le deuxième modèle est décrit comme la production de « nouveaux polymères » possédant deux fonctions, par exemple biosourcé ou biodégradable, en plus des fonctionnalités chimiques. A ce titre, le PDO est une molécule d'intérêt, car il n'est plus simplement dérivé d'éthylène, mais également biosourcé. La dernière stratégie est celle de production de polymères à partir de polypeptides, c'est-à-dire d'acides aminés.

#### 1.1.5.3.2. La reproduction de la distinction chimie de commodité/chimie de spécialité

Alors qu'ici il s'agit essentiellement de penser le mode de transformation des produits, on note dans le rapport l'ancrage dans la façon de penser les produits dans la chimie : la distinction est faite entre la chimie de commodités et de spécialité. D'une part, la chimie de commodité doit viser des produits qu'il est possible de produire à partir de matières premières largement disponibles. La production en serait justifiée par les « bénéfices environnementaux et économiques » : « *These types of targets can provide both economic and environmental benefits via the ability of cells to utilize biomass-derived carbon sources, grow in aqueous media, and carry out multistep transformation of substrate to product in a single reactor.* » (*Ibid.*, p.55). D'autre part, les produits de spécialité pourraient permettre de tirer parti du fait qu'il n'existe pas forcément de procédés chimiques de production pour se développer dans des produits à forte valeur ajoutée : « *Specialty or fine chemical targets yield more flexibility in approach and cost of manufacture based on their higher value. Indeed for many complex natural products, there may be no existing chemical method for their commercial manufacture. As such, a biological route can provide new access to the target or a semisynthetic intermediate.* » (*Ibid.*, p.55).

#### 1.1.5.3.3. Qu'en est-il pour d'autres produits ?

Parallèlement au développement de molécules chimiques (de commodité ou de spécialité), il est mis en avant qu'il pourrait se développer cette industrie des enzymes nécessaires aux *process* industriels biotechnologiques. La complexité de la biomasse peut être exploitée si elle détient des propriétés particulières. En revanche, la simplification des molécules ouvre des opportunités pour le développement d'enzymes : « *In this regard, the identification and characterization of tailoring enzymes that may oxydize, cross-link, or ligate on new groups to core structures are useful.* » (*Ibid.*, p.57). De plus, il pourrait se développer une industrie des « molécules avancées », c'est-à-dire des enzymes permettant de nouvelles réactions ou la production de nouveaux groupes fonctionnels, et donc permettant de produire des « nouveaux polymères » tels qu'ils ont été définis précédemment. Par

ailleurs, il pourrait également se développer la production de systèmes biologiques permettant la production de *building blocks*.

#### 1.1.5.4. Mais un maintien de la diversité des trajectoires

La feuille de route « *Industrialization of Biology* », comme nous l’avons montré, développe une vision sur les outils de développement d’une industrie, centrée sur la biologie. Mais la feuille de route « **WHY BIOBASED ?** » évoque finalement assez peu les biotechnologies en tant qu’outil central de développement. En effet, cette feuille de route introduit également la thermochimie dans le rapport d’approvisionnement (cf. figure 18).

Là où ce document se distingue, c’est sur la recommandation du développement de petites unités de production, localisées à proximité des ressources afin de limiter les coûts de transport : « *However, the high cost of transporting biomass would necessitate the decentralization of biorefineries across rural areas. Local production of energy would simultaneously reduce the need to pay for the import of petroleum and the need to pay for the transportations of products to export destinations.* » (Why Biobased ?, 2014, p.3). De plus, cette implantation vise à participer au développement des zones agricoles : « *Local businesses would have an advantage over urban centers to flourish since local transportation is always cheaper. Rural areas also are major sources of under-utilized agricultural material, such as crop residues, forest residues, and animal manure.* » (*Ibid.*, p.3)

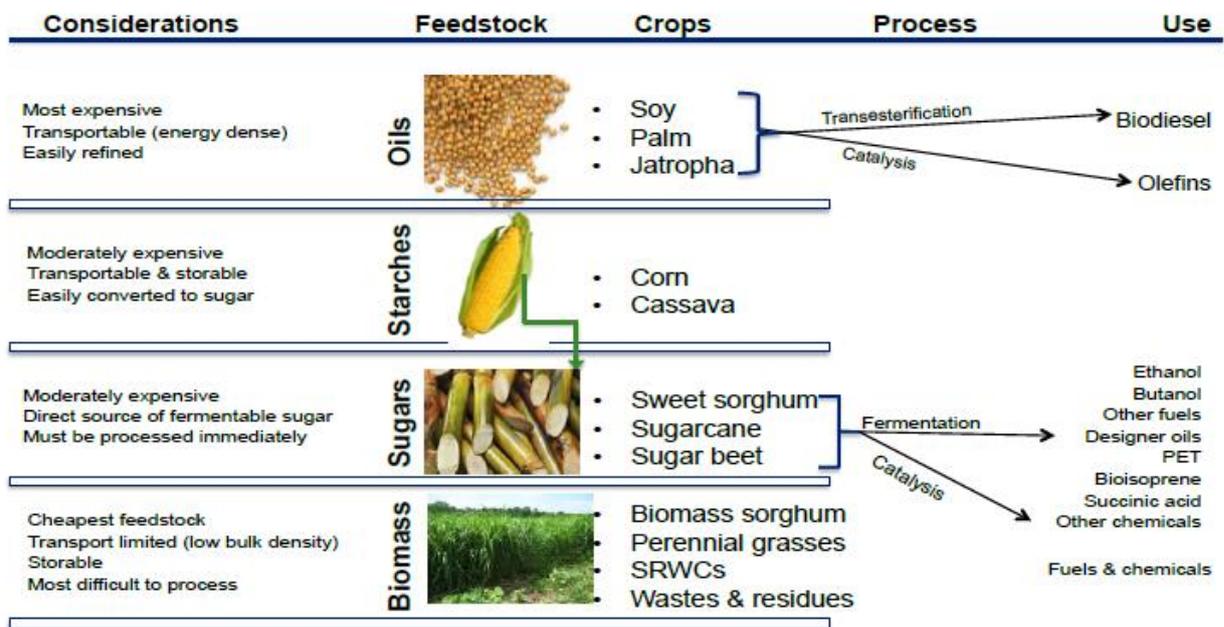


Figure 79 : L’amont des filières de la bioéconomie selon le rapport « Why Biobased ? » (Golden et Handfield, 2014, p.8)

Au niveau des produits développés, on trouve à la fois les produits chimiques et leurs coproduits qui sont présentés comme la condition de rentabilité des bioraffineries à l’image de la chimie du pétrole. En supplément de ces produits, les produits pharmaceutiques, les microorganismes et enzymes et les encres et teintures.

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d'usage</b> (normes qui président à l'engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Tension entre la définition de la bioéconomie inspirée de celle de l'OCDE et une définition issue de la <i>chemurgy</i> .	Domination des procédés thermochimiques et biotechnologiques. Variété des matières premières : huile, amidon, sucre, « biomasse ».
	<b>[Norme – définition]</b>	<b>[Norme – procédure]</b>
<b>Normes sociales</b>	Référence aux labels biosourcés, mais aussi aux normes de production (chimie fine vs. chimie de commodité)	Faire partie des secteurs concernés ou avoir des produits labellisés <i>biopreferred</i> ou <i>start-up</i> soutenue dans le cadre des programmes fédéraux.
	<b>[Norme – référence]</b>	<b>[Norme – règle]</b>

Figure 80 : Les logiques de qualification de la bioéconomie américaine

## 1.2. Le cas de l'Allemagne

L'Allemagne a publié la première feuille de route nationale explicitement consacrée à la bioéconomie en 2010. Dès l'introduction du document la bioéconomie, est définie ce qui devrait être atteint par les biotechnologies : « *The central objective is the optimal utilisation of the chances created by the knowledge-based bioeconomy, and to translate these into enduring economic growth. Germany is set to become a leading research and innovation centre in the bioeconomy. The effect of this will be to accelerate the growth of bio based products, energy, processes, and services, and to strengthen the competitiveness of German industry on a global scale. (...) Thereby, a major source of impetus is the field of biotechnology* »<sup>151</sup> (National Research Strategy BioEconomy 2030, 2010, p.2). Celui-ci devrait concerner les secteurs suivants : « *This spans numerous sectors, such as agriculture, forestry, horticulture, fisheries and aquaculture, plant and animal breeding, the food and beverage industries, as well as the wood, paper, leather, textile, chemicals and pharmaceutical industries, and aspects of the energy sector.* » (Ibid., p.2). On retrouve ici l'influence à la fois de la feuille de route OCDE qui, rappelons-le, est exclusivement centrée sur les biotechnologies, et l'influence d'une institution ancienne, le réseau Dechema (fondé en 1926) pour penser un fonctionnement global de l'industrie maintenant la compétitivité de l'industrie allemande dans la révolution biotech.

### 1.2.1. La position centrale de Dechema dans l'émergence de la bioéconomie

#### 1.2.1.1. La fondation de Dechema

Suite à la Première Guerre mondiale, la chimie allemande s'est transformée (Johnson, 2008) : elle perdit les marchés qu'elle dominait avant la guerre – notamment suite à la perte du contrôle de ses brevets ; la production des usines de chimie avait été orientée (notamment par le programme Hindenburg) de la pharmacie et les teintures vers une « chimie de guerre » (principalement, des explosifs, des engrais et des agents toxiques servant également de pesticides) ; celle-ci avait augmenté des capacités de production notamment pour la production de nitrates et de sulfates – deux produits hautement stratégiques pour la chimie de guerre – pour rendre l'Allemagne indépendante de ces importations ; l'orientation du modèle de production s'était donc faite vers la chimie de commodités.

Cette évolution a posé de nouveaux problèmes d'ingénierie inconnus jusqu'alors. Il n'existait pas, en tant que telle, de formation d'ingénieurs-chimistes en Allemagne. Une firme comme BASF employait alors 345 ingénieurs et 500 chimistes en 1928, permettant d'organiser le travail d'augmentation de la production, ce qui n'était pas possible pour des firmes de plus petite taille n'étant pas en mesure d'employer des équipes de recherche aussi importantes (Johnson, 2008). Afin de résoudre ce problème le Verein Deutscher Chemiker (VDC, c'est-à-dire l'association des chimistes allemands) a travaillé au rapprochement des ingénieurs et chimistes, jusqu'à donner naissance au réseau Dechema qui signifie Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatuswesen (Société allemande pour les dispositifs chimiques). C'est donc l'interdisciplinarité qui fonde le Dechema et qui va animer son développement : « *Les premiers champs d'activité de DECHEMA, comment cela d'ailleurs pourrait-il en être autrement, étaient les problématiques scientifiques et techniques que l'industrie de la chimie se posait. Elles portaient sur les matières premières, leurs réactions, la normalisation, la sécurisation des pratiques et la transformation du réel par la construction d'outils de production.* »<sup>152</sup> (Kreysa et Hirche,

---

<sup>151</sup> Surligné par nous.

<sup>152</sup> Notre traduction.

1997, p.129). Parallèlement aux sociétés savantes comme le VDC, le Dechema a joué un rôle de structuration et de diffusion des pratiques, des normes, des types d'installations, etc. dans la production chimique au sens large : la chimie du charbon, la chimie à haute pression, la chimie des polymères, l'environnement, les *process* et les biotechnologies etc. (*Ibid.*).

### 1.2.1.2. Les biotechnologies dans Dechema

Les deux auteurs soulignent qu'à travers les programmes des conférencesACHEMA organisées par Dechema, il est possible de noter le rôle qu'elles ont joué dans la diffusion des techniques et des biotechnologies. Ainsi, dès les années 70, l'organisation s'est interrogée sur l'industrialisation des biotechnologies.

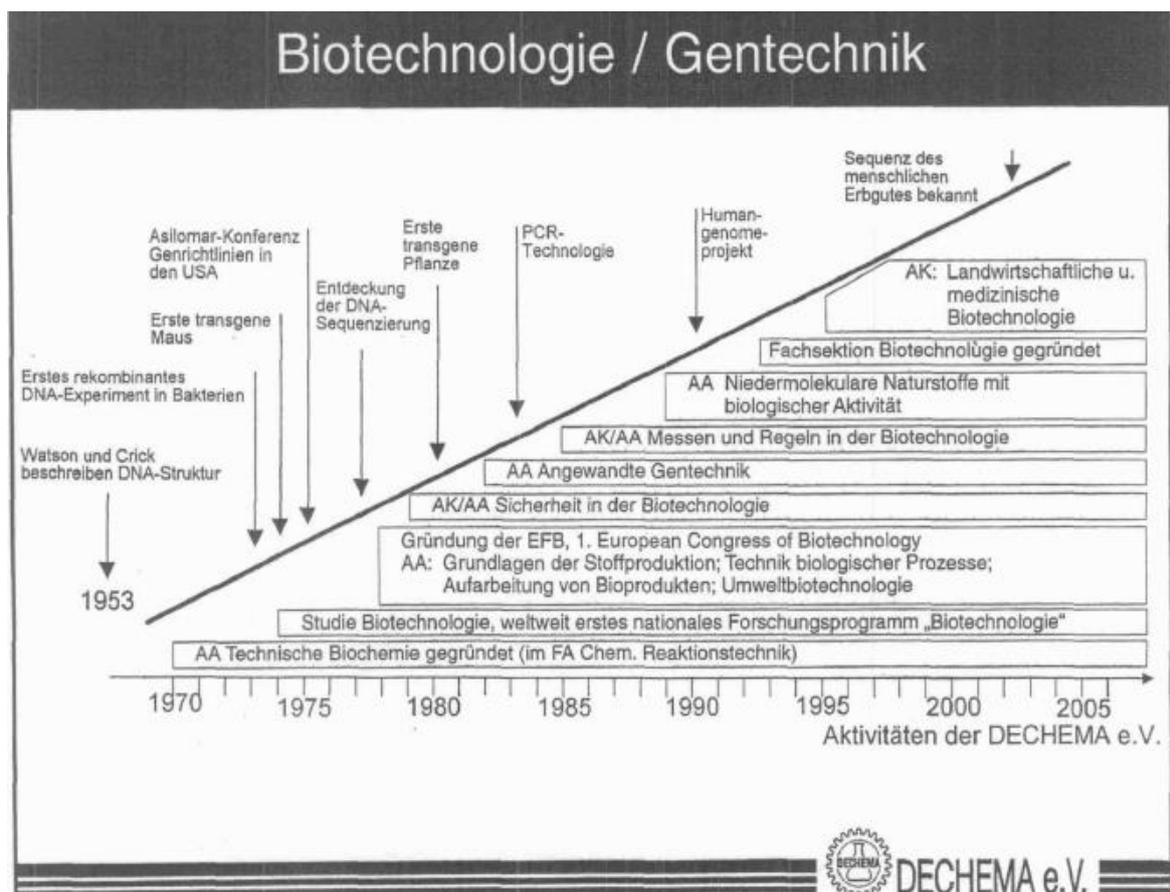


Figure 81 : Les actions de structuration des biotechnologies par Dechema (Kreysa et Hirche, 1997, p.135)

Ce schéma, produit par Dechema, met en scène les différentes actions de l'organisation, avec en premier lieu, dès 1970, la fondation d'un axe « biochimie » (entendu comme synonyme de biotechnologie) dans l'axe « technique de la réaction chimique ». Les biotechnologies sont donc considérées comme un des axes de la chimie, jusqu'à être autonomes actuellement. Suite à cette première étude prospective, furent développés des programmes de recherche, notamment entre Hoechst AG et le Massachusetts General Hospital in Boston. Le gouvernement allemand a également financé l'installation de centres de recherche à Berlin, Heidelberg, Cologne et Munich entre 1982 et 1995 et a participé au subventionnement de la construction d'unités de production à proximité de Munich et de Cologne. Cependant, les biotechnologies sont donc bien ancrées dans la technique d'ingénierie, et la pluridisciplinarité de l'association (Kreysa et Hirche, 1997). De même, toujours

d'après la figure 12, l'association a participé à structurer le paysage des biotechnologies en fondant le congrès EFB (devenu EFIB) qui réunit tous les deux ans les acteurs économiques, mais également en portant le débat sur la sécurité dans les biotechnologies.

#### 1.2.1.3. Que l'on ne retrouve pas dans la feuille de route sur les bioraffineries

D'après la feuille de route allemande sur la bioraffinerie, celle-ci devrait jouer un rôle central dans la structuration d'une bioéconomie : « *Having set out these objectives, biorefinery concepts – as central elements of a bio-based economy, and promising largely wastefree use of biomass, efficient conversion routes, and pathways for the energetic and material use of biomass – could play an important role for a future bioeconomy in the utilisation and conversion of biogenic raw materials and residues.* » (Biorefineries Roadmap, 2012, p.7). Plus loin, alors que la feuille de route sur la bioéconomie consacre les biotechnologies, c'est la diversité des matières premières et des techniques qui est mise en avant : « *the primary refining in a biorefinery involves the separation of biomass components into intermediates (e.g. cellulose, starch, sugar, vegetable oil, lignin, plant fibres, biogas, synthesis gas), and usually also encompasses the pre-treatment and conditioning of the biomass. (...) Biorefineries always feature the coupling of different material- and energetic utilisation paths.* » (*Ibid.*, p.8). Malgré cette différence entre les deux feuilles de route, il ne faudrait pas en déduire que Dechema n'a pas eu d'influence sur la question des bioraffineries comme nous allons le voir un peu plus loin.

Le concept de bioraffinerie joue ici comme outil de coordination pour le développement économique : « *to realise potential opportunities, to become established in the market, and to find broad public acceptance. In the early phase of development, it will also enable indications to be made for sustainable design processes, help provide data for investment decisions, as well as support government bodies and companies in the identification of the most promising processes. Moreover, such an analysis can also serve as the basis for the assessment, communications and discussion of the concepts in the public realm.* » (*Ibid.*, p. 59).

Dans ce prolongement, la feuille de route propose une série d'analyse SWOT sur les différents types de bioraffineries. C'est-à-dire que cet outil de management vise à structurer les directions possibles pour les investissements, ce que la citation suivante confirme : « *As models and pioneers, the public order processing- and procurement bodies at the federal-, state- and local level can significantly contribute to an increase in the demand for bio-based products. The German federal government through the Federal Ministry of Economics and Technology is supporting the export potential of business for bio-based products and technologies, for example through the foreign market development program and the 'Renewable Energy Export Initiative'. Furthermore, through the BMU, the federal government is supporting research activities in the area of the sustainability assessment of biorefineries. Here, the guiding principles is the federal government's sustainability strategy and the management regulations contained therein.* » (*Ibid.*, p.93). Par ailleurs, la structuration de ces investissements doit répondre à un critère de soutenabilité limité à la quantification de carbone stocké, tout en prenant en compte les conflits d'usages, la concurrence sur les matières premières, etc. : « *The development of methods for the sustainability assessment of biorefineries, above all with respect to the sustainable provision and conversion of biomass, but also the identification and quantification of conflicting aims such as land use change, resource competition, price pressure on foodstuffs, water scarcity etc., and subsequent issues. The quantification of stored carbon in bio-based products and of energy savings through their use, as*

*well as the contributions of bio-based products to the objectives on the German Federal government's sustainability strategy. » (Ibid., p.91).*

Ce que l'on peut déduire de la vision du « fonctionnement global de l'industrie » allemande est l'accent porté sur la technologie (d'abord les biotechnologies, puis la variété des types de bioraffineries) et les matières premières (sucre, amidon, algues, etc.), plus que sur les produits cibles.

#### 1.2.2. Une vision centrée sur les rapports d'approvisionnement orientée par les structures industrielles existantes

Il vient d'être montré qu'il existait une différence notable entre la feuille de route sur la bioéconomie « en tant que telle », mettant au centre de son modèle de développement les biotechnologies, et celle sur les bioraffineries qui établissait plutôt une diversité des procédés. L'analyse de la vision autour du rapport d'approvisionnement devrait alors nous indiquer si nous sommes face à un simple discours visant à légitimer le soutien des pouvoirs publics à certains secteurs ou s'il s'agit de la transcription d'une dynamique réelle.

##### 1.2.2.1. Les biotechnologies pour la bioéconomie

Rappelons que les secteurs identifiés pour intégrer les biotechnologies sont les suivants : « *sectors, such as agriculture, forestry, horticulture, fisheries and aquaculture, plant and animal breeding, the food and beverage industries* » (National Research Strategy Bioeconomy, *op. cit.*, p.2). Il s'agit bien de secteurs « pour » les biotechnologies et non des débouchés, car il n'est pas précisé s'ils seront fournisseurs de matières premières ou débouchés. On peut cependant affirmer, à la lumière des citations reportées dans l'annexe 5 qu'il s'agit des deux options, car l'agriculture est un débouché pour les biotechnologies grâce aux OGM notamment et une source de matière première pour la production de produits chimiques à destination de l'alimentaire ou non.

Ce n'est pas tellement l'identification des débouchés qui est travaillée ici, mais plutôt un mode de développement. Celui-ci devrait s'appuyer sur l'industrie allemande existante : « *The provision of biological resources is achieved above all through agriculture, forestry, and fishery; these sectors therefore represent an important basis for the German bioeconomy. Germany also maintains a number of innovative young biotechnology companies, and is traditionally strong in the chemical and pharma industries, the energy economy, plant and machine engineering, as well as medium-sized seed companies and plant breeders – all of which are vital for the bioeconomy.* » (Ibid., p.9). Par ailleurs, cette industrie devrait être mise en rapport avec 1) les PME des biotechnologies et 2) les universités et instituts de recherche dont les travaux doivent s'orienter vers les biotechnologies. Ces instituts de recherche sont le Helmholtz Association of German Research Centres, la Max Planck Society, les instituts du Gottfried Wilhelm Leibniz Science Community et certains instituts faisant partie de la Fraunhofer Society.

##### 1.2.2.2. Les différents modèles de bioraffineries

La feuille de route sur les bioraffineries en Allemagne identifie une série de modèles : « *A few particularly promising biorefinery paths, which differ above all in platform type as well as secondary refining type, have emerged from among the biorefinery concepts: Sugar biorefinery and starch biorefinery, Vegetable oil biorefinery and algal lipid biorefinery, Lignocellulosic (cellulose, hemicellulose*

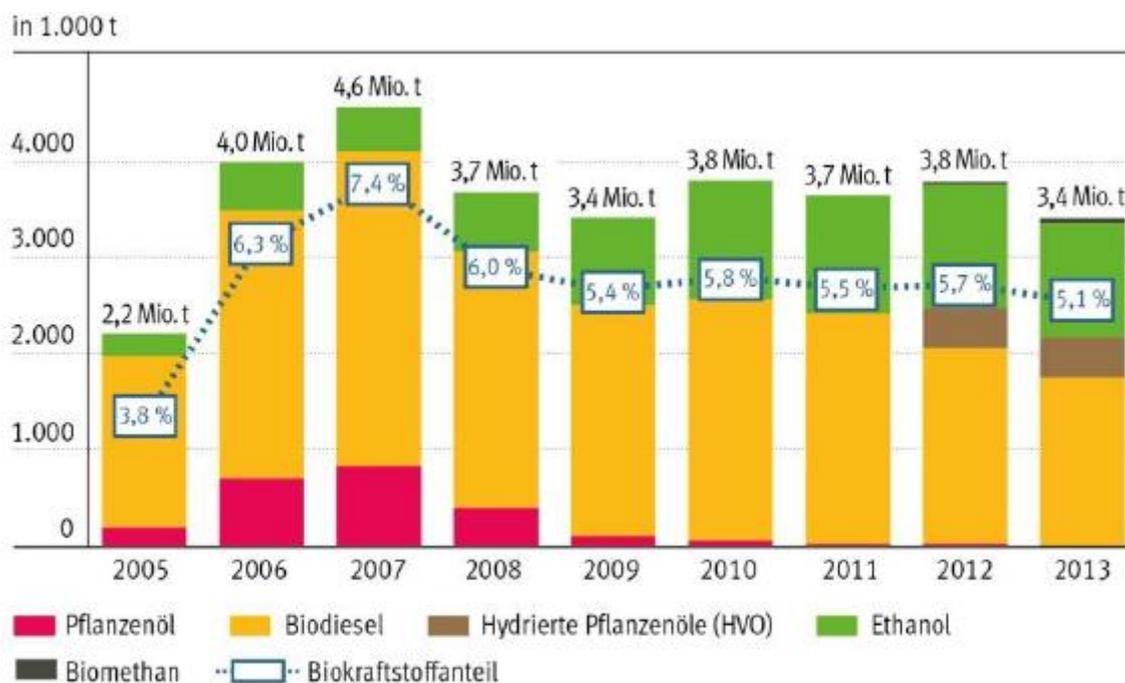
and lignin) biorefinery and green biorefinery, Synthesis gas biorefinery, Biogas biorefinery. » (Biorefineries Roadmap, *op. cit.*, p.10). Pour chacun des modèles, des analyses SWOT sont développées.

Dans le cas de la bioraffinerie du sucre et de l'amidon, c'est le fait que le sucre et l'amidon soient déjà utilisés pour la production d'éthanol ou de produits alimentaires qui est mis en avant.

Concernant les bioraffineries des graisses, les auteurs proposent deux modèles : la bioraffinerie des graisses algales et la bioraffinerie des huiles. La première est décrite comme relevant d'un champ de recherche largement développé en Allemagne. Son développement est envisagé dans le nord du pays, mais il est souligné que les conditions climatiques du pays ne sont pas favorables à un développement de ce type. La seconde introduit l'industrie des huiles végétales déjà existante en Allemagne, celle-ci étant soutenue par un réseau de PME productrices d'outils de production, mais également de nouveaux produits qui seraient les débouchés pour ces huiles.

Concernant la matière première, elle peut être à chaînes courtes ou longues. Les premières sont disponibles en Allemagne alors que les secondes ne le sont que dans les pays tropicaux, ce qui peut poser le problème de la localisation des unités de production. La matière première pose le problème de la rentabilité de ce type d'installations. La bioraffinerie des huiles est synonyme de production de diesel biosourcé et donc de coproduction de glycérol dont la feuille de route affirme classiquement qu'il n'est pas assez utilisé, ce qui pourrait rentabiliser la bioraffinerie.

Cependant, le débat sur les biocarburants s'est posé de façon intense en Allemagne à travers l'expression « *Tank oder Teller Debate* » (c'est-à-dire « le débat réservoir ou assiette»). Le soutien des pouvoirs publics aux biocarburants a entraîné une forte augmentation de la consommation de biocarburants dans le mix énergétique allemand, comme le montre le graphique suivant :



Quelle: BAFA, BMF, FNR (2014)

© FNR 2014

Figure 82 : L'évolution de la part de biodiesel dans le mix énergétique allemand entre 2005 et 2013 (d'après Vavasseur, 2015, p.12)

Ce graphique montre à la fois une forte augmentation de la production de biodiésel entre 2005 et 2007 (de 3.8 % en 2005 à 7.4 % en 2007), pour ensuite retomber jusqu'à 5,1 % en 2013. De même, l'usage énergétique des huiles végétales a connu une forte augmentation sur la période 2005-2007, pour diminuer aussi vite. Dans le débat public, c'est la forte croissance des monocultures de maïs, détenues par des groupes agro-industriels, avec leur impact sur les paysages et l'utilisation de terres cultivables pour des cultures non alimentaires (et en partie non comestibles) qui a été critiquée. C'est *in fine*, avec une question spécifique à ce modèle de bioraffinerie, et lié au contexte local qui soulève le problème de l'identification des produits pertinents à développer qui est traité.

On retrouve le problème de la concurrence sur l'usage de la biomasse avec le modèle de bioraffinerie lignocellulosique. Il est proposé dans le rapport de s'appuyer sur l'industrie papetière allemande pour développer l'usage de ce type de ressources. Pourtant, paradoxalement, les pilotes et unités de démonstration ne sont pas portés par ces acteurs traditionnels. Pour le développement d'unités de production, il est souligné la nécessité de développer les techniques chimiques et biotechnologiques de conversion de la matière première, en raison des difficultés de traitement liées à la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

La concurrence est présente dans différentes dimensions de ce modèle de bioraffinerie. D'une part, il est mis en avant, qu'utilisant du bois, il n'y a pas de concurrence avec des ressources alimentaires. D'autre part, le rapport précise que ce modèle est à la fois en concurrence avec le modèle de bioraffinerie des gaz de synthèse sur l'accès aux ressources, mais également avec l'industrie papetière et forestière scandinave : « *the lignocellulosic biorefinery, which is based on existing structures in the pulp industry in Germany (e.g. in contrast to the Scandinavian countries), has played almost no role in this area to date.* » (Biorefineries Roadmap, *op. cit.*, p.38). Enfin, les modèles de bioraffinerie des gaz de synthèse et des prairies posent tous deux le problème de la concurrence avec les autres technologies, du problème de définition des produits et des matières premières.

#### 1.2.2.3. Le critère géographique pour identifier les modèles dominants

Dans la définition d'une stratégie pour la bioéconomie, il a été exposé plus haut qu'un certain nombre de centres de recherches faisait l'objet d'un soutien particulier. La carte suivante, extraite du rapport sur la bioéconomie, fait le point sur l'ensemble des centres de recherche soutenus dans le cadre de la bioéconomie :



Figure 83 : La répartition des centres de recherche mobilisés sur la bioéconomie en Allemagne (National Research Strategy BioEconomy 2030, 2010, p.8)

Sur cette carte, on identifie que les centres de recherche soutenus sont localisés dans les grands bassins de production. Par exemple, la région de Cologne (jusqu'à la frontière belge et Aix-la-Chapelle) est un ancien bassin minier qui a été converti à l'industrie chimique.

Ce soutien autour de certains bassins apparaît clairement si l'on s'intéresse à la localisation des deux *clusters* allemands pour la bioéconomie. Le premier, intitulé *Bioeconomy cluster* est localisé aux environs de Leipzig, Dresde et Halle. L'objectif de ce *cluster* est de valoriser toutes les parties du bois grâce à la mise en place d'une gestion logistique de la ressource (Vavasseur, 2015). Ce *cluster* regroupe l'industrie chimique, du bois et de l'énergie du bassin industriel de la Saxe et revendique de

fédérer des industries existantes<sup>153</sup>. Par ailleurs, une « bioraffinerie des prairies » est installée à Leuna, en périphérie de Leipzig. Le second *cluster*, CLIB2021, est quant à lui installé en Rhénanie-du-Nord-Westphalie, et principalement autour de Düsseldorf. Ce *cluster* regroupe des firmes de la chimie ou des sciences de la vie comme Bayer, Covestro ou Evonik et surtout, un important réseau de PME ainsi qu'une série d'Universités ou d'instituts de recherche. Ce *cluster* vise à développer des procédés biotechnologiques pour la chimie.

On identifie, à travers l'analyse de la formation des rapports d'approvisionnement, deux mouvements. D'une part, l'affirmation de deux « pôles régionaux » de la bioéconomie s'appuie sur des structures industrielles existantes. En reconnaissant ces deux pôles, il s'agit bien de qualifier des ressources existantes comme des ressources pour la bioéconomie. Dès lors, c'est visiblement l'industrie de la chimie (et de l'ingénierie) qui domine la formation du compromis. D'autre part, on note que la stratégie allemande est de maintenir ouvert un « portefeuille d'activités territorialisées ». Contrairement à la feuille de route sur la biotechnologie, la feuille de route sur la bioraffinerie qualifie une diversité de modèles de bioraffineries.

### 1.2.3. Le rapport financier dans les feuilles de route allemandes

Durant la période 1980-1995, il s'agissait de PME fondées par un nombre limité d'individus, développant des technologies « directement applicables » (pour reprendre l'expression de Champenois à propos de l'innovation d'exploitation) et portées par des réseaux structurants. Ceux-ci poussent les fondateurs de la firme à disposer de matériel issu de leur ancienne firme, à conduire les entrepreneurs à utiliser leurs ressources propres pour se financer ou à faire appel à leur entourage immédiat, conduisant à être rapidement en autofinancement.

A la première période, succède à partir de 1994, une incitation, venue du Ministère fédéral de l'Économie, à développer des capitaux-risqueurs dans le cadre d'une banque publique : « pour chaque euro investi dans une firme innovante par une société d'investissement en capital, la *tbg* [la banque publique, NdA] apporte un euro supplémentaire. Il s'accompagne d'un système de "couverture de risque" qui prévoit qu'en cas de faillite de l'entreprise innovante, la *tbg* rembourse à l'investisseur en capital une partie de son investissement. » (Champenois, 2007)<sup>154</sup>. Parallèlement, le ministère fédéral de la Recherche lança le concours « BioRegio » visant à développer des *clusters* qui a récompensé les réseaux locaux. Enfin, des capitaux-risque plus classiques se sont développés à cette période. Ces financements appuient de forts mouvements de R&D, appuyés sur des partenariats avec des centres de recherche publics, ne permettant pas une mise sur le marché des produits aussi rapide que dans la période précédente.

La crise financière de 2000-2001 entraîne une diminution des financements des PME, notamment suite à l'affaiblissement du soutien du *tbg* aux capitaux-risque, jusqu'en 2004. La faillite des capitaux-risqueurs rend donc l'accès aux financements plus compliqué. Par ailleurs, Champenois (2007) constate également un phénomène d'apprentissage des risques chez les investisseurs. Les conditions de soutien public évoluent également : les entreprises soutenues doivent apporter au moins la moitié des ressources financières nécessaires. L'obtention de ces ressources passe alors par

---

<sup>153</sup> Notons au passage que le Conseil allemand de la Bioéconomie a publié un document de soutien visant à soutenir le développement de l'utilisation du bois pour la bioéconomie allemande.

<sup>154</sup> Version internet de la Revue d'Économie Industrielle, version non paginée.

la formalisation de liens commerciaux autour de « *services spécialisés dérivés de leurs compétences et capacités technologiques, ou des alliances visant à co-développer leur technologie.* » (*Ibid.*).

#### 1.2.3.1. Établir des critères pour évaluer l'avancement des projets

La position exprimée dans la feuille de route sur la bioéconomie à propos du financement s'inscrit dans le prolongement de la dynamique de raréfaction des capitaux-risque : « *The lack of capital of German companies and the underdevelopment of the venture and private equity market in Germany has an inhibiting effect on innovation.* » (National Research Strategy BioEconomy 2030, *op. cit.*, p.12). Le second point développé dans la feuille de route tient en l'inscription du soutien public aux biotechnologies dans les programmes de financement de l'innovation.

La feuille de route sur la bioraffinerie affirme que les modèles (exposés précédemment) ont pour but de structurer le champ des politiques publiques : « *As far as possible, as in the other EU funding programs, it will be important to secure funding for projects for the development of biorefineries in Germany. The economic and ecological classification of biorefinery concepts will play a key role, both in terms of the comparability of individual platforms with each other, and of comparability with other biomass utilisation paths. (...) Such a classification is nevertheless urgently needed to help making decisions regarding future research and research funding, amongst others for pilot- and demonstration plants, and to effectively focus scarce private and public research budgets. While the focus on environmentally beneficial approaches is a requirement of environmental- and climate protection, the economic potential will decide whether a concept will be developed up to a commercial scale and eventually enters the market.* »<sup>155</sup> (Biorefineries Rodmap, *op. cit.*, p.16). On apprend de ce passage qu'il y a une dissociation entre la question du financement de la recherche, de la démonstration industrielle et celle de l'industrialisation des procédés. Mais que ces financements doivent être publics et privés, nécessitent de cibler des produits commercialisables — notons que ce dernier point est paradoxal, car il n'est quasiment pas fait mention des produits cibles dans chacun des modèles. La « dissociation » renvoie à l'idée développée à la fin de la citation. C'est-à-dire qu'il s'agit de déterminer des critères à chacun des stades, pour chacun des types de modèles afin de mobiliser des financements, notamment européens.

#### 1.2.3.2. Et financer à partir des projets des acteurs

Le Bioökonomie Rat a produit une note de recommandations intitulée « **FUTURE DEVELOPMENT OF MECHANISMS FOR THE SUPPORT OF PUBLIC AND PRIVATE RESEARCH IN REGARD TO THE NEEDS OF THE BIO-ECONOMY** ». Ce document recommande d'organiser le financement à partir des projets des acteurs, dans lesquels la détention de capitaux par les porteurs du projet sera un critère déterminant : « *Enhanced support for bottom-up projects within an overall strategy will promote the development of original concepts that are not free of risk but which could, over the long term, result in the formulation of innovative solution. (...) In most cases, the determining factors here is the availability of own and external capital. Access to funding lines normally only provided in pre-competitive phases could be continued beyond the actual research and development stage. (...) A mixed (public/private) funding concept is necessary so that the various individual strenghts of the participating stakeholders along the value creation chain and of the various academic and technical disciplines can be accounted for, and the*

---

<sup>155</sup> Surligné par nous

*range of tasks and involvement strategies within projects as a whole can be covered.* » (Bioökonomie Rat, 2012, p.7). Cette stratégie de financements vise à inciter la formation de partenariats. Il est attendu du financement qu'ils ne soient consacrés qu'à des projets dont les débouchés sont assurés : « *These should ensure that those at the commencement of the chain are rewarded with an adequate share of the enhanced value at the other end of the chain.* » (Ibid., p.8).

### 1.2.3.3. Et la formation d'un partenariat public-privé

L'intervention des pouvoirs publics dans le financement des activités de la bioéconomie devrait prendre la forme d'un partenariat public-privé comme le montrait la citation précédente. Cette stratégie est reprise plus loin : « *Such strategies include the provision of funds to promote growth, market launch programmes and lead market initiatives, the construction of pilot and demonstration plants, greater exploitation of EU funding policies, the formation of alliances, the restructuring of value creation chains and the particularly important aspect of the support of SMEs. In Europe, bioeconomic research is most likely to be promoted in future through public private partnership models (PPP biobased industries, PPP food industries). This will necessitate increased investment on the part of the private partners. As a result, SMEs will require that suitable financial conditions are put in place (e.g. increased access to own equity/venture capital) so that they will be able to play a significant and long term role within such a scenario.* » (Ibid., p.9).

On retrouve ici la position de Dechema. En effet, lors de son congrès bisannuel intitulé « *European Bioeconomy: From Knowledge via Demonstration to Products and Markets* » en 2012, a lancé le « **FRANKFURT MANIFESTO** ». Comme le titre l'indique, il s'agissait d'interroger l'industrialisation des procédés et la commercialisation des produits. Le manifeste, porté par des industriels et leurs organisations collectives, défendent vivement cette méthode. Il est défendu que deux PPP soient mis en place : un pour l'industrie de la chimie (SPIRE) et le second pour les « *biobased industries* » (cf. dernière section de ce chapitre). Le but visé est le suivant : « *they will also enable the need to test and demonstrate new biobased products and processes in pilot and demonstration biorefineries and last but not least facilitate cooperation in the elaboration of new norms, standards, with relevant labelling and certification as well as relevant lifecycle methods.* » (Frankfurt Manifesto, 2012, p.3). Le PPP est donc décrit comme le moyen d'organiser la structuration du champ dans ses différentes dimensions : normes, analyses de cycles de vie, etc.

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d'usage</b> (normes qui président à l'engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Tension entre la définition de la bioéconomie centrée sur les biotechnologies et la variété des modèles de bioraffinerie.	Faire la preuve grâce à des analyses SWOT et modèles technico-économiques.
	<b>[Norme – définition]</b>	<b>[Norme – procédure]</b>

<b>Normes sociales</b>	Référence aux modèles de bioraffineries définis dans la feuille de route.	Développer un modèle de bioraffinerie qui puisse correspondre à un des modèles et faire partie d'un des pôles choisis ou faire partie du PPP.
	<i>[Norme – référence]</i>	<i>[Norme – règle]</i>

Figure 84 : Les logiques de qualification de la bioéconomie allemande

### 1.3. Les cas finlandais et italiens

Dans cette dernière sous-section, nous exposons les cas de la Finlande (1.3.1.) puis de l'Italie (1.3.2.).

#### 1.3.1. La Finlande : l'industrie du bois au cœur de la bioéconomie

##### 1.3.1.1. Un fonctionnement global appuyé sur le rapport d'approvisionnement des matières premières

La Finlande se met en scène, dans le rapport, comme étant un espace historique de la bioéconomie : « *The history of the bioeconomy in Finland begins from the era when the ice sheet started receding some 10,000 years ago. (...) In early 20th century Finland, the natural resource economy relied heavily not only on fields but also on forests. The first « industrial product » from the forest was wooden ships and tar needed to protect them. (...) The growing need for paper in the world market and the shortage of rags used to manufacture it resulted in technologies for making pulp and paper from wood.* » (The Finnish bioeconomy strategy, 2014, p.6). Parallèlement à la mise en récit du développement de l'usage industriel du bois, la feuille de route fait également le récit du rôle de l'usage et de la préservation de la forêt en Finlande : « *In addition to sawn goods, these have been among the most important products for the Finnish export industry. The roots of sustainable forest management go back as far as the 17th century Sweden. In the first Forest Act applicable in Finland that was passed in 1886, the principle of sustainability was expressed as follows: you shall not devastate the forest. The principles of ecological and social sustainability were added to economic sustainability in the Forest Act of 1996. We also relied on our forests in the time of war; as oil products were not available, a wood gas burner was developed. After the Second World War, timber and timber products were also used to pay a major part of the war reparations.* » (*Ibid.*, pp. 6-7).

Le fonctionnement global de l'industrie est mêlé ici avec le rapport d'approvisionnement en matières premières. C'est la présence de bois, et son exploitation, qui fonde l'émergence d'une bioéconomie en Finlande : « *Finland has plentiful forest resources. Their increment has for decades exceeded the volumes harvested, and they thus offer major growth opportunities for our bioeconomy. (...) Finland also has many other, up until now under-exploited biomass resources for which new uses and openings are now being discovered.* » (*Ibid.*, p.6).

##### 1.3.1.2. Les rapports d'approvisionnement de technologie et commercial

###### 1.3.1.2.1. Des technologies héritées de l'industrie papetière

Les technologies présentées dans la feuille de route sont principalement issues de la thermochimie et de la biochimie : « *strong Finnish competence areas will also include biochemical methods, pulping technologies and enzyme production for the refining of biomass* » (*Ibid.*, p.12). Cette position est partagée par le VTT. Il s'agit du Centre de Recherche technique de Finlande, particulièrement présent et actif dans les différents projets de bioraffinerie en Europe. Kruus (2013) présente la position du VTT avec deux exemples qui portent sur les deux modèles de filières appuyés sur les technologies. Le premier exemple revendique la possibilité de produire des matériaux à partir de la lignine en limitant son fractionnement et en utilisant sa structure moléculaire pour produire des biens dont la résistance doit être assurée (emballages plastiques, résines, etc.). Le second illustre le fractionnement de la lignine pour se positionner en tant que producteurs d'intermédiaires chimiques

biosourcés. Par exemple, la firme UPM affirme détenir des bioraffineries, qui composent plus de 50 % de son chiffre d'affaires, qui produisent de la pâte à papier et des biocarburants. Il semble que l'industrie papetière cherche à prendre position comme porteuse d'un modèle économique de bioraffinerie fondé sur la production de papiers dont les coproduits sont polluants, mais contiennent de la lignine qui est fractionnée dans le processus de production. Ce point technique est fondamental, car la lignine constitue la structure du bois, la rendant donc complexe à fragmenter. C'est donc la maîtrise du processus de production de la lignine qui est mis en avant dans le modèle de la bioéconomie finlandais.

#### *1.3.1.2.2. L'institution des procédés et des produits dans le rapport commercial*

Les deux principales techniques mises en avant dans la feuille de route désignent en réalité l'énergie et la chimie. Par ailleurs, les procédés d'extraction permettent d'obtenir du xylitol, utilisable dans des applications pharmaceutiques. Dans un document de présentation du plan finlandais, ajoute un point : celui de la construction en bois. On retrouve la même élaboration de listes de produits que dans les autres feuilles de route, en vue de définir ce qui fera partie ou non de la bioéconomie. Le processus d'accès à la ressource passe ici par l'accent mis sur le rôle du développement de normes visant à labelliser les produits permettant de développer des programmes d'achats publics.

Mais ces références visent à permettre d'organiser le développement des pilotes et unités de démonstration : « *In many respects the bioeconomy is new and in a growth phase. References will be needed to trigger demand: new bioeconomy solutions must be experimented with, piloted and demonstrated in order to commercialise innovations, ensure the functioning of the solutions and reap concrete benefits.* » (*Ibid.*, p.26). Ces « *concrete benefits* » avancés dans le rapport résident dans la production de produits à forte valeur ajoutée : « *A higher value for customers can be produced by investing in various immaterial value creation factors, including brand management, intellectual property rights and design, while also achieving competitive advantages that are difficult to imitate.* » (*Ibid.*, p.27). Ces différentes prises de position, que l'on retrouve dans la feuille de route de la bioéconomie finlandaise nous indique donc bien que la Finlande essaie de constituer un patrimoine productif national à partir de son industrie papetière et forestière.

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d'usage</b> (normes qui président à l'engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Objets issus de l'industrie du bois.	Engagement des objets avec les techniques de l'industrie du bois + gestion soutenable de la forêt.
	<i>[Norme – définition]</i>	<i>[Norme – procédure]</i>
<b>Normes sociales</b>	Référence aux industries papetières et forestières.	Les membres de l'industrie du bois ou papetière + centres de recherche du VTT.
	<i>[Norme – référence]</i>	<i>[Norme – règle]</i>

Figure 85 : La dynamique de qualification dans la bioéconomie finlandaise

### 1.3.2. Le cas italien : un modèle d'économie circulaire ?

Le dernier cas étudié est celui de l'Italie. Nous exposons dans un premier temps comment la bioéconomie est mise en forme à travers un *cluster* national, posant la question des ressources et acteurs agglomérés dans ce cluster. Dans un second temps, nous exposons l'articulation entre le fonctionnement global défini dans le *cluster* et les stratégies d'élaboration du rapport d'approvisionnement.

#### 1.3.2.1. Une stratégie mise en forme dans un cluster

##### 1.3.2.1.1. Les objectifs du cluster SPRING

La structuration de la bioéconomie italienne prend, institutionnellement, la forme du « Cluster SPRING ». Si nous ne disposons pas de la date précise du lancement de celui-ci, la première réunion officielle s'est tenue en mai 2014. Son objectif est de « *represent a national platform to support the development of innovative industrial value chains, which are integrated, multisectorial and based on chemistry from renewable sources, able to contribute to territorial regeneration and stimulating economics growth within a broader Bioeconomy model.* » (The biobased chemical industry towards an Italian strategy of Bioeconomy, 2015, p. 5). La particularité de ce *cluster* est d'être inscrit au niveau national, il n'est pas attaché à une concentration d'activités comme ce peut être le cas avec le pôle IAR en France. Ainsi, le *cluster* est construit pour organiser nationalement les stratégies de développement des firmes, qui doivent participer à la réindustrialisation de l'Italie, et à la restructuration de son industrie de la chimie : « *The important efforts already underway by some big players participating in the Cluster, as evidenced by significant investments in research and the construction of pilot plants and industrial plants, lay the basis for the Cluster to play his role in the relaunch of the chemistry sector. The may as well foreshadow the revitalization of many manufacturing sites currently facing problems, declining a forward-looking model of bioeconomy able to involve local areas in a process of innovation that could bring back to Italy the production of raw materials at competitive costs and with environmental and social benefits.* » (The National Technological Cluster of Green Chemistry, 2014, p.13). Le but du *cluster* est également de mettre en ligne » (pour reprendre l'expression utilisée dans la présentation de la plateforme) celles-ci avec les politiques européennes comme Horizon 2020 sur les projets identifiés.

Dans la définition de la bioéconomie par le *cluster*, l'accent est mis sur la chimie verte – le cluster lui est dédié – et donc donne du sens à la citation précédente : la question est appropriée par la chimie italienne.

#### 1.3.2.1.2. Un cluster porté par trois acteurs principaux de la chimie italienne

La citation précédente évoque que des « *big players* » qui ont fondé le *cluster*. Que ce soit sur le site internet de l'organisation ou dans des documents de présentation, il est précisé que ce sont Versalis (la filiale chimie du groupe pétrochimique italien Eni), Biochemtex, Novamont et l'association des industries de la chimie italienne Federchimica.

##### 1.3.2.1.2.1. Versalis : l'influence de la pétrochimie

Versalis a toujours été la division chimie de l'Agip (fondée en 1926) dont le but était, après la Première Guerre mondiale, la recherche de pétrole en Italie et l'exploitation de pétrole importé d'Irak notamment. En 1953, alors que l'Agip devait être démantelée, E. Mattei – son dirigeant d'alors – a déplacé les actifs d'Agip dans Eni qui venait d'être fondée, tout en relançant l'activité d'exploration du pétrole, notamment en Italie. Alors qu'Eni était spécialisée dans les activités pétrochimiques, Versalis s'est spécialisée depuis les années 50 dans la chimie de base (chlore, etc.), les monomères de base de la pétrochimie (éthylène, propylène, butadiène, etc.) et des polymères de spécialité (comme les styrènes et les élastomères).

Elle dispose à l'heure actuelle de neuf sites de production en Italie, et en particulier un en Sardaigne sur lequel elle développe une activité de production avec Novamont (*cf.* présentation de Novamont plus loin dans cette section). A cet effet, Versalis a créé Matrica – une *joint-venture* avec Novamont – en vue d'explorer le champ de la chimie verte et plus particulièrement des plastiques biosourcés sur ce site de production. Versalis reconvertit également, en partenariat avec Elevance – une firme américaine – un vapocraqueur en une unité de production d'éthylène biosourcé.

##### 1.3.2.1.2.2. Novamont : un autre héritier de la chimie italienne<sup>156</sup>

Novamont a été fondée en 1989 comme un centre de recherche sur les plastiques biosourcés. Diverses opérations médiatiques, de la fourniture de la matière première des « stylos verts » du sommet de Rio en 1992 à la fourniture de vaisselle à durée de vie courte pour les Jeux olympiques de Londres, lui assurent une forte visibilité médiatique. Au début des années 90, le groupe Ferruzzi entre dans une grave crise d'endettement, conduisant à la cession en 1993 des brevets jugés les plus rentables (ceux sur les biocarburants) à la société Cereol. Les chercheurs de Novamont, qui était la filiale de Ferruzzi spécialisée dans les matériaux biodégradables, dirigés par C. Bastioli sauvèrent le programme biopolymères en 1996 en réussissant à convaincre un consortium d'investisseurs italiens de leur donner le temps du développement en R et D.

Elle installe sa R et D et son usine pilote à Novara, près de Milan, sans entretenir pour autant de relations particulières avec le bassin agricole lombard. Elle participe alors à une guerre des brevets pour contrôler l'émergence de produits issus de la biomasse notamment contre des firmes américaines et allemandes qui durera jusqu'en 2005. L'important est de noter ici que le projet de la firme était de destiner ces brevets à un développement industriel interne, et non à la négociation de droits de propriété intellectuelle dans une stratégie de licencing de ces brevets comme peuvent le faire les start-

---

<sup>156</sup> Pour ce passage sur Novamont et plus généralement sur la politique italienne en matière de bioéconomie sur Nieddu *et alii.* (2013) et Béfort et Nieddu (2016, à paraître).

ups issues de la « révolution des biotechnologies » actives sur ce front, ni une stratégie de développement de biocarburants, contrairement à ce qu'affirment les études de marché.

Les stratégies d'industrialisation sont passées, d'une part, par des accords avec Genomatica pour la reconversion d'un site de la chimie (localisé à Adria dans la Vénétie) vers la production de butanediol. D'autre part, Novamont s'est alliée avec Versalis également pour convertir le site de Porto Torres pour la production de bioplastiques à partir de chardon, une plante endémique en Sardaigne.

#### *1.3.2.1.2.3. Biochemtex : le deuxième groupe italien de la chimie prend position sur l'ingénierie des bioraffineries*

Biochemtex est la filiale dédiée au développement d'unité de production d'éthanol de deuxième génération de Mossi Ghisolfi (connue aussi comme M & G). Elle a été fondée en 1953 dans le Piémont. Elle est spécialisée dans le plastique : M & G a été la première firme à introduire le PET en Europe. En 1985, elle a développé une des plus grandes usines de PET à Anagni, en passant parallèlement une joint-venture pour la production de PET avec Shell et une seconde avec Marubeni pour développer du PET et des moules de fabrication pour Pepsi en Europe.

Entre 2000 et 2002, elle acquit les unités de production de PET italiennes, mexicaines et américaines de Shell, puis celles de Rhodia au Brésil. En 2004, elle racheta Chemtex au groupe Mitsubishi qui l'avait achetée en 1947 à Rayon Consultants. Il s'agit dès l'origine d'une firme spécialisée dans l'ingénierie des unités de production. En effet, durant les années 40-50, le développement de l'industrie de la pétrochimie a nécessité de rationaliser la production, ce qui a donné lieu à la fondation d'entreprises du type de Chemtex.

Elle revendique avoir commencé à travailler à partir de 2006 sur la chimie du végétal et a mis au point le procédé Proesa de production de biocarburants à partir de biomasse non alimentaire qui a été testée sur une usine pilote en 2009 à Alexandrie (Italie). En 2011, elle débute la construction de son unité de production à Crescentino. Cette même année, elle s'allie avec Texas Pacific Group – un fonds d'investissement américain – pour fonder Beta Renewables. Cette nouvelle entité semble servir de « tête de pont » pour Chemtex en vue de commercialiser et développer des unités de production mettant en œuvre le procédé Prosea (notamment au Brésil ou aux États-Unis).

#### *1.3.2.1.2.4. L'institutionnalisation d'un compromis national*

Les trois firmes de la chimie qui sont à la manœuvre ici sont, dans le cas de Versalis et Biochemtex, des filiales des plus grandes firmes de la chimie italienne ou issue, dans le cas de Novamont, de cette chimie. On retrouve dans l'implication dans le cluster SPRING la structure de l'industrie de la chimie italienne, tant dans ses spécialisations que par les acteurs qui portent le cluster : Versalis qui est, historiquement, spécialisée dans les intermédiaires chimiques, Chemtex dans l'équipement des unités de production et de l'éthylène et Novamont, à la fois dans la chimie par l'intermédiaire de Feruzzi et dans les bioplastiques qu'elle explore depuis la fin des années 80.

La contrepartie du soutien public se trouve dans la demande de l'État aux entreprises de contribuer à la réindustrialisation de sites de production (notamment d'éthylènes) abandonnés, ce qui est utilisé pour légitimer le développement de la bioéconomie en Italie : « *les sites chimiques nationaux pourraient devenir une formidable opportunité pour redéfinir le système et garantir un développement de qualité, grâce à l'application des innovations environnementales diversifiées avec régie globale, visant*

à promouvoir une agriculture durable, des bioraffineries intégrées, l'activité entrepreneuriale, l'économie de la connaissance, tout ne portant une plus grande attention envers les traditions culturelles locales et les qualités des paysages. (...) Ces nouvelles applications pourront permettre d'affronter avec une plus grande détermination la crise de la pétrochimie, plus forte en Italie que dans d'autres Pays européens, et les questions de la désindustrialisation des sites chimiques et de désertification de certaines régions particulièrement problématiques de l'Italie du Sud. » (Bastioli, 2014, p. 16).

#### 1.3.2.1.3. Un discours marqué par la première bioéconomie

Nous venons d'exposer que la politique italienne de la bioéconomie prend forme dans un cluster national, appuyé sur trois grandes firmes de la chimie. Par ailleurs, le secteur de la chimie fait l'objet d'une crise qui est utilisée pour justifier de l'intérêt de l'émergence d'une bioéconomie. Dans un premier temps, nous montrons comment est décrit le fonctionnement global de la bioéconomie italienne. Dans un second temps, nous montrons la déclinaison de la vision en termes de revitalisation des territoires dans les documents de feuille de route.

#### 1.3.2.2. Le fonctionnement global de l'industrie

##### 1.3.2.2.1. La bioéconomie comme une économie ancrée sur des territoires

Le fonctionnement global de l'industrie n'est pas particulièrement décrit dans les documents d'orientation du *cluster*, mais est exposé dans un ouvrage préfacé par C. Bastioli, la PDG de Novamont<sup>157</sup>. Celle-ci expose une vision de la bioéconomie en termes de modèle de développement : « Dans ce domaine, les bioraffineries intégrées – dont le champ d'application s'étend de l'utilisation de ressources renouvelables et de matières premières de production locale à la recherche et au développement de nouveaux produits chimiques, matériaux, carburants de nouvelle génération et bioplastiques – constituent un exemple précieux de valorisation du territoire visant une utilisation plus efficace des ressources ; elles peuvent également représenter un nouveau modèle de développement, tout d'abord culturel, puis industriel, qui tend à établir des interactions entre des secteurs autrefois éloignés, appliquant à la biodiversité et à la culture locale les connaissances scientifiques et technologiques les plus avancées. » (Bastioli, *Ibid.*, p.10).

Ces connaissances scientifiques et technologiques devraient s'appliquer aux territoires en vue de créer une économie circulaire : « Il faut recommencer par le territoire, l'économie de la connaissance, l'observation attentive de la nature et de sa capacité extraordinaire à intégrer chimie, physique et biologie dans des systèmes circulaires, qui ne produisent pas de déchets et où chaque élément de la chaîne, même le plus petit et apparemment le plus faible, joue un rôle fondamental. » (*Ibid.*, p.12). La méthode du choix des territoires est ici, ceux qui sont d'anciennes friches industrielles : « D'ailleurs, en Italie, le développement de bioraffineries intégrées locales montre comment l'emploi de récoltes locales provenant d'anciennes friches industrielles, combinées à des sous-produits locaux, constitue un atout pour créer des synergies avec le monde agricole, afin de redynamiser et de relancer la production dans certaines régions, tout en respectant l'écosystème et la biodiversité locale. » (*Ibid.*, p.29).

---

<sup>157</sup> Le fait que C. Bastioli introduise l'ouvrage évoqué à partir d'éléments que l'on retrouve dans les documents d'orientation du *cluster* et dans les documents de présentation de Novamont, nous indique que 1) cet ouvrage est représentatif et 2) que Novamont domine la bioéconomie italienne.

#### 1.3.2.2. Une « économie de système »

Pour illustrer son propos, Bastioli écrit ceci : « On peut saisir tellement d'opportunités si l'on se concentre vers l'élimination des déchets, en transformant des problèmes locaux en activités d'entreprise et en développant une vision systémique à l'opposé de la culture de management qui a contribué au modèle de développement à effet dissipatif dans lequel nous vivons. » (*Ibid.*, p.15). Il est ici fait référence, comme plus loin dans l'ouvrage, au développement de sacs biodégradables, suite à la loi italienne interdisant les sacs de caisse qui ne le seraient pas. Cet exemple, même si c'est celui développé par Novamont, est remis dans le contexte du modèle de développement défendu : « *La loi italienne sur les sacs de caisse favorise actuellement un processus d'innovation incrémentale induite qui permet d'expérimenter une innovation sur le territoire et d'en évaluer les retombées effectives, en créant de nouvelles compétences d'économie de système et des ponts entre des secteurs normalement éloignés : chimie, agriculture, biotechnologie, pétrochimie, industrie de transformation, industrie des déchets, administrations publiques, centres de recherche, associations, consortia obligatoires et volontaires. (...) Cela a créé les conditions qui ont rendue possible la naissance en Italie du Cluster Technologique National de la "Chimie verte", impliquant les trois réalités industrielles les plus importantes investissent actuellement de manière significative sur le territoire (Novamont, Eni Versalis et Chemtex Italia) (...).* » (Ganapini, 2014, p.75).

Il s'agit donc d'une vision cherchant à prendre en charge une triple problématique de réindustrialisation, d'économie circulaire et de transition vers l'usage des ressources renouvelables notamment grâce aux accords passés avec les agriculteurs italiens, qui renvoie à une bioéconomie du premier type.

#### 1.3.2.3. La déclinaison de cette vision dans le rapport d'approvisionnement

A la différence des feuilles de route produites dans l'ensemble des cas étudiés précédemment, il n'est pas fait mention des technologies à mobiliser. Il est plutôt question de l'origine des matières premières et de la localisation de la production.

##### 1.3.2.3.1. L'origine des matières premières

La première déclinaison de « l'économie de système » revendiquée tient en « *A production activity based on: the sustainable production of biomass, to increase the added value of agricultural production with complete respect for the biodiversity of local areas, in collaboration with the agricultural world and creating partnerships with local actors; The **creation of agro-industrial chains which, as far as possible, are local and integrated**, making it feasible to maximise the creation of value with the widest possible base while also providing security to the supply chain for new industrial initiatives; The **efficient use of biomass**, to obtain products for industrial usefulness, reducing energy consumption and recovering nutrients for the soil, raw materials for animal feed and bioenergy as by-products, as well as transforming waste into resources (...).* » (The Biobased Chemical Industry towards an Italian Strategy of Bioeconomy, 2014, p.3). La production de matières premières est envisagée comme devant tirer parti de la biodiversité tout en permettant de développer des chaînes de valeur. L'accent est également mis sur le rôle de la bioéconomie dans la résolution du problème de l'érosion des sols.

### 1.3.2.3.2. L'ancrage sur des sites chimiques existants

Dans le prolongement de la problématique de réindustrialisation, il est souligné que les unités de production doivent permettre de reconverter des unités de production existantes : « *Biorefineries : (...) Reconversion of industrial areas decommissioned or affected by the crisis* » (The biobased chemical industry towards an Italian strategy of Bioeconomy, *op. cit.*, p.5). Cependant, ces sites ne doivent pas être de simples copies de la pétrochimie : « *The development of biorefineries is related to the construction of plants smaller than the conventional petrochemicals ones; it therefore allow an integration in synergy with local areas and an increased flexibility in the production system.* » (The National Technological Cluster of Green Chemistry, *op. cit.*, p.7).

	<b>Normes de qualification</b> (normes qui président à la qualification des objets)	<b>Normes d'usage</b> (normes qui président à l'engagement des objets)
<b>Normes techniques</b>	Définition de la bioéconomie comme une « économie de système » qui doit articuler la revitalisation de sites industriels avec l'usage de ressources renouvelables locales.	Développement de procédés spécifiques.
	<b>[Norme – définition]</b>	<b>[Norme – procédure]</b>
<b>Normes sociales</b>	Économie de système + économie circulaire.	Membres du <i>cluster</i> SPRING.
	<b>[Norme – référence]</b>	<b>[Norme – règle]</b>

Figure 86 : Les logiques de qualification dans la bioéconomie italienne

## Conclusion de la section

Les cas étudiés montrent que les feuilles de route des États, au-delà des discours sur le rôle de la bioéconomie comme vecteur de développement économique, portent des visions du futur, partiellement hétérogènes que l'on peut positionner par rapport aux différents types de bioéconomie.

<u>Pays étudiés</u>	<u>Forme du compromis national sur la bioéconomie</u>
États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioéconomie de type 2 : forte présence des biotechnologies à la fois dans les technologies et applications promues, mais également dans les dispositifs institutionnels déployés</li> <li>- Bioéconomie de type 3 : variété des matières premières, production de biocarburants et molécules chimiques par des procédés non biotechnologiques</li> </ul>
Allemagne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioéconomie de type 3 : intense discours sur les bioraffineries, avec pour chacune d'elle, la formation d'une proposition de valeur mise en forme dans des modèles SWOT</li> <li>- Bioéconomie de type 2 : discours sur les biotechnologies dans la feuille de route étiquetée « bioéconomie »</li> <li>- Bioéconomie de type 1 : biocarburants marqués par la controverse sur ces produits</li> </ul>
Finlande	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioéconomie de type 3 : modèle de développement centré sur l'utilisation du bois et la réorientation de l'activité papetière sur l'exploitation de la lignine qu'il est obtenu comme coproduit dans cette production</li> <li>- Bioéconomie de type 1 : accent porté sur la gestion soutenable des forêts comme espace de développement de la société finlandaise</li> </ul>
Italie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioéconomie de type 1 dominante, en particulier à cause de l'influence de Novamont : « économie de système » ancré dans des écosystèmes locaux ; fort discours d'économie circulaire</li> <li>- Bioéconomie de type 2 : formation de <i>joint-ventures</i> avec Genomatica, <i>start-ups</i> des biotechnologies, utilisée comme exemple de réindustrialisation de sites industriels</li> <li>- Bioéconomie de type 3 : transition vers de nouveaux modèles de production (la taille des unités de production par exemple) regroupés derrière le terme de bioraffinerie territoriale</li> </ul>

Figure 87 : Compromis nationaux sur la bioéconomie en fonction des trois types de bioéconomie

Chacun des compromis nationaux sur la bioéconomie est effectivement sous la dominance de bioraffinerie de type 3, mais les trois bioéconomies sont articulées de manière hétérogène. Nous avons montré que dans chacun des cas que certains secteurs étaient dominants dans la formation du compromis sur la bioéconomie notamment pour des raisons historiques. C'est en cela que les visions développées sont partiellement hétérogènes. Les feuilles de route décrivent des « modèles économiques nationaux » de bioéconomie adossés à des patrimoines productifs. Par exemple, dans le cas de l'Italie, les patrimoines qualifiés sont les sites chimiques fermés et les productions agricoles locales, ainsi qu'un effort précoce sur l'usage des ressources renouvelables dans une perspective de développement durable. Comme le montrent les tableaux récapitulatifs pour les différents cas traités, on a bien la formation de compromis.

Ces compromis localisés représentent des points d’ancrage dans « l’espace bouillonnant » de l’arène de développement. C’est en cela que le cas de la France est particulièrement intéressant. En effet, la France ne dispose pas encore de feuille de route pour la bioéconomie. À partir de 2014, les acteurs français de la bioraffinerie (notamment des représentants de l’Association Chimie du Végétal — ACDV) avec lesquels nous avons eu l’occasion d’échanger commençait d’évoquer la nécessité d’une telle feuille de route. Fin 2014, la revue spécialisée Formule Verte a publié un article (Latieule, 2014) demandant également une feuille de route nationale. Enfin, lors de l’assemblée générale 2015 du pôle IAR était présente une des responsables du Ministère de l’Agriculture français qui est en charge de ce dossier. Durant son intervention, cette responsable a largement insisté sur la concertation avec les acteurs des industries agroalimentaires. C. Rupp-Dahlem, vice-président de Roquette et président de l’ACDV) nous a affirmé, lors d’un entretien en juillet 2015 que « *la feuille de route [française] va raconter une belle histoire a posteriori, celle de ce qui s’est passé en France. (...) Maintenant, c’est surtout pour être visible au niveau mondial.* ».

## 2. Le développement de la bioéconomie dans l'espace européen

L'Union européenne a publié une feuille de route sur la bioéconomie en 2012. Elle fixe à la bioéconomie les objectifs de sécuriser l'approvisionnement alimentaire, gérer de manière soutenable les ressources renouvelables, réduire la dépendance aux ressources non renouvelables, de diminuer le réchauffement climatique et de créer des emplois et maintenir la compétitivité européenne. Dans sa problématisation de sa politique, la Commission Européenne a par ailleurs repris le thème de la bioéconomie dans sa feuille de route 2014 intitulée « *For a European Industrial Renaissance* » (COM 2014/2).

L'institutionnalisation d'un espace européen de la bioéconomie dans le prolongement de la KBBE

La feuille de route sur la bioéconomie dessine deux perspectives. D'une part, il vise à mettre en cohérence les différentes politiques de recherche de l'Union européenne : « *The Bioeconomy Strategy calls for a more informed dialogue, in particular on the role of scientific advancement, and better interaction between existing bioeconomy-supporting policies at EU and Member States level (...). This will provide stakeholders with a more coherent policy framework and encourage private investment.* » (COM 2012). Pour cela, il était déjà envisagé la création d'un partenariat public-privé. D'autre part, elle institutionnalise « formellement » un espace dans lequel les acteurs vont s'affronter, notamment pour les financements de recherche, comme le montre la mise en place d'un Panel Bioéconomie qui a implosé en raison des tensions entre les industriels du groupe.

Les auteurs du texte de la feuille de route sont membres du Joint Research Centre de la Commission européenne, c'est-à-dire du centre de recherche qui appuie les décisions de la Commission. Par conséquent, leur propos doit être interprété comme la production d'un récit ordonné de la stratégie européenne sur la bioéconomie. Pour Scarlat *et alii* (2015), la feuille de route européenne problématise ainsi l'émergence de la bioéconomie : « *the bioeconomy's focus is on new growth opportunities in both traditional and emerging bio-based sectors* » (Scarlat *et alii*, 2015, p.4) pour lequel, là encore, l'Union Européenne essaie de faire tenir ensemble des secteurs variés : « *In the European Commission's approach, bioeconomy covers 'the production of renewable biological resources and the conversion of these resources and waste streams into value added products, such as food, feed, bio-based products and bioenergy'*. (...) *In this respect, a biobased economy is nothing new in itself, as before the industrial revolution, economies were mainly biobased. Biomass is already used as feedstock for example wood based materials, pulp and paper production, biomass-derived fibres, and as biofuel feedstock* » (*Ibid.*, p.4).

La stratégie européenne prolonge les initiatives sur la Knowledge Based Bio-Economy (KBBE) définit en 2005. Celle-ci visait à mettre en œuvre des outils de financements de la recherche dans le but d'industrialiser les biotechnologies : « *the KBBE has brought together the knowledge base and the bioeconomy as 'mission oriented research'.* The KBBE does not take a priori any position on the kind of research to be performed, as long as it is geared to develop the bioeconomy » (Aguilar *et alii*, 2013, p.422).

La position européenne vise alors, contrairement à la vision américaine, à inscrire la bioéconomie dans les seules biotechnologies. La feuille de route de la bioéconomie européenne tente

de poursuivre l'institution d'un espace de concurrence autour des financements qui pourront être attribués ou non à des projets. L'enjeu s'est renforcé avec le plan Horizon 2020 qui a succédé au FP7, car celui-ci oriente une grande partie des financements vers la bioéconomie.

Et des acteurs qui problématissent la diffusion des produits

Dès 2010, un rapport rédigé par Clever Consult, une firme de *consulting* sur les biotechnologies installée à Bruxelles dont le dirigeant a également dirigé EuropaBio qui est le *lobby* des biotechnologies à Bruxelles<sup>158</sup>, mettait au cœur du développement d'une bioéconomie en Europe les biotechnologies (principalement pour la production de matériaux et d'OGM), qui selon le rapport, devrait bénéficier d'un cadre législatif plus favorable. Le rapport pointait que, contrairement aux biocarburants qui bénéficient d'un soutien de l'Union européenne et des États par l'imposition de taux d'incorporation dans les carburants liquides, la production de matériaux biosourcés ne disposait pas de ce type de soutiens. Le nova-Institute a publié deux contributions (Carus *et alii*, 2014, 2015) qui dénoncent l'absence de politiques publiques européennes qui corrigerait ce qui est qualifié de « distorsion de concurrence » par ces auteurs, mais également, inciterait à la production de matériaux bio-sourcés comme le montre le schéma suivant :

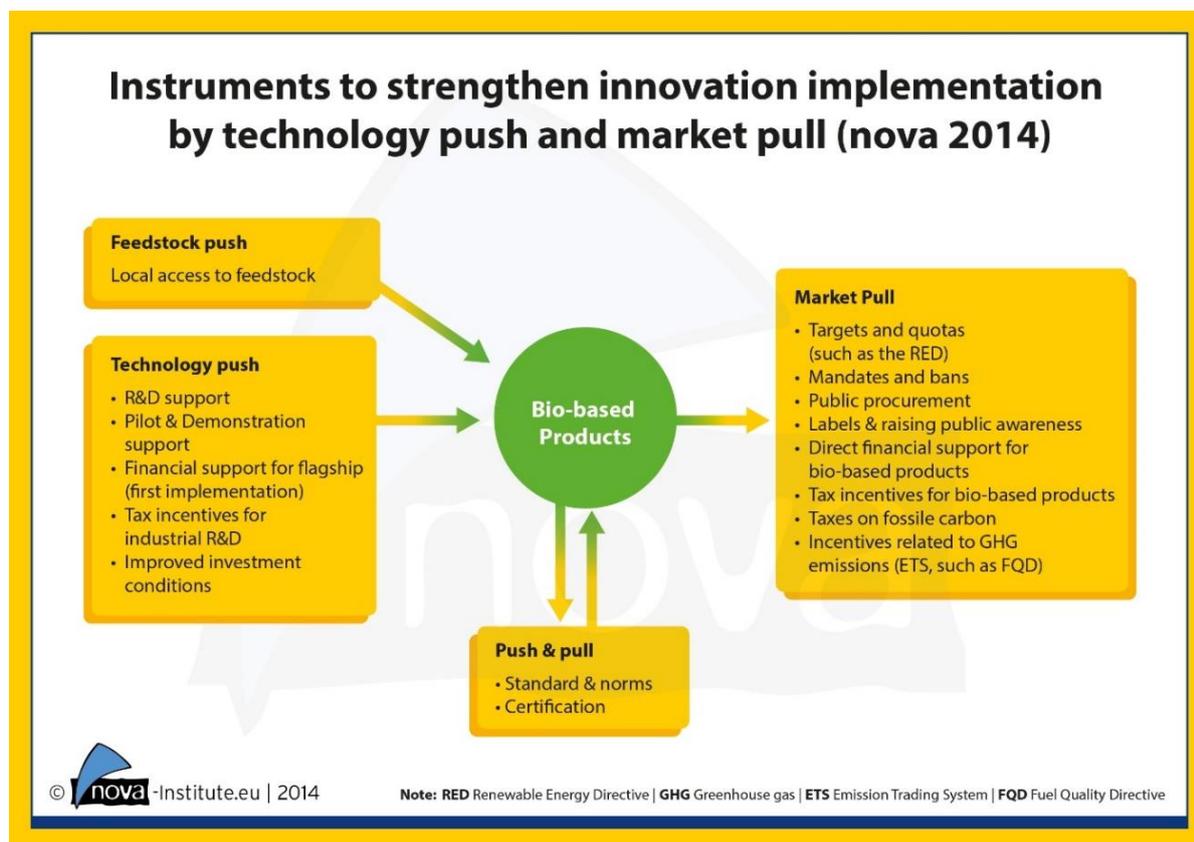


Figure 88 : Les recommandations du nova-Institute en matière de politiques publiques pour la bioéconomie (d'après Carus *et alii*, 2015, p. 4)

On peut noter une très forte similarité entre les mesures recommandées dans le rapport de Clever Consult, dans le projet Bio-TIC et dans la feuille de route européenne. En effet, dans chacun des cas, il est demandé une fiscalité spécifique, notamment pour les PME produisant des innovations. De

<sup>158</sup> Et dirige actuellement le PPP BioBased Industry.

même, il est demandé de faciliter le financement de ces firmes, notamment par le financement de démonstrateurs industriels pour que les firmes des biotechnologies puissent faire la démonstration de la capacité de leurs technologies et ainsi accorder des licences à des macro-acteurs, et le mode financement recommandé est le partenariat public-privé. Lors d'un entretien avec un responsable d'Europabio, celui-ci nous a confirmé que les acteurs de cette communauté travaillaient depuis de longues années pour réussir à obtenir l'établissement de ce PPP (cf. plus bas) : C. Rupp-Dahlem, responsable recherche de l'amidonnier Roquette, précisait lors d'une journée d'information qui s'est tenue en 2013 sur le PPP qu'il s'inscrivait dans une démarche au long cours, engagée dès le début des années 2000. Enfin, toujours d'après le responsable d'Europabio que nous avons rencontré, et en lien avec les recommandations de la communauté des biotechnologies non-biocarburants, la mise en place au niveau européen d'un programme semblable au *biopreferred program* américain serait en cours, ce qui suppose également la mise en place de certifications communes, disposition également revendiquée par la communauté que nous venons de décrire.

Le schéma précédent et la figure suivante s'inspirent respectivement des systèmes sectoriels d'innovation de Malerba et Oltra et Saint-Jean (cf. chapitre 1) et du transition management. Le premier rend compte d'une vision de l'émergence centré sur les produits et portés par un certain nombre d'outils avec notamment le financement des pilotes industriels et des projets *flagships*, la certification des produits et la mise en forme de politiques publiques d'achat. Le second schéma s'inspire lui du modèle du *transition management*.

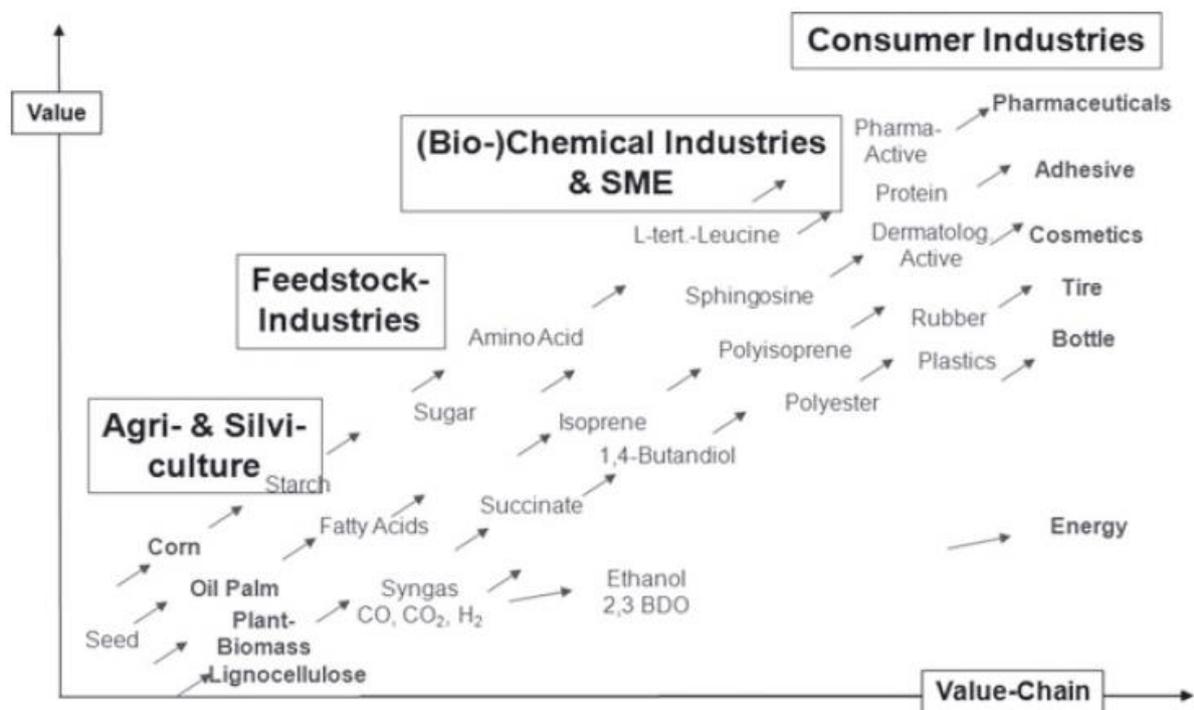


Figure 89 : Une représentation des chaînes de valeurs de la bioéconomie (d'après Kircher, 2012, p. 243)

À la lecture de ces deux schémas, on comprend que la problématisation de l'industrialisation, par l'intermédiaire des associations des firmes ou des comités institués par la Commission Européenne, porte sur la définition de dispositifs institutionnels macro-sectoriels<sup>159</sup> soutenant

<sup>159</sup> La caractérisation « sectorielle » est utilisée ici en référence au schéma de Carus *et alii* (2015) qui reprend une

l'industrialisation des procédés (soutien au développement de plateformes industrielles, appels à projets « *flagships* », etc.), mais aussi sur des dispositifs « infrasectoriels » comme des standards et des normes sur les produits. Ces standards et normes doivent être entendus au sens large comme l'illustre la seconde figure : elles concernent également le classement des produits en fonction de la valeur des produits et de leur place dans la division du travail. Cette grande représentation noue par ces deux critères le triptyque [matières premières/procédés/produits]. De plus, quand les firmes vont candidater sur des appels à projets *flagships*, quels critères vont être mis en avant pour évaluer le fait que leurs projets soient suffisamment avancés pour justifier l'obtention du financement ? On retrouve une question similaire sur les produits : comment identifier que ces produits sont biosourcés, et élaborer (ou non) leur différenciation ?

L'espace européen joue ici un rôle de révélateur de ces dynamiques d'assemblages de dispositifs eux-mêmes en construction. C'est le passage par l'émergence d'un PPP qui nous permet d'identifier les questions au cœur de la problématisation de l'industrialisation. Mais le choix du PPP comme formalisation institutionnelle doit être pris en compte, car il pourrait s'agir du compromis de gouvernement de l'industrie. Les deux questions portent à la fois sur le rapport d'approvisionnement (comment vont être structurées les offres de produits et de technologies ?) et sur le rapport commercial (comment vont être offerts ces produits ?). Dans une première partie, nous partons des projets structurants qui ont servi de test « grandeur nature » à la formation du PPP. Chacun des projets est analysé à partir de l'articulation [matières premières/procédés/produits] pour identifier la façon dont les conditions de rentabilité économique sont problématisées. Dans une seconde partie, nous étudions spécifiquement la façon dont les acteurs problématisent les produits. Pour cela, nous avons observé plusieurs colloques de politique industrielle qui nous permettent de saisir comment cette question est problématique. Puis les stratégies de normalisation sont exposées à partir des données issues de l'agrobiobase.

## 2.1. La prise de contrôle sur l'arène de développement par la formation d'un partenariat public-privé

Les éléments que nous avons décrits précédemment portent sur les outils de politique publique pour favoriser l'émergence d'une conception de la bioéconomie que portent les acteurs qui sont à l'offensive. Comme le rappellent à la fois les documents produits par la Commission Européenne (COM 2014/2), les chercheurs des centres de recherche de l'Union européenne (Scarlat *et alii*, 2005) ou des analyses de l'état des lieux de la bioéconomie (McCormick et Kautto, 2013), la stratégie de l'Union européenne passe par le financement de projets de recherche structurants pour la bioéconomie avec trois d'entre eux (Eurobioref, Biocore et Suprabio) qui se dégagent comme fondamentaux dans le développement en raison des financements qu'ils attirent et de leur réception.

L'enjeu de ces projets, comme l'a montré le colloque de restitution des trois projets qui s'est tenu en février 2014 à Bruxelles, était de faire la démonstration de l'intérêt de financer des projets « *flagships* ». C'est-à-dire de construire des *success stories* « grandeur nature » dont le rôle serait d'insuffler un mouvement de transition vers l'usage du végétal. Les déclarations des Directeurs Généraux bioéconomie de la Commission européenne lors du colloque de restitution sont particulièrement éclairantes de ce point de vue. Désormais, la Commission Européenne déclare

---

vision en termes de systèmes sectoriels d'innovation et de production.

souhaiter financer (1) des procédés industrialisables, donc évalués selon le critère TRL suffisamment haut (2) qui ne soit plus des projets de biocarburants fondés sur l'usage de ressources agricoles dédiées à l'alimentation (3) et appuyer des projets non délocalisables pour éviter que des projets financés en Europe soit délocalisés (comme cela a pu être le cas pour BioAmber qui a développé son procédé sur le site de Pomacle-Bazancourt et l'industrialise au Canada). Notre hypothèse, à la suite de notre observation du colloque de clôture et des entretiens menés, est que l'objectif premier de ces projets est de produire non les résultats de recherches scientifiques, mais des « modèles économiques de filières » composés par les acteurs au sein de ces projets. Ceux-ci sont donc des marqueurs de l'arène de développement.

2.1.1. Le projet Eurobioref : une réponse de la chimie de spécialité aux modèles économique de biotechnologies des biocarburants - coproduits

2.1.1.1. La prise de position d'Arkema sur le modèle économique de la bioraffinerie

Dans l'ouvrage de synthèse du projet Eurobioref publié en 2012 (Aresta *et alii*, 2012), Dubois (2012), responsable recherche chez Arkema, écrit en conclusion du deuxième chapitre : « *there is currently a tremendous interest in bio-based products, but at the same time all the conditions are met to build a bio-economy bubble, with projects without enough economic background.* » (Dubois, 2012, p.47). Cette conclusion est appuyée sur une simulation du CAPEX nécessaire à la construction d'une bioraffinerie et une présentation des grands modèles de bioraffinerie, qui, d'après l'auteur sont rentables.

La notion de CAPEX renvoie à l'évaluation du coût en capital d'un projet industriel. La chimie, industrie hautement optimisée, dispose de modèles « clés en mains » à l'image de Turton (2012). Dubois (2012) mobilise donc un modèle de ce type afin d'évaluer les investissements en capitaux nécessaires aux bioraffineries existantes. Ce résultat est recherché par l'auteur, car il prend position dans le débat sur la place des biocarburants, et donc des produits chimiques à faible valeur ajoutée, dans la bioraffinerie. D'après l'auteur, c'est la production prioritaire de produits à plus forte valeur ajoutée, puis la valorisation des coproduits vers des applications moins rentables qui devraient guider le développement de ces unités de production : « *a way to reach the targets (...) is certainly to combine the production of high-value chemicals and materials and to use the residues of the biorefinery to produce fuels. In this case, the fuels does not need to support most of the capital cost and can have access to lower-value feedstock.* » (*Ibid.*, p.47).

Arkema (à travers Ato Chimie, l'entreprise d'origine) travaille depuis le début des années 1960 à partir d'une ressource végétale bien connue des chimistes depuis le début du XXe siècle, l'huile de ricin, dont elle tire un polyamide qui avait été surnommé à cette époque le « nylon français ». Étant données les caractéristiques de ce polyamide, plutôt que proposer des intermédiaires de commodité<sup>160</sup>, la firme a toujours proposé des applications sophistiquées sur des marchés spécifiques, et c'est exactement ce que Dubois essaie de reproduire en s'appuyant sur la raffinerie que détient

---

<sup>160</sup> *i.e.* des intermédiaires produits en très grande quantité en chimie de base destinés à être vendus à la chimie fine selon une division du travail traditionnelle en chimie du pétrole

Arkema à Marseille où elle produit son polyamide<sup>161</sup> : « *in this type of biorefinery, it is important to identify the key product.* » (*Ibid.*, p.25).

Dubois développe donc un modèle économique de segment de filière sur lequel la firme développerait une molécule de spécialité sur laquelle elle serait en situation de monopole. Les produits déclinés à partir de la molécule à forte valeur ajoutée servent à amortir le coût en capital de l'installation, qui du fait de son orientation vers des produits à plus forte valeur ajoutée ne nécessite pas d'atteindre les niveaux d'économie d'échelle des usines d'éthylène ou de biocarburants par exemple.

2.1.1.2. Eurobioref : un modèle économique de filière qui cherche sa rentabilité dans la variété ?

Dans la présentation de synthèse du projet, Dumeignil (2012, 2014) met au cœur de sa présentation, la diversité des voies et des applications de la bioraffinerie :

## Target Products

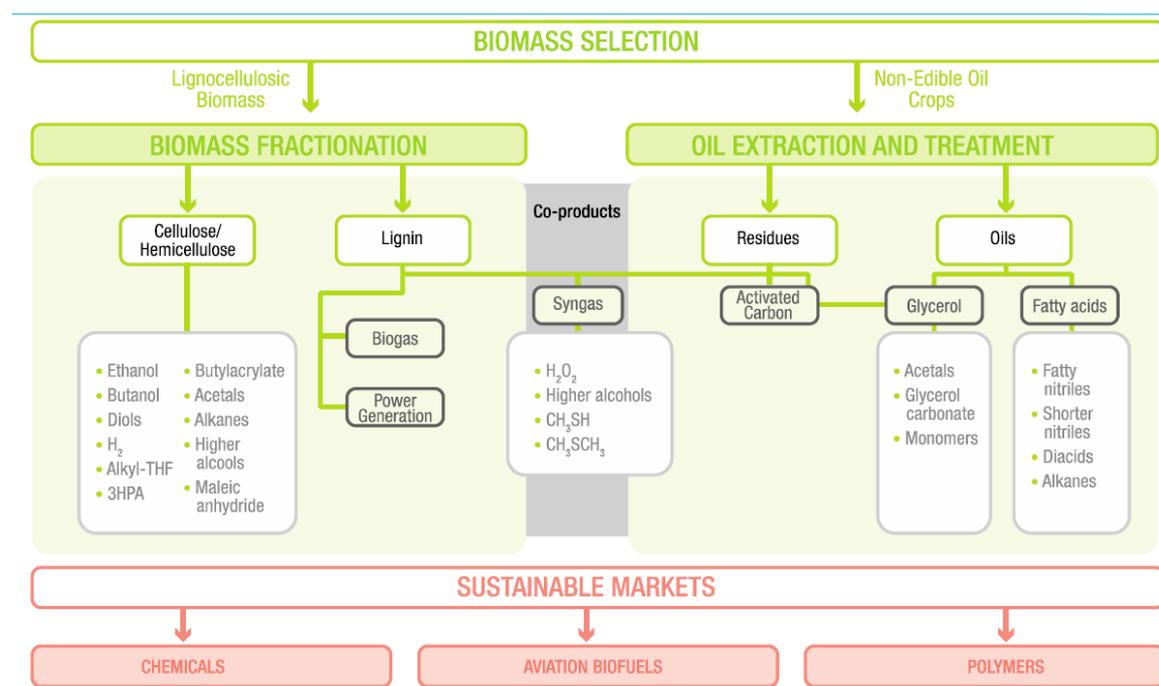


Figure 90 : le modèle économique de filière d'Eurobioref (d'après Dumeignil, 2014)

Ce que propose le schéma produit par Dumeignil, coordinateur du projet Eurobioref, correspond à ce que Hernandez *et alii* (2014) ont qualifié de dimension exploratoire du modèle économique : « *le principe de mise en récit et la cartographie des réseaux de valeur sont le fondement de cette exploration* » (Hernandez *et alii*, 2014, p.7).

On retrouve les patrimoines productifs que portent les principales firmes du projet (Borregaard, Novozymes, Arkema et Novance). En effet, dès 2012, des membres de Borregaard (Rodsud *et alii*, 2012), publiait dans le même ouvrage que Dubois une contribution racontant la *sucess*

<sup>161</sup> Notons au passage que Dubois qualifie cette unité de production, qui est une unité traditionnelle de la chimie, de bioraffinerie.

*story* de la « *wood biorefinery* » norvégienne, qui part de la production de bois, vers d'abord la production de produits à faible valeur ajoutée autour du sucre comme plateforme chimique jusqu'à la recherche de produits à plus forte valeur ajoutée. Lors d'une des tables rondes du colloque Eurobioref 2014, les échanges entre Arkema et Booregaard ont justement porté sur la nécessité d'assurer la rentabilité des unités de production par la production de produits à plus forte valeur ajoutée. En revanche, dans la contribution de Rodsrud *et alii* (2012), il est question de production de biocarburants, qui sont également présents sur le schéma de modèle économique d'Eurobioref.

Si l'on reprend les modèles de filières proposés en conclusion du projet, six modèles sont proposés, mais en réalité, seuls quatre correspondent à des modèles testés, les autres ayant été abandonnés ou correspondaient au test de l'intégration des modèles de filières dans des unités existantes. Parmi les quatre modèles retenus, les deux premiers font référence à la production de polyamides, c'est-à-dire le cœur du patrimoine d'Arkema, dont la prétransformation des coproduits permet d'alimenter en matières premières (chaînes courtes d'acide gras) les autres filières dédiées à la production de biocarburants et de butanol, c'est-à-dire, des produits à faible valeur ajoutée.

On voit donc l'influence d'Arkema dans la définition de la forme du modèle économique de la filière, qui s'est imposée en conceptualisant son *business model*. En se positionnant ainsi, Arkema tente de dominer l'amont de sa filière en testant des matières premières et en imposant des procédés de transformation, sur lesquelles se positionnent des acteurs comme Borregaard ou Novance (sur le raffinage des huiles). Le modèle d'Eurobioref est donc un compromis dominé par Arkema qui tente de faire tenir ensemble une variété de trajectoires technologiques, qui sont nécessaires au modèle d'Arkema pour pouvoir se maintenir.

#### 2.1.1.3. Le projet Biocore : un modèle économique de filière autour du process Organosolv de CIMV

La firme CIMV est une firme française, *spin-off* de la recherche, fondée en 1998, venue s'installer un moment pour son test sur le site de la bioraffinerie de Pomacle-Bazancourt (présentée dans la section précédente) dont le *process* porte sur le fractionnement biotechnologique de la plante en vue d'obtenir de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose, qui sont les trois grands composants de la biomasse. À partir de cette matière première, il est possible d'appliquer des procédés biotechnologiques, comme le montre le schéma suivant :

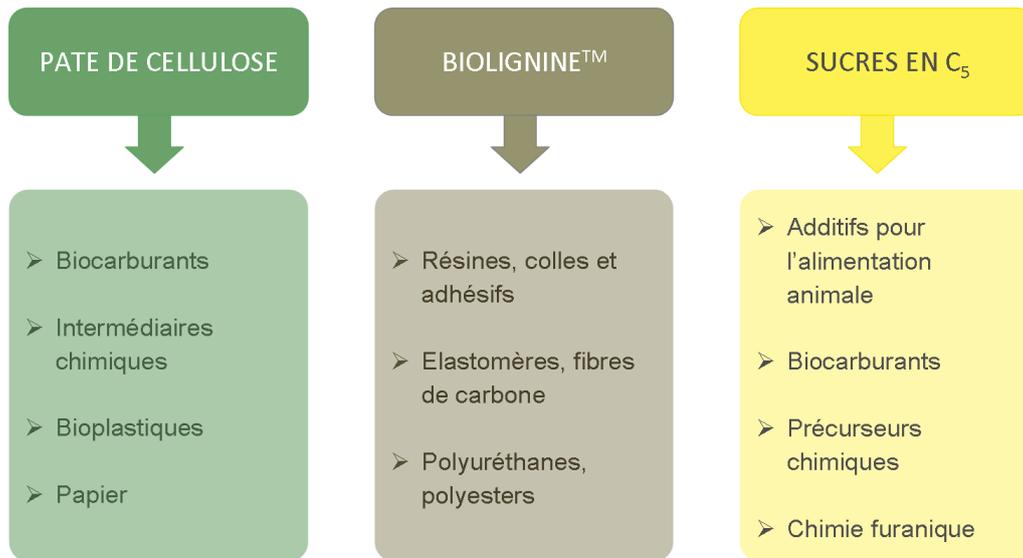


Figure 91 : Produits et matières premières ciblés par CIMV (d'après le site internet de CIMV)

Au sein du projet Biocore, il apparaît clairement que celui était centré sur le procédé de CIMV dans le but de faire la démonstration de l'efficacité du procédé, mais également d'engager son industrialisation. Ainsi, le modèle économique de filière qui est défendu ici repose sur la logique [variété d'intrants -> process CIMV -> cellulose/lignine/hémicellulose -> variété d'applications] :

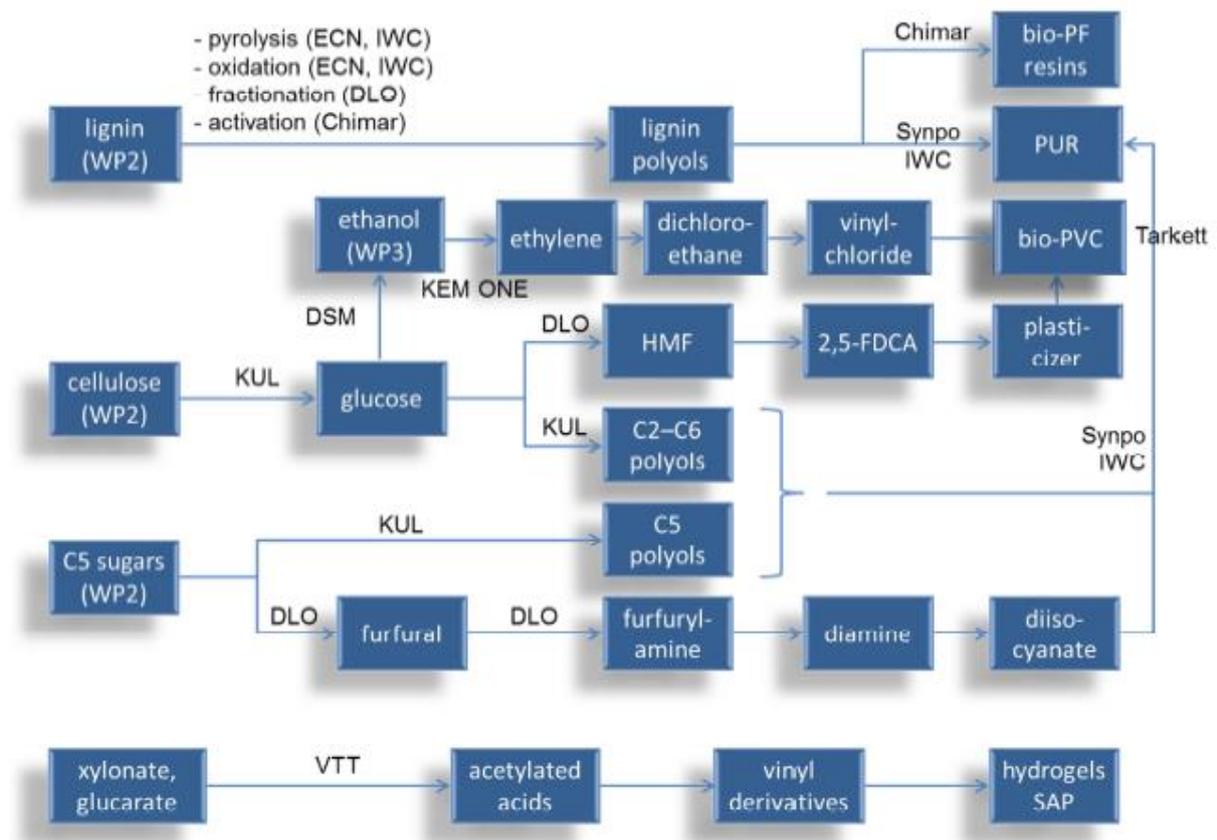


Figure 92 : Le modèle économique de filières du projet Biocore (d'après Biocore, 2014, p.38)

L'amont de la filière est là encore, à l'image d'Eurobioref, dominée par CIMV qui impose son procédé de transformation de matières premières pour fournir des firmes telles que DSM ou Tarkett.

En collaboration avec DSM, a par exemple été annoncée en 2011, la production d'éthanol de 2<sup>e</sup> génération à partir de cellulose obtenue par le procédé de CIMV. Néanmoins il faut avoir en tête que CIMV propose un compromis de produits dans lequel la lignine est le produit dominant du *process*, afin d'obtenir des lignines aux qualités particulières. Le *process* n'est donc pas un *process* standard de production d'éthanol.

L'enjeu de la stratégie repose ici sur l'« *extension of the biomass feedstock base* » (Biocore, 2014, p.6) qui est un enjeu majeur dans le développement de la bioraffinerie : la proposition de valeur construite dans le projet est donc de fournir un *process* unique, applicable à une variété de types de biomasse disponibles en Europe, pour une variété d'applications (O'Donohue, 2014). À l'image de ce que nous avons montré dans le cas des formaldéhydes, il s'agit de faire la démonstration des débouchés pour le produit. Ici, le cœur réside dans la lignine sur laquelle CIMV dispose de brevets, puis il s'agit de valoriser les coproduits de la production de lignine. Pour cela, les valorisations passent par des procédés biotechnologiques. Cette nécessité de démonstration de la variété des usages possibles d'une matière première démontre l'intensité de la concurrence sur les matières premières. Le procédé de CIMV est une réponse du type de celle d'Arkema qui pour répondre à des prix pouvant être plus élevés propose des produits à plus haute valeur ajoutée, mais à partir d'un autre héritage productif. CIMV propose une conceptualisation où le procédé serait largement diffusé, transformant CIMV en fournisseur de matières transformées pour les biotechnologies, mais également de propriété intellectuelle en ayant la possibilité de licencier son procédé.

Ce positionnement un peu particulier (sur un procédé de première transformation de la matière première) s'explique par la concurrence de CIMV avec les papetiers des industries du bois des pays nordiques et plus particulièrement Borregaard comme en témoigne la mise au point d'un procédé de production de pâte à papier en 2008 et une longue intervention de Borregaard sur la conversion de la cellulose et de l'hémicellulose lors d'une école chercheur organisée dans le cadre d'Eurobioref (Frölander et Rosdrud, 2011). On retrouve donc la problématique déjà observée du *design* de la filière dans laquelle les firmes vont prendre position. Bien qu'elles tentent de se maintenir sur des segments de filières très précis (ici, le fractionnement d'une variété de biomasse), elles peuvent être contraintes à passer des accords avec d'autres firmes pour assurer des débouchés à leurs produits. Ainsi, le compromis que forme le « modèle économique de filière » est dominé dans Biocore par CIMV, mais la contraint à laisser une place à une variété de débouchés et de transformation pour sa matière première.

#### 2.1.1.4. Le projet Suprabio : vers des biocarburants rentables ?

Le dernier projet issu du FP7 de l'Union européenne dont le but était de développer un modèle économique de filière est le projet Suprabio. Dans la présentation du projet, les porteurs revendiquent la possibilité, à partir des procédés thermo-chimiques et biotechnologiques de pouvoir produire des molécules à forte valeur ajoutée. Cependant, la principale question retenue dans le projet est le problème de réduction des coûts de production des biocarburants, qui seraient produits à partir de lignine ou de cellulose (Bhattacharya, 2014).

Comme dans Eurobioref, on retrouve Borregaard qui a développé ici un procédé de prétraitement du bois pour atteindre la cellulose et l'utiliser dans une des nombreuses voies technologiques explorées dans le projet :

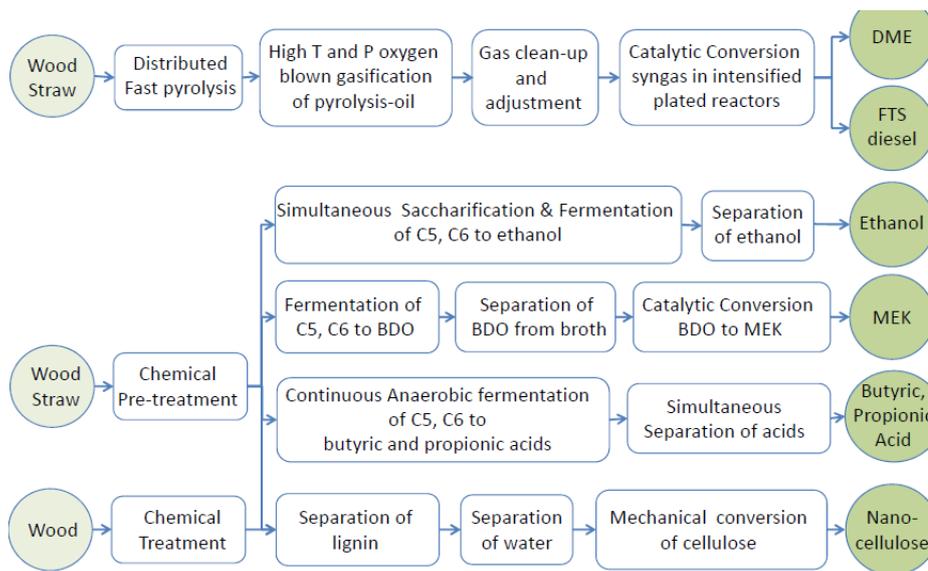


Figure 93 : Quelques-unes des nombreuses voies technologiques explorées dans le projet Suprabio (d'après Bhattacharya, 2014)

En tant que projet dans lequel est impliqué Borregaard, on comprend donc que la matière première testée soit d'abord du bois, puis des résidus de bois. Le modèle développé ici est donc un modèle de chimie de commodité dédiée aux biocarburants qui puisse être installé dans l'unité de production de Borregaard.

#### 2.1.2. Le partenariat public-privé Biobased Industry

##### 2.1.2.1. Les enseignements de l'analyse des trois projets européens

La sous-section précédente nous a permis de montrer que dans les trois projets était en jeu la définition de « modèles économiques<sup>162</sup> de filières ». Ces modèles sont construits comme des compromis au sein d'arènes de développement au sein desquelles les acteurs s'affrontent, produisant des dynamiques internes et externes. Les compromis hégémoniques dans ces arènes participent d'une problématisation de l'espace, dont la variété des projets, également dans leur concurrence, participe à donner naissance à une « troisième bioéconomie » (au sens de Nieddu *et alii*, 2014). Cet espace constitue donc une arène de développement, qui est composée d'une variété d'arènes, lui donnant

<sup>162</sup> Au sens de *business models*.

naissance et cristallisant des conflits entre acteurs, et donc nous révèlent les dynamiques à l'œuvre. Les premiers conflits que nous avons identifiés portent sur la concurrence pour les financements permettant d'organiser le passage au stade démonstratif. C'est donc le besoin en capital qui est révélé par la position tenue par Arkema et qui ressort de la modélisation réalisée au sein du projet Biocore ou encore du discours de Borregaard.

Le deuxième niveau de concurrence, au sein des arènes cette fois, porte sur la définition du segment de filière sur lequel vont être concentrés les efforts du projet, qui met en jeu la domination sur un segment de filière par un ou plusieurs acteurs. C'est en ce sens que, malgré l'hyperconcurrence qui nous a été confirmée par des participants aux divers projets, les acteurs sont contraints de coopérer afin de construire collectivement l'approvisionnement et les débouchés pour les segments de filières qui sont contrôlés.

Le dernier niveau de concurrence porte sur l'approvisionnement en matières premières. Cette question était présente dans chacun des projets. Dans le cas d'Eurobioref, Arkema a par exemple réalisé des tests à Madagascar et demande parallèlement une stabilité, voire une baisse des prix agricoles en Europe pour y maintenir sa production – justifiant également ainsi son choix pour des produits à plus forte valeur ajoutée permettant de compenser le coût en capital et des matières premières. Dans le cas de CIMV et Borregaard, il s'agit d'utiliser des matières premières locales.

Du point de vue des projets et de l'émergence de la bioéconomie, nous identifions plusieurs logiques. La première d'entre elles tient en la construction de *success stories* industrielles. Que ce soit pour Arkema ou pour CIMV, il s'agit bien de faire la démonstration de la faisabilité de productions existantes – donc une logique de « qualification » des activités relevant de la bioéconomie – ou quasi existantes. La deuxième logique que nous identifions est une sorte d'injonction à faire tenir ensemble une variété d'acteurs, qui, jusqu'à la fin du projet, tentait de relier les acteurs de la chimie, des agro-industries (avec la participation du pôle IAR au projet Biocore par exemple), des biotechnologies et les industries du bois et de la pâte à papier. C'est cette logique que nous avons identifiée, à l'exception de l'industrie de la chimie, dans les feuilles de route sur la bioéconomie. Enfin, nous avons pu observer la présence de l'industrie de la pâte à papier, par l'intermédiaire de Borregaard, mais aussi du VTT finlandais, qui, nous l'avons vu, est le bras armé dans la recherche de l'industrie du bois.

#### 2.1.2.2. Le PPP comme forme dominante du compromis sur le gouvernement de l'industrie

C'est donc dans ce contexte de concurrence intense qu'est mis en place le Partenariat Public-Privé (PPP) Bio-Based Industries (BBI) entre l'Union Europe et le Bioindustry Consortium (BIC). Nous avons observé les premières présentations et journées d'informations à propos de ce PPP en juin 2013 avec une première journée d'information organisée par Oséo.

L'objectif initial, dans le prolongement des projets du FP7 décrits plus haut, est d'organiser le passage du stade pilote à l'industrialisation des procédés. Dès 2013, il a été établi que la Commission européenne financerait le PPP à hauteur de 975 millions d'euros et que les acteurs souhaitant participer financeraient le reste (avec un ratio d'environ 1 € public pour 3 € privés) pour un budget total de 3,7 milliards d'euros. Il s'agit donc dès le début du PPP de l'inscrire dans des patrimoines productifs collectifs existants et dominants, étant données les sommes nécessaires pour candidater aux appels à projets lancés dans le cadre du PPP, mais également, dans le prolongement des

financements européens déjà accordés. Il semble qu'il y ait eu un *lobbying* intense de la part des acteurs pour capter les subventions, car le financement du PPP regroupe la majeure partie des financements accordés pour la bioéconomie dans le cadre d'Horizon 2020 (allant de 2014 à 2020), et par conséquent, bloque l'accès aux financements sur cette période. Le second objectif a été de pouvoir associer des PME au PPP. Elles bénéficient à ce titre d'un droit d'entrée plus faible que pour les grandes firmes ou les pôles de compétitivité.

Ces différents éléments permettent donc d'avancer l'idée que malgré la concurrence entre les acteurs, il s'agit bien de constituer la communauté des acteurs de la bioéconomie. Par exemple, le Directeur Général du PPP, Dirk Carrez, est l'ancien directeur d'Europabio, le *lobby* des biotechnologies à Bruxelles. C'est donc de ce point de vue que nous souhaitons analyser la formation du PPP. Pour cela, nous revenons sur les modèles économiques de filières développées au sein du PPP puis sur les premiers projets qui ont été financés dans le cadre du premier appel à projet (résultats rendus publics le 24 juin 2015).

### 2.1.2.3. Les modèles économiques de filières définis dans le PPP

Dans son rapport daté de 2012, BIC définissait le contour de l'arène que constitue le PPP. Parmi la liste des membres fondateurs, et la liste des membres actuelle, l'industrie de la chimie est absente à l'exception notable de Solvay qui possède des activités en biotechnologies au Brésil et de Clariant qui mobilise les biotechnologies dans la production de revêtements pour le bois ou les plastiques. Les membres fondateurs sont donc des grandes coopératives agricoles (Cristal Union, SüdZucker), des firmes des agro-industries (Cargill, Roquette), des producteurs d'énergie (comme Abengoa bioenergia), des biotechnologies (Novozymes), des bioplastiques (Novamont), du carton (Smurfit Kappa Group) ou encore des papetiers (Metsä par exemple), des pôles de compétitivité (le pôle IAR, the Dutch Biorefinery Cluster...) et des organisations collectives (Suschem, Europabio, Cefic...). Il se dessine donc une prise de pouvoir qui se confirme dans les intentions du projet, mais également dans les schémas de filière revendiqués.

Les objectifs annoncés dans le rapport de 2012 sont les suivants (Bio-based Industries, 2012) :

- 1) « *diversify farmer's income and provide them with additional margins by up to 40% by using available residues* » (*Ibid.*, p. 10)
- 2) « *enable 30% of overall chemical production to become bio-based* » (*Ibid.*, p.12)
- 3) « *supply 25% of Europe's transport energy needs by sustainable advanced biofuels* » (*Ibid.*, p.14)
- 4) « *support the European market for bio-based fibre and polymers such as viscose, carbon fibres, nano-cellulose derivatives and bioplastics to grow rapidly* » (*Ibid.*, p.18)
- 5) « *reindustrialise Europe by creating a new rural infrastructure of biorefineries* » (*Ibid.*, p.25)
- 6) « *realise a new generation of bio-based materials and composites* » (*Ibid.*, p.30)

Chacun de ces objectifs indique bien qu'il y a la construction d'une alliance entre les agro-industries, les producteurs de bois et les biotechnologies dans la structuration d'une bioéconomie, dans le but de s'approprier une partie de la valeur créée par l'industrie de la chimie (*cf.* objectif 2).

Le projet s'appuie sur cinq chaînes de valeurs démonstratives qui ont été définies dans le Strategic Innovation and Research Agenda (SIRA) du PPP. Pour chacun de ces modèles de filières ont

également été retenus des axes de recherche, qui nous permettent de dresser une typologie des différents modèles économiques de filières dessinés dans l'agenda de recherche du PPP :

<p><u>MEF 1</u> : bioraffinerie agro-industrielle</p> <p>Ex de firmes : SüdZucker, ARD, Solvay, Cargill, NordZucker, KLM, Novozymes</p>	<p>Augmentation des rendements agricoles (techniques de cultures, OGM...) et usage des résidus ; Intégration dans les exploitations agricoles ou lieu de stockage pour le prétraitement ; usage principal de biomasse disponible localement ; décomposition de la lignocellulose par procédés biotechnologiques ; chimie des huiles (PH2 et 3) ; biocarburants, molécules plateformes et matériaux (de faible à forte valeur ajoutée) et emballages ; unités de grande taille ; construction de nouveaux marchés et substitution terme-à-terme ; segments de filières plus ou moins intégrées</p>
<p><u>MEF 2</u> : bioraffinerie du bois</p> <p>Ex de firmes : Metsä, UPM, Borregaard, Sappi, KLM, Novozymes</p>	<p>Intensification de l'usage du bois (nouvelles essences et résidus) disponible localement ; procédés (thermo) chimiques et biotechnologiques de fractionnement du bois ; molécules chimiques, biocarburants, emballages ; positionnement amont par rapport à CV1 pour fournir des fibres pour les matériaux ;</p>
<p><u>MEF 3</u> : nouveaux produits orientés par la problématique développement durable – bioraffinerie et biocarburants non évoqués, ou de façon très mineure</p> <p>Ex de firme : Novamont, mais aussi Fertiberia, fournisseur de fertilisants pour l'agriculture n'indiquant sur son site aucune appétence pour le développement durable</p>	<p>Insiste sur l'objectif d'atteindre une haute valeur ajoutée en terme de soutenabilité, et pas seulement économique</p> <p>Logique d'économie circulaire : utilisation de résidus + Utilisation de plantes non utilisées jusqu'alors pour leur complexité capable de fournir de nouveaux matériaux, alternatifs aux produits d'origine fossile ; insistance sur les bioproduits qui pourraient être fournis en retour à l'agriculture (biocides, par ex.)</p> <p>Problématique d'écoconception et de fin de vie du produit présente</p>
<p><u>MEF 4</u> : bioraffinerie des déchets</p> <p>Ex de firme : Novozymes</p>	<p>Collecte et tri des déchets (organiques ou de l'exploitation de bois comme les écorces) ; <i>process</i> biotechnologiques et thermochimiques ; vision exclusivement technologique dédiée à la production de biocarburants ; assure la cohérence avec le schéma d'ensemble en économie circulaire</p>
<p><u>MEF 5</u> : ajout de <i>process</i> de production de matériaux dans des unités existantes dédiées à l'énergie</p>	<p>Prétraitement dans les exploitations agricoles ou lieu de stockage ; orientation des procédés thermochimiques vers la production de molécules chimiques (aromatiques notamment), avec la lignine par exemple avant de produire de l'énergie ; utilisation des cendres résiduelles ; procédés essentiellement thermochimiques, voire biotechnologiques</p>

Figure 94 : Les cinq modèles économiques de filières portés par le PPP (d'après SIRA, 2013)

Ce tableau synthétique nous permet de disposer d'une représentation synthétique des cinq grands modèles économiques de filières (MEF) que construit le PPP BBI. La colonne de droite reprend à la fois les descriptifs des démonstrations attendues pour chacun des modèles économiques, mais met également en cohérence ces demandes avec les champs de recherche qui sont ouverts pour chacun des modèles. La colonne de gauche rappelle des exemples de firmes impliquées dans les MEF sur la base des patrimoines productifs collectifs décrits par Nieddu *et alii* (2014).

Dans le MEF 1, il s'agit clairement de la bioraffinerie telle qu'elle peut être définie au sein du pôle IAR : un modèle de bioraffinerie fondée sur l'utilisation des ressources locales, collectées par les coopératives agricoles régionales, mais qui, pour permettre d'augmenter les quantités produites, ont besoin d'augmenter le rayon de collecte et donc de diminuer le poids des matières premières agricoles, d'où les demandes de recherche sur la déshydratation.

Le MEF 2 correspond à la bioraffinerie du bois et marque l'offensive des papetiers que nous avons soulignée dans la sous-section précédente. Dans ce cas, il s'agit de maintenir des techniques à la fois biotechnologiques et thermochimiques (le procédé Fischer-Tropsch) que maîtrisent les industries du bois et de la pâte à papier. L'introduction de la problématique de récupération des déchets fait référence à un débat sur la disponibilité de la lignine comme co-produit de la production de papier, qui sert parfois de référence comme produit entièrement biosourcé. Actuellement, et c'est l'objet d'affrontements entre l'industrie de la pâte à papier et l'industrie du bois, les principaux fournisseurs de lignine sont les producteurs de papier alors que les producteurs de bois cherchent à descendre vers l'aval des filières en effectuant une première transformation du bois. Or, comme nous l'a montré le cas de CIMV, les producteurs de lignine ont besoin de faire la démonstration de l'efficacité de leurs produits et peuvent être contraints à descendre également vers l'aval des filières.

Le MEF 3 est essentiellement porté par Novamont dans sa stratégie de problématisation de l'industrie comme une bioraffinerie sans biocarburants, autour de produits sur des segments de filières plus longs que ceux de la production de lignine pour les biocarburants ou des molécules plateformes par exemple. Dans ce cas, il semble que la référence à l'usage de plantes non encore utilisées a été un résultat de l'intense activité de Novamont dans la définition du PPP pour obtenir un financement pour le démarrage de son unité de production en Sardaigne à partir de chardons. Novamont développe un discours autour de cette matière depuis plusieurs années avec l'idée que son exploitation ne bouleverse par l'agriculture locale et qu'elle permet de réindustrialiser un territoire en rachetant, en *joint-venture* avec Versalis, une ancienne usine d'éthylène située à Porto Torres. D'après les informations que nous avons pu recoupées durant nos entretiens, les huiles obtenues par le traitement du chardon, en réaction avec le 1.4 BDO que Novamont travaille pourrait permettre d'obtenir d'autres types de plastiques que ceux qu'elle produit déjà.

Le MEF 4 s'inscrit dans le prolongement de la volonté européenne, également inscrite dans les diverses feuilles de route nationales, de revaloriser les déchets organiques issus des déchets ménagers. Le membre d'Europabio avec qui nous avons échangé nous a confirmé que c'est une « *concession que les acteurs privés ont faits à la Commission européenne* ». Autrement dit, les acteurs n'ont pas eu le choix d'intégrer cette dimension pour obtenir les financements européens. Par exemple, Novozymes offre des enzymes capables de purifier l'eau, et donc de récupérer les déchets qui peuvent ensuite être retransformés.

Enfin, le MEF 5 est un segment de filière qui vise à transformer les unités de production d'énergie biosourcée (de chauffage par exemple) en petites unités de raffinage pour la production de biocarburants, par voie thermochimique. Dans celui-ci, assez peu d'éléments sont avancés sur l'origine des matières premières, etc., si ce n'est qu'elles devraient être déshydratées avant d'arriver sur la raffinerie, cela pourrait donc correspondre à deux types d'unités de production déjà existantes. D'une part, il pourrait s'agir de convertir des unités de production d'énergie (de chaleur par exemple) qui peuvent être installées dans des zones rurales pour les dédiées à la production de biocarburants – avec

le problème bien connu de la rentabilité de ces productions. D'autre part, il pourrait également s'agir de convertir des unités de raffinerie existantes (comme sur le port de Ghent) en unités de production de biocarburants, dans lesquelles les matières premières seraient importées et transformées (ou brûlées par procédés thermochimiques) et le choix de ces matières premières se ferait en fonction des cours mondiaux de l'agriculture.

Dès le début du projet ont été prévus les fonds alloués à chacun des MEF :

	Fonds pour les projets de démonstration (en millions d'euros)	Projet <i>flagship</i> (en millions d'euros)	Total (en millions d'euros)
<b>MEF 1</b>	292.5	1313	1605
<b>MEF 2</b>	142.5	281.4	423.9
<b>MEF 3</b>	150	234.5	384.5
<b>MEF 4</b>	112.5	351.8	464.3
<b>MEF 5</b>	52.5	164.2	216.7

Figure 95 : Fonds prévus pour chacun des MEF (d'après SIRA, 2013)

Les financements annoncés placent très clairement le MEF 1 (celui des agro-industries) en situation dominante avec 1,6 milliards d'euros, soit près de la moitié des financements prévus. Hors du MEF 5, dont le statut, comme nous l'avons rappelé plus haut, est instable, les MEF 3 et 4 qui sont soutenus à parts plus ou moins égales : cela montre bien qu'il se développe au niveau européen des filières qui ne sont pas fondées sur la production de biocarburants, et même qui la refusent. Ainsi, Novamont a obtenu, lors du premier appel à projets, environ 25 millions d'euros pour le projet FIRST2RUN (projet *flagship*) pour le développement de son usine dédiée au traitement du chardon en Sardaigne.

Les deux projets de démonstration qui ont été financés sont portés par UPM (avec 18 millions d'euros) et la coopérative néerlandaise Cosun (environ 11 millions d'euros). Le premier projet vise à implanter dans des unités de production finlandaises les procédés de transformation du bois en lignine et sa valorisation en biocarburants (avec le procédé du suédois Sekkab) et en 1.2 propanediol avec le procédé de Metabolic Explorer. Le second projet vise à poursuivre le développement de plastiques biosourcés pour l'emballage à partir de sucres de betterave dont les premières pistes ont été lancées à l'université de Wageningen avec Cosun, mais également Refresco, qui sont membres du projet. Enfin, cinq projets de recherche et développement ont été financés (chacun entre deux et trois millions d'euros) dont deux portent sur la production d'engrais ou la fertilisation et les trois autres sur l'usage de la lignine.

#### 2.1.2.4. Les modèles économiques de filières comme de nouveaux compromis localisés

La stratégie de l'Union européenne passe depuis le début des années 2000 par le financement de projets de recherche visant à orienter les travaux des scientifiques vers les besoins des firmes.

Par exemple, lors d'un échange avec le directeur général d'ARD à propos des financements dans le PPP, celui-ci nous a exprimé sa déception quant aux financements. Lors d'une journée d'inauguration organisée par la firme en mai 2015, celle-ci tentait de prendre position, notamment en tant que plateforme d'innovation ouverte détenant un démonstrateur industriel, comme la plateforme de démonstration pour le PPP. Or les résultats des projets financés montrent qu'ARD n'a pas été sélectionnée et qu'il existe également une concurrence entre *clusters*.

La stratégie des acteurs et celle à laquelle incite l'Union européenne conduit à constituer ce que nous avons qualifié de « modèles économiques de filières ». L'apport de l'approche en termes de modèles économiques de filières est précisément de montrer que les firmes construisent dans ces arènes des compromis centrés sur l'appropriation par un acteur dominant d'un segment de filière qu'il peut dominer. Les compromis identifiés articulent bien matières premières/procédés/produits dans des configurations différentes. Les politiques nationales sur la bioéconomie forment des compromis plus larges, dans le cas traité dans cette section, il s'agit de compromis localisés aux voisinages de filières ou de segments existants. La logique de qualification repose ici sur l'identification des matières premières/procédés/produits exposés comme pertinents à partir de dispositifs institutionnels de validation économique du choix. Par exemple, quand Arkema développe un discours sur la distinction CAPEX/OPEX, il s'agit bien de mettre au point un modèle d'évaluation économique. Il n'est pas question de l'évaluation stricte d'un projet d'unité de production dont il n'est pas fait mention, mais plutôt d'un « projet productif ».

## 2.2. L'identité des produits dans la commercialisation

Les enseignements de l'observation d'une journée sur la certification des produits biosourcés dans la filière des peintures

En avril 2013, lors d'une journée technique de l'Association Française des Techniciens des Peintures, Vernis, Encres d'imprimerie, Colles et Adhésifs (AFTPVA) qui regroupait l'ensemble des acteurs de la filière des peintures et résines a été discutée la question des produits biosourcés et de leur identité. Dans un premier temps, des industriels sont venus présenter leur offre d'additifs biosourcés pour peinture avec l'argument que l'usage de ces produits permet de verdir facilement les peintures.

Le second argument était que ces additifs, « non parce qu'ils étaient biosourcés » disent les acteurs pour en renforcer la crédibilité, mais du fait de leurs propriétés intrinsèques, avait de faibles émissions de COV, ce qui est fondamental dans la production de peintures. Dans ce cas, la fonctionnalité du produit est articulée à l'identité du produit proposé pour être biosourcé. Dans un second temps, la table ronde « Peintures biosourcées et normalisation » a été le terrain d'affrontement entre Ecocert et l'ACDV pour la proposition d'une norme. La première a mis en avant, en tant qu'organisme certificateur, son expérience dans le développement de normes et sa disponibilité pour développer une norme spécifique pour les peintures. L'ACDV a quant à elle tenue

une position inverse en proposant d'intégrer les peintures dans sa norme en cours de développement portant sur le contenu biosourcé des produits. Le responsable de l'AFTPVA qui participait à la table ronde exprima alors deux réserves. La première est d'ordre technique : la peinture étant liquide, le *process* de certification proposé ne pouvait être adapté à tel produit. La seconde réserve portait sur la question de l'image des produits biosourcés. En effet, l'intervenant affirmait qu'il était nécessaire que la filière maîtrise la communication autour de l'origine biosourcée (ou partiellement biosourcée) des produits afin de ne pas subir la même controverse que les biocarburants.

Ce cas de discours autour de l'identité des produits biosourcés soulève un certain nombre de questions. La première question est celle de la production de produits biosourcés. Lors du débat, il avait été souligné que l'usage d'additifs n'était pas nécessaire, car l'élément essentiel de la peinture, la résine, pouvait être biosourcée tout comme le solvant utilisé. La seconde question est celle de l'évaluation et de la communication sur le produit. Il semblerait que la technique d'évaluation puisse être liée soit à la forme « chimique » du produit soit à son mode de production. La dernière question qui émerge était de déterminer s'il faut développer une norme par filières ou au contraire, développer une « norme transversale ».

Des questions que l'on retrouve ailleurs

Alors que la journée que nous venons de relater pourrait être considérée comme un cas particulier, il s'avère que les questions posées sont transversales et ont été formalisées par les acteurs. Par exemple, la Commission Européenne a institué la *Lead Market Initiative* entre 2008 et 2011 afin d'identifier les outils permettant d'organiser la demande. Le résultat principal de ce groupe de travail a été de produire un rapport intitulé « *Taking Biobased from Promise to Market* » listant une série de mesures à adopter. Il s'agit bien ici d'un travail de structuration de la demande par les industries, au sens où ce sont les industriels qui se sont regroupés afin de définir comment leurs actions devraient être soutenues, et comment les produits devraient être offerts. Pour « passer de la promesse aux marchés », il a été recommandé d'instaurer des objectifs de production de produits biosourcés, de développer des législations spécifiques sur les produits, de soutenir les programmes d'achats publics, de développer des labels et certifications et de soutenir le financement de la recherche. Ce que dit ce rapport, c'est que « les législations doivent dépendre de la forme des industries ». Ce type de travail s'est poursuivi avec la mise en place d'un groupe d'experts qui a rendu ses recommandations en avril 2016, reprenant les mêmes conclusions.

Nous avons analysé précédemment les politiques nationales à travers la publication des feuilles de route, puis comment les acteurs développent des modèles de filières à partir de leurs patrimoines productifs dans la deuxième section. Il s'agit donc désormais de traiter de la question de la définition des produits à partir des normes et des labels sur le biosourcé.

Dans un premier temps, nous montrons, à partir de l'observation de colloques de politique industrielle, comment est prise en charge la question de l'identité des produits par les acteurs. Dans un second temps, nous explorons la diversité des normes utilisées et montrons comment celles-ci sont reliées aux modèles économiques des firmes.

### 2.2.1. Les affrontements autour des « logiques produits » dans les colloques de politique industrielle

On s'appuiera ici sur l'observation de deux colloques. En décembre 2012 a été organisé, par les Ministères de l'Agriculture et de l'Économie et des Finances, un colloque de politique industrielle rassemblant des acteurs des agro-industries et représentants des coopératives agricoles, ainsi que de la chimie industrielle. En février 2014, le colloque dédié à la restitution de projets européens (Eurobioref, Biocore et Suprabio) portait en réalité sur la question de la coordination en filières comme nous l'avons montré dans la partie précédente

#### 2.2.1.1. La bataille des problématisations

Pour illustrer l'ampleur des confrontations, lors de son intervention à Eurobioref 2014, la firme Avantium expliquait être à même de produire du « PEF », c'est-à-dire une molécule biosourcée identique au PET d'origine fossile utilisé dans les emballages, mais comme le précisait l'intervenant « *just a lot greener* » (Ed de Jong, vice-président d'Avantium). La firme s'inscrit dans la logique de substitution terme à terme bien mise en évidence par les résultats de l'ANR AEPRC2V. Or, lors du colloque CGAAER 2012, Roquette, une des plus importantes firmes de production et transformation de produits semi-finis à base d'amidons modifiés, a exprimé de fortes réserves quant à la pertinence économique et environnementale de la voie de transformation de l'éthanol en éthylène (suivie par des firmes comme Avantium) afin de produire un équivalent biosourcé du PET.

En offrant une gamme d'amidons modifiés adaptables en fonction des besoins de ses clients, Roquette disposait de longue date de patrimoines de connaissances et de production qui la différenciait du modèle de division du travail porté par une substitution terme à terme du nombre limité des molécules plateformes de la chimie pétrosourcée. Les logiques de ces firmes sont ancrées dans des patrimoines productifs différents (Avantium est un spin off de Shell, alors que Roquette est une entreprise familiale devenue un des *leaders* mondiaux du traitement de l'amidon). Les formes de division du travail qui y sont associées sont différentes. Avantium se tourne vers, comme en témoignent ses accords de codéveloppement avec Coca-Cola ou Danone, des firmes fortement consommatrices d'emballages plastiques et attentives au durcissement des réglementations sur ceux-ci, qu'elles souhaitent combattre en verdissant leurs produits.

#### 2.2.1.2. ... qui renvoie au problème de désigner ce qui est produit

La problématisation de l'industrie portée par les deux firmes est orthogonale si l'on observe leurs « stratégies produit ». Avantium affirme que l'avenir de l'industrie se trouve dans ces marchés potentiels de 18 millions de tonnes par ans dans les bouteilles, 42 millions dans les fibres et 5 millions de tonnes par an dans les films. De ce fait, Avantium affirme s'inscrire dans une logique de produits de commodités, c'est-à-dire des molécules produites en grande quantité à faible valeur ajoutée. Roquette s'inscrit dans une conception de l'industrie fondée sur un modèle de « *captation de la valeur ajoutée* » (M. Roquette, colloque CGAAER 2012) par des « *tailor made products to market* »<sup>163</sup>.

Lors du colloque Eurobioref 2014, Arkema défendait l'idée qu'« *il est plus rentable de produire des molécules à haute valeur ajoutée* » que des grandes quantités de produits chimiques de

---

<sup>163</sup><http://www.gaiالene.com/biochemical-industry-bioplastics-plant-based-resin/>, consultée le 17/04/2014

commodités en raison d'un moindre investissement en capital. Il faut se souvenir que, comme nous l'a confirmé J.-L. Couturier (responsable recherche chez Arkema) durant notre échange à Bruxelles (et ainsi que le déclarait publiquement le représentant d'Arkema au CGAAER 2012), Arkema produit depuis les années 60 du Rilsan (un polyamide 11). L'origine végétale du produit avait été « cachée » (responsable France d'Arkema, CGAAER 2012) à leurs clients afin de ne pas donner l'impression que le produit était de mauvaise qualité. Observant le développement de la chimie du végétal, les services de marketing de l'entreprise ont été mobilisés afin d'en faire un avantage concurrentiel. En procédant ainsi, la firme travaille l'identité de son produit de façon à le situer dans l'industrie en émergence. Si Arkema tient un discours de maîtrise de la filière des polyamides, la firme a eu besoin d'« *une stratégie de gestion active du projet Eurobioref* » (J.-L. Couturier, Eurobioref 2014, nos entretiens) dont le rapport final propose, sur cinq « modèles de chaînes de valeurs », deux qui sont dédiées à la production de polyamides.

Dans le cas du projet Biocore, celui-ci était centré sur les procédés de la firme CIMV spécialisée dans la déconstruction de la lignine. Un des membres du projet déclarait avec humour que le but du projet était de « *refute the adage 'you can make everything with lignin except money'* » (Rettenmaier, 2014). La vision proposée dans ce projet repose sur des filières plus courtes que celles proposées par Eurobioref. À notre question concernant la différence fondamentale entre ces projets, un responsable du pôle de compétitivité champardennais Industries Agro-Ressources a reconnu qu'il existe « *une concurrence entre ces deux projets sur les concepts* ».

La confrontation des agro-industries et de l'industrie de la chimie (de spécialité ou papetière) porte donc sur la forme des produits à développer et donc, l'organisation des filières. L'inversion du rapport dans la division du travail est donc un élément problématique de la transition. L'industrie de la chimie de spécialité tente de maintenir sa domination sur certains segments de filières qu'elle peut contrôler alors que des firmes de l'agroalimentaire viennent les concurrencer directement en produisant des plastiques biosourcés par exemple. Roquette développe une approche des produits biosourcés qui lui permette de valoriser ses matières premières (l'amidon) sur la base de transformations limitées qu'elle maîtrise entrant alors directement en concurrence avec des producteurs de matières plastiques d'origine fossile.

On a donc bien un affrontement très fort sur ce que devrait être la forme des chaînes de valeur et l'identité des produits intermédiaires proposés. Avantium porte un projet dans lequel il s'agit avant tout de préserver la durabilité de la chimie traditionnelle (en fait la forme des filières de l'industrie chimique traditionnelle par la substitution terme à terme de molécules d'origine fossile). Elle instrumentalise le développement durable, à travers l'idée que ses produits présentent de meilleures performances environnementales que les produits fossiles. Alors que Roquette travaille à produire la recherche permettant de préserver les filières amidonnées qu'elle a construites et les réinsérer dans le nouvel univers de la bioéconomie – le discours de *greenwashing* est nettement moins présent, mais cela veut-il dire pour autant que cette firme est moins verte ?

## 2.2.2. Institutionnaliser des normes pour définir les produits biosourcés : l'identité des produits comme outil de construction de marché

Dans le problème de définition des produits, il se trouve celui du type de substitution (terme-à-terme vs. Nouvelles fonctionnalités) qui est travaillé par les acteurs. Cependant, les acteurs s'affrontent également autour de la définition des normes techniques.

### 2.2.2.1. La problématisation des normes

Dans le débat européen, il est régulièrement fait mention du programme américain sur les produits biosourcés. Il ressort de l'analyse du programme *Biopreferred* que la question de la définition des produits est à la fois prise en charge par les pouvoirs publics, mais que le choix de la norme de certification utilisée n'est pas neutre. Le choix de la norme ASTM D6866 par les pouvoirs publics américains fait débat sur les implications en termes de modes de production. De ce point de vue, le cas européen, car la question de la normalisation est actuellement un champ d'investigation par les acteurs pour définir l'identité des produits et n'est pas encore stabilisée par un compromis comme le label *Biopreferred*. Au contraire, le cas américain sert de base pour le débat autour du type de normalisation.

#### 2.2.2.1.1. Le programme *Biopreferred* américain

Le programme *Biopreferred* a été créé dans le cadre du *2002 Farm Bill*. L'objet du *Farm Bill* a essentiellement consisté en l'institution de subventions massives à l'agriculture américaine, notamment sur le blé. Ce programme a été confirmé en 2014 dans un nouveau *Farm Bill*. Le programme s'appuie sur deux piliers. D'une part, l'administration américaine favorise l'achat de produits biosourcés à partir des catégories de produits établies et d'autre part, les firmes mènent une démarche volontaire de labellisation. Pour appartenir à la liste, des seuils de contenu biosourcé ont été fixés. Par exemple, les additifs de carburants doivent être à au moins 92 % biosourcés ou les huiles pour moteur à deux temps à 34 %. En dehors des catégories dont le contenu biosourcé minimum est déjà défini, le contenu biosourcé minimum est de 25 %. Pour pouvoir être certifié, un produit « *had to be new and emerging* » (Buckhalt, 2014) afin d'inciter au développement de nouveaux produits biosourcés et éviter d'attribuer un label à des produits déjà commercialisés.

La méthode choisie par le gouvernement américain est la norme ASTM D6866 qui effectue le *ratio* entre le contenu en carbone d'origine végétal, mesuré grâce au carbone 14, et le contenu total en carbone. Cette méthode s'inscrit donc avant tout dans une démarche de substitution terme-à-terme au sens où les produits sont réduits à leur teneur en carbone, alors que les productions d'origine végétale sont riches en eau par exemple, alors que ce n'est pas le cas des produits d'origine fossile.

Malgré l'existence de ce programme, la politique américaine sur le développement des produits biosourcés est critiquée par Kozak (2015) pour son manque d'ambition. L'auteur explique qu'il n'existe pas véritablement de politiques américaines visant à soutenir le développement des produits biosourcés, car celle-ci est développée dans le cadre des *Farm Bill* et qu'il n'y a pas d'objectifs chiffrés ni de réelles contraintes pour les achats réalisés par les diverses administrations. La première explication avancée par l'auteur est que les « industries des produits biosourcés » est de trop petite taille par rapport à la pétrochimie qui peut imposer ses vues grâce au financement des campagnes électorales américaines. À titre d'exemple, l'auteur écrit que c'est l'adoption d'une législation sur

l'émission de méthyl *tert*-butyl éther dans les carburants en plus d'un soutien public à l'éthanol qui a permis d'en étendre l'utilisation aux États-Unis.

L'institut Sustainable Biomaterials Collaborative (SBC) critique lui directement le standard adopté dans le programme *Biopreferred*. La critique part de l'idée que « not all biobased products are created equal » (Platt, 2011). C'est-à-dire qu'un produit biosourcé n'est pas forcément biodégradable, peut être produit à partir d'OGM, par l'utilisation intensive de pesticides, etc. Or la norme ASTM D6866 gomme toutes ces différences en ne présentant que le contenu biosourcé et aura pour conséquence de « flouer » le consommateur en valorisant pas suffisamment des produits soutenables. L'institut propose donc une norme alternative qui vise à prendre en compte la production des matières premières (sans OGM ni pesticides, protection des sols et des travailleurs, etc.), le *process* de production (diminution de la consommation d'énergie, produits recyclables, éviter les mélanges toxiques, etc.) et la fin de vie (recyclage ou dégradation, usage des labels pertinents). La solution adoptée pour le label (*Working Landscape Certificate*, WSL) est de fournir une gradation sur les produits (bronze/argent/or) et déclinée en fonction des types de produits. La certification part donc à la fois des usages des produits, mais également des labels obtenus pour accorder la sienne. Sur le cas de la vaisselle plastique, il est attendu qu'elle puisse être biodégradable ou recyclable, qu'elle dispose des labels « *Ok compost* » de Vinçotte ou encore la norme européenne sur la dégradation, mais également que le contenu biosourcé soit supérieur à 90 %, qu'il n'y ait pas d'OGM, etc.

#### 2.2.2.1.2. La réflexion sur les normes en Europe

##### 2.2.2.1.2.1. Le problème de définition des produits biosourcés

Alors que l'Union européenne commençait à lancer ses programmes visant 2020, la question du soutien public aux biocarburants s'est posée. Lors du colloque Eurobioref 2014 à Bruxelles, les représentants de la Commission européenne ont fait état du fait que la Commission ne souhaitait plus soutenir la production de biocarburants à partir de biomasse utilisable dans l'alimentation. Pourtant, Carus *et alii* (2015) soutiennent l'idée que la directive « Renewable Energy Directive » (RED), par les subventions et exonérations accordées, oriente les investissements vers les biocarburants et non vers les produits biosourcés. Dans ce cas, les biocarburants ne sont pas considérés comme un « produit biosourcé » (au sens d'un plastique, d'un intermédiaire chimique, de fibres, etc.), mais comme relevant du champ de l'énergie et le soutien aux biocarburants comme une concurrence entre matériaux et énergie.

Dans ce contexte, la Commission européenne a défini, par l'intermédiaire d'un comité technique européen, un produit biosourcé comme suit : « *this standard defines a bio-based product as a product which is « wholly or partly derived from biomass. (...) The bio-based product is normally characterized by the bio-based carbon content or the bio-based content.* » (Carus *et alii*, 2015, p.5). La définition produite par la Commission européenne et reprise par les auteurs montre qu'un produit biosourcé est défini par une norme technique, et qu'il existe deux normes. D'une part, le produit peut être défini par son contenu en carbone biosourcé et d'autre part, il peut être défini par son contenu en matière biosourcée. Or ce débat est fondamental, car les politiques de transition fonctionnent par l'édition de quotas qui participent à créer de la demande.

#### 2.2.2.1.2.2. La construction de compromis au niveau européen

Pour faire face à ce problème, plusieurs mesures ont été prises. La première a été de lancer deux projets de recherche (KBBPPS et Open-Bio) visant à construire un compromis sur les standards d'évaluation du contenu biosourcé des produits. Le premier projet, Knowledge Based Bio-based Products' Pre-Standardization (KBBPS), avait pour but de dresser un inventaire des méthodologies (en termes techniques) sur l'évaluation du contenu afin d'alimenter les travaux du comité technique (CEN) sur la normalisation. Ce projet était dirigé par NEN, l'institut néerlandais de standardisation. Dans celui-ci, la totalité des membres, à l'exception notable de Novamont, est soit un institut de normalisation ou un organisme de recherche.

Le second projet, Open-Bio, était plus large et ne visait pas que la normalisation. Il s'agissait de développer des « *market pulls* » notamment en développant des outils de communication sur les produits biosourcés. Pour cela, une étude a été menée afin de déterminer quelles sont les fonctionnalités sur lesquelles il pourrait être important de communiquer (cf. figure suivante). Cette étude montre que les acteurs estiment que ce qui compte, c'est de pouvoir certifier l'origine renouvelable des matières premières, ainsi que les fonctionnalités additives qui vont toucher le consommateur final (principalement biodégradables ou recyclable), les émissions de CO<sub>2</sub> et le type de matières premières utilisé. On a donc bien à travers la certification, la recherche par les acteurs du développement de l'identité de leurs produits.

Des participants au projet, notamment chargé d'organiser la rédaction des comptes-rendus de réunion ou des rapports, nous ont expliqué que le projet était un lieu d'affrontements entre plusieurs groupes d'acteurs. Un premier groupe d'acteurs, essentiellement partisan de la production de biocarburants, a cherché à imposer la norme ASTM D6866 d'évaluation du contenu en carbone d'origine renouvelable. Un deuxième groupe, rassemblant plutôt des agro-industriels (comme Roquette et l'ACDV) ou Novamont, ont défendu l'idée que le contenu en biomasse ne pouvait se résumer au seul carbone, au risque de négliger l'hydrogène ou l'oxygène présents dans la biomasse. Le troisième type d'acteur est BASF qui a développé son propre label qui établit une moyenne de présence de biomasse sur l'ensemble d'un cycle de production. Le compromis qui a émergé, d'après les entretiens menés et les rapports auxquels nous avons eu accès, est que le contenu en biomasse peut être évalué soit par la présence de carbone soit par *biobased content*, et que le contenu soit évalué par intervalle. La consultation du guide de certification établi par l'ACDV permet d'établir qu'il s'agit d'une victoire pour ses membres étant donné qu'en 2013 l'organisation faisait la proposition d'une méthode de ce type (ACDV, 2013). Le résultat du projet a permis à NEN de proposer de certifier des produits selon le standard européen qui a été adopté fin 2015.

Le dernier objectif du projet est d'établir une liste, similaire à celle de Biopreferred des produits biosourcés disponibles en Europe. À l'heure actuelle, ce projet est toujours en cours et devrait être publié en fin d'année 2016. Ce projet ajoute une contrainte supplémentaire à la certification. Elle doit être « transversale », c'est-à-dire pouvoir être utilisée dans des différentes filières.

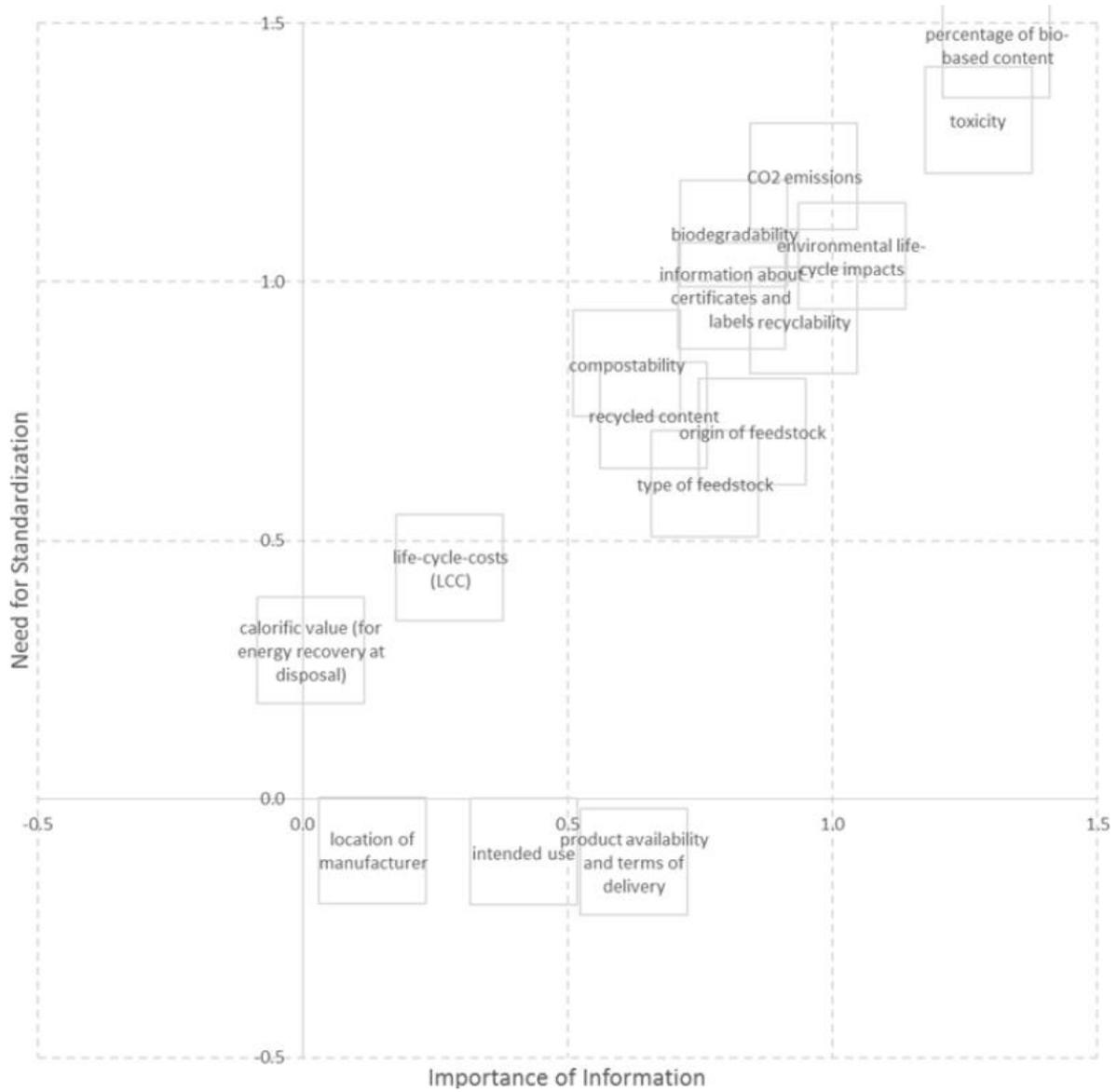


Figure 96 : Le lien entre importance de l'information et de standardisation (Behrens *et alii*, 2014, p. 17)

## 2.2.2.2. Les stratégies de labellisation à partir d'un champ de produits

La seconde question est donc de déterminer ce qui guide le choix des normes. Pour répondre à ces deux questions, nous exposons le débat européen sur les normes sur les produits (2.2.2.2.1.), puis, à partir d'un champ de labels, nous montrons comment sont articulés produits et normes (2.2.2.2.2.).

### 2.2.2.2.1. Les principales normes dans le champ des produits biosourcés à partir de l'agrobiobase

Le premier est celle du choix de la norme : faut-il que ce soit une norme pour l'ensemble des produits ou faut-il qu'il existe (comme c'est le cas aujourd'hui) une variété de normes (pouvant éventuellement être évaluée par une autre norme comme la WSL) ? La position actuelle en Europe sur ce point tendrait plutôt à laisser émerger des normes privées et que ces normes subsistent et sont appliquées par les acteurs, voire jusqu'à constituer des portefeuilles de certification. Le tableau suivant résume les différentes normes que l'on peut trouver sur les produits relevant du champ de la bioéconomie. Il a été constitué à partir de l'agrobiobase qui constitue la base de données sur les produits la plus complète à ce jour.

<b>Nom de la norme</b>	<b>Définition</b>	<b>Pdts. certifiés</b>
ACERMI	- Norme dédiée aux isolants thermiques pas spécifique au biosourcé	2
Bio-Based content indicator (ACDV)	- Norme développée par l'Association Chimie du Végétal qui regroupe >50 membres industriels  - N'évalue pas le contenu en carbone ( <i>biobased carbon content</i> ), mais en biomasse ( <i>biobased content</i> ) considérant que le seul carbone biosourcé n'est pas suffisant pour évaluer le contenu biosourcé : prise en compte de l'oxygène, nitrogène, hydrogène et autres (permet de prendre en compte <i>in fine</i> la présence de lipides, protéines et carbohydrates)	8
Biobased (DIN CERTCO)	- Évaluation du contenu en carbone et en matières organiques à partir des normes ASTM pour les matières plastiques	1
BioPreferred label	- Norme ASTM D6866  - Enregistrement sur la liste <i>BioPreferred</i>	8
Biodegradable Products Institute (BPI)	- Inscription dans une liste de produits biodégradables  - Produits doivent disposer de la norme ASTM D6400 ou D6868	8
Cosmos	- Dédié aux cosmétiques  - Évaluation de l'utilisation de l'eau, origines des ingrédients (pas d'OGM, pas d'espèces menacées d'extinction, etc.), mise en avant de procédés de chimie verte, ajouts d'ingrédients limité.	1
Ecocert	- Cosmétiques écologiques et biologiques	33

Ecodétergent (Ecocert)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation des détergents par Ecocert</li> <li>- Maximum 5 % d'ingrédients de synthèse et produits potentiellement dangereux interdits ; si possible produits d'origine naturelle</li> <li>- Existe une norme supérieure avec 95 % des ingrédients d'origine naturelle, minimum 10 % d'origine bio.</li> </ul>	8
Ecolabel (Commission européenne)	- Label européen développé par des groupes d'expert (les fameux <i>Expert Groups</i> monté par la Commission Européenne qui regroupent les représentants des industries)	14
European Flax (CELC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Label européen sur les fibres de lin</li> <li>- Concerne la production : pas d'irrigation, pas d'OGM, pas de déchets</li> <li>- Pas de mélanges autorisés</li> </ul>	6
FDES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certification pour les produits du bâtiment</li> <li>- Label français</li> </ul>	2
Home compostable (DIN CERTCO)	- Certification des produits compostables à domicile ou dans un composteur ménager	1
Industrial compostable (DIN CERTCO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une des deux (avec Ok Compost de Vincotte) pour évaluer la biodégradabilité dans des conditions industrielles</li> <li>- Peut être élargie sur des plastiques ou emballages (DIN EN 14995 : compostabilité ; ISO 17088 : caractéristiques pour les plastiques compostables ; ISO 18606 : recyclage) et sur les plastiques biodégradables (AS 4736). La certification Vincotte ne permet pas d'obtenir la dernière.</li> </ul>	2
Label Pure (Association Pure)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Label de l'association pour les peintures écologiques (PURE) pour les peintures et revêtements d'origine naturelle</li> <li>— 95 % des matières premières sont d'origine naturelle dans la formulation des peintures.</li> </ul>	2
OEKO-TEX	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Label sur le textile.</li> <li>- Certifie que le textile ne contient pas de produits toxiques pour l'environnement ou pour l'Homme.</li> </ul>	1
OK Biobased (Vincotte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure le contenu biosourcé des produits (organisme concurrent de DIN CERTCO)</li> <li>- Mesure au carbone, et attribution de certificats par tranches en fonction du contenu biosourcé (=&gt; label entre ASTM D6866 et le label de l'ACDV)</li> </ul>	6
OK Compost (Vincotte)	- Certifie la possibilité de mettre le produit dans un composteur industriel	19
OK Compost HOME (Vincotte)	- Certifie la possibilité de mettre le produit dans un composteur domestique	5

Figure 97 : Principales normes utilisées dans le champ des produits de la bioéconomie (d'après l'agrobase et notre propre veille)

Il ressort de cet inventaire qu'une partie (6/18) des normes ne concernait pas initialement l'identification des produits biosourcés. La norme la plus utilisée est la norme Ecocert qui évalue que

95 % des matières premières sont d'origine naturelle, qu'au moins 10 % des matières premières sont issues de l'agriculture biologique et qu'au maximum 5 % des composés du produit sont issus d'une liste de produits synthétiques jugés comme indispensables comme les agents conservateurs. Mais des produits comme le glycol sont interdits. Or les cosmétiques sont souvent avancés comme un des débouchés possibles pour ce produit qui est un co-produit de la production de diesel biosourcé. Concernant l'autre partie des certifications, on identifie le débat que nous avons soulevé précédemment, à savoir la méthode d'évaluation du contenu biosourcé. La norme américaine ne mesure que le contenu en carbone biosourcé, la norme de Vincotte OK Biobased a elle une position intermédiaire en ne mesurant que le contenu en carbone biosourcé, mais par tranche, et la norme de l'ACDV qui elle mesure toutes les composantes qui sont issues de la biomasse. Cette liste ne contient pas la norme de BASF qui est contestée. Celle-ci vise à établir non pas un taux par rapport au produit évalué, mais par rapport à une moyenne entre matières premières et fossiles sur l'ensemble de la chaîne de production en vue de gérer la production en fonction des matières premières.

#### 2.2.2.2.2. Former des portefeuilles de certification sur les produits ?

Dans le tableau suivant, nous reprenons les certifications sur le contenu biosourcé des produits et listons les produits labellisés qui sont référencés dans l'agrobiobase ainsi que s'ils disposent d'au moins une certification supplémentaire. Nous avons identifié 22 produits certifiés pour l'ensemble des normes parmi les 296 produits référencés.

Norme	Nb. de produits certifiés	Produits certifiés	Normes associées
Bio-Based content indicator (ACDV)	8	<u>Simulsol SL 7G :</u> - produit par Seppic - tensioactif détergent pdt. à partir d'huile de ricin et de blé	- Ecodetergent
		<u>Sepiclear G7:</u> - produit par Seppic - solubilisant pour les huiles essentielles et parfums (origine ricin et glucose)	- Ecodetergent
		<u>Nae velours :</u> - pdt. par SCSO Unikalo - Peinture de décoration à partir d'alkyde végétal	- Ecolabel
		<u>Meriplast:</u> - pdt. par Tereos - résine plastique à base de protéines de blé et biodégradable	
		<u>1.3-propanediol (PDO) :</u> - pdt. par Metabolic Explorer	

		- intermédiaire pour les polyesters de spécialité	
		<u>Polysorb (P et ID 37):</u> - pdt. par Roquette - Isosorbide (plastifiant)	
		<u>Tolonate X FLO 100:</u> - pdt. par Vencorex - isocyanate aliphatique	- Biopreferred label
Biobased (DIN CERTCO)	1	<u>Mater-Bi:</u> - pdt. par Novamont - plastique biodégradable	- BPI - Home compostable (DIN CERTCO) - Industrial Compostable (DIN CERTCO) - OK Biobased (Vincotte) - OK Compost (Vincotte) - OK Compost HOME (Vincotte) - Seedling
Biopreferred label	8	<u>1,3 Propanediol :</u> - pdt. par DuPont Tate & Lyle	- Ecocert
		<u>Sorona:</u> - pdt. par DuPont à partir du 1.3 PDO de DuPont - fibres biosourcées (37 % ; nylon)	
		<u>Terralene:</u> - pdt. par FKUR Kunststoff - polyéthylène à base de canne à sucre pour l'emballage	
		<u>Super Sap CLR:</u> - pdt. par Entropy Resins - système de laminage et de revêtement	
		<u>MinervPHA:</u> - pdt. par BIO-ON - PHA	
		<u>Plastiques Biobent</u>	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- divers polymères à base de soja, algue, colza, agave, drêches de distillerie sèches</li> </ul>	
		<u>Tolonate X FLO 100:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par Vencorex</li> <li>- isocyanate aliphatique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bio-Based content indicator (ACDV)</li> </ul>
		<u>Bio-Flex:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par FKUR Kunststoff</li> <li>- <i>compounds</i> biosourcés pour sacs plastiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BPI</li> <li>- Industrial Compostable (DIN CERTCO)</li> <li>- OK Compost (Vincotte)</li> <li>- Seedling</li> </ul>
OK Biobased	6	<u>Mater-Bi:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par Novamont</li> <li>- plastique biodégradable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BPI</li> <li>- Home compostable (DIN CERTCO)</li> <li>- Industrial Compostable (DIN CERTCO)</li> <li>- OK Biobased (Vincotte)</li> <li>- OK Compost (Vincotte)</li> <li>- OK Compost HOME (Vincotte)</li> <li>- Seedling</li> </ul>
		<u>Aonilex:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par Kaneka</li> <li>- additif pour améliorer la biodégradabilité d'un produit (PLA, PBAT, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OK Biobased (Vincotte)</li> <li>- OK Compost (Vincotte)</li> <li>- OK Compost HOME (Vincotte)</li> </ul>
		<u>Ocalio:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par Solvay</li> <li>- plastique biosourcé à base de pâte de cellulose (dérivée de pulpe de bois)</li> </ul>	
		<u>Bioplast:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par Biotec</li> <li>- résine plastique pour la production de sacs et emballages flexibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OK Compost (Vincotte)</li> </ul>
		<u>Biocérès:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pdt. par Futuramat</li> <li>- plastique pour l'horticulture à base de farine de blé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OK Compost (Vincotte)</li> </ul>

		<u>Pots horticoles :</u> - pdt. par Max Schwarz	- OK Compost (Vincotte)
--	--	--	-------------------------

Figure 98 : Les associations de labels à partir des labels sur les contenus biosourcés (réalisé par nous à partir de l'agrobiobase)

Ce tableau fait apparaître deux formes de labellisation. La première est celle de la « labellisation unique ». Dans ce cas, il s'agit essentiellement d'intermédiaires chimiques (comme le MinervPHA qui est un PHA, le Sorona de DuPont Tate & Lyle qui est un 1,3 PDO ou le Meriplast de Tereos) ou de produits amont (comme les fibres ou les systèmes de laminage). Le deuxième format de labellisation est celui de la double certification. Il s'agit essentiellement de produits proches de l'aval des filières et qui vont être utilisés soit directement, soit après la formulation par des « consommateurs non industriels ». C'est à cet endroit qu'intervient la différence entre les différents types de consommation. Lors d'échanges que nous avons menés avec des industriels ou des représentants des industries, il nous a été confirmé que ce type de labels n'était pas nécessaire pour communiquer entre industriels, voire « *ne justifiait pas un écart de prix* » pour reprendre les propos d'un des dirigeants du pôle IAR. Or l'apposition de ce type de label sur des produits de consommation permet de formuler un *green premium price* comme le montre le résultat d'une étude du nova-Institute sur la disposition à payer pour des produits bio-sourcés (cf. figure 38).

On peut noter que la disposition à payer un *green premium price* est plus élevée vers l'aval de la chaîne de valeur (au niveau des producteurs de produits) et des consommateurs finaux pour la nourriture et l'emballage. Le cas de l'emballage nous amène vers le troisième type de labellisation qui concerne essentiellement les sacs plastiques. Dans ce cas, le Mater-Bi dispose d'un grand nombre de certifications, visant à identifier le produit comme biosourcé, biodégradable, etc. On note donc une stratégie de construction de l'identité du produit à partir de ce pour quoi il devrait être utilisé. Il n'y a donc pas « collection de normes », mais une gestion par les firmes, en fonction de là où elles sont ancrées dans la chaîne de valeur de la labellisation de leurs produits.

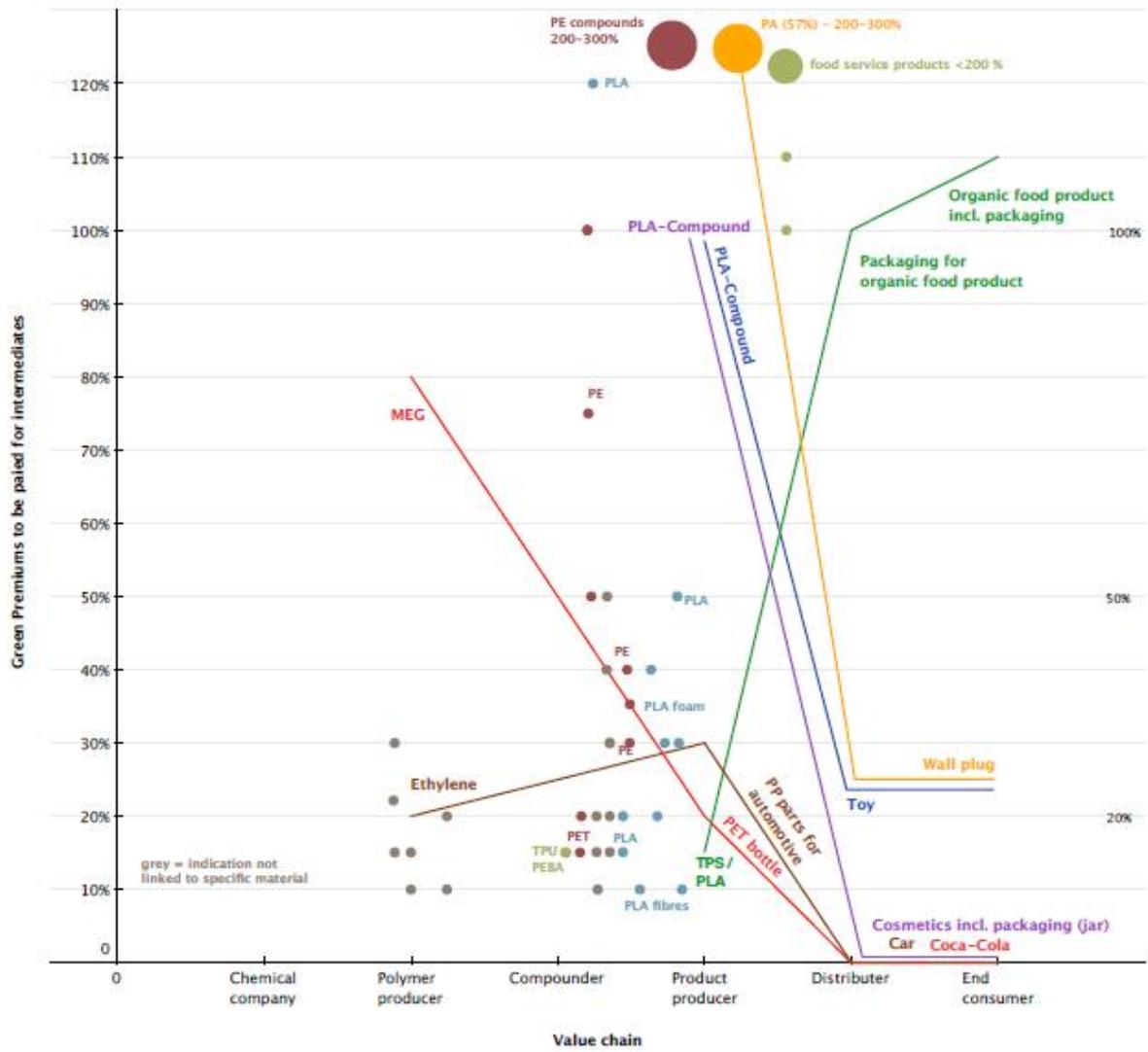


Figure 99 : La disposition à payer un green premium price en fonction de la position dans la chaîne de valeur (Dammer *et alii*, 2013, p. 49)

## Conclusion : la formation des compromis localisés comme logique de qualification d'acteurs et de dispositifs

La dynamique analysée dans ce chapitre est celle de l'exploration d'une architecture institutionnelle dans un espace fondé par un compromis institutionnalisé (Boyer, 2004). Le compromis institutionnalisé est ici celui dominé par la bioéconomie du troisième type. Elle est constituée et fait tenir ensemble la bioéconomie du premier type issu des travaux de Passet, du deuxième type qui est celle des biotechnologies et la troisième qui est celle de la bioraffinerie, contenant les deux premières.

Pour comprendre comment les acteurs prennent le contrôle de l'espace et institutionnalisent la production et la consommation, cet espace a été traité ici à partir des arènes de développement. Pour montrer comment est « peuplé » cet espace, d'objets, d'acteurs et de leur vision, il s'est agi de proposer une analyse d'une série de « technologies sociales de coordination » que nous avons identifiées à partir de la construction de la complémentarité institutionnelle de la bioéconomie. Mais l'analyse de l'institutionnalisation d'un espace de régulation ne peut se limiter à un seul inventaire des visions, mais se doit d'expliquer également comment sont sélectionnés les « habitants ». Pour ordonner cette analyse, nous avons couplé la description des « rapports en cours d'institutionnalisation<sup>164</sup> » au processus de qualification nous conduisant à analyser la formation de compromis.

### La diversité et la juxtaposition des compromis localisés

La troisième bioéconomie institutionnalise la diversité en tant que fondation et régulation du fonctionnement de l'espace (comme lorsqu'on dresse des collections pour définir une espèce) : diversité des matières premières, procédés et produits. En dernière analyse, la succession de feuilles de route (sectorielles, nationales, etc.) ou d'études de marché théorisant la variété des produits disponibles montre bien que la description de cette diversité est un outil de constitution du champ. Néanmoins cette diversité prend ici forme dans une variété, mais aussi dans une succession de compromis localisés. La variété a été décrite tout au long du chapitre : feuilles de route nationales, projets de recherche, modèles de filières, etc. Il n'est pas question de tomber dans le piège de la diversité infinie, mais de ramener la formation de ces compromis à ce qu'ils sont : des rapports de force, intrinsèquement liés à la localisation de ces compromis.

Cependant, la variété de ces compromis (exposés précédemment) ne doit pas laisser penser qu'ils sont parfaitement articulés, bien au contraire. On peut même plutôt considérer qu'il existe à la fois une juxtaposition (comme dans le cas des projets fondant le PPP Biobased Industry) « horizontale » et une superposition « verticale » (avec des grands modèles macro-sectoriels comme celui de la bioraffinerie). Dans cette architecture institutionnelle, on a donc des dispositifs partiellement reliés entre eux. Ainsi, les projets de recherche comme Eurobioref sont reliés à la fois aux modèles économiques développés qui, en quelque sorte, sont partiellement autonomes, mais aussi à la feuille de route européenne sur la bioéconomie.

Si l'on repart du schéma de l'articulation des différents « niveaux » issu du *transition management*, il est donc possible de fournir une représentation alternative à partir des résultats

---

<sup>164</sup> Tout au long du chapitre, l'expression « rapports institués » doit bien entendu être comprise ainsi.

exposés ici. La première figure est issue du courant hollandais tandis que la suivante est notre représentation.

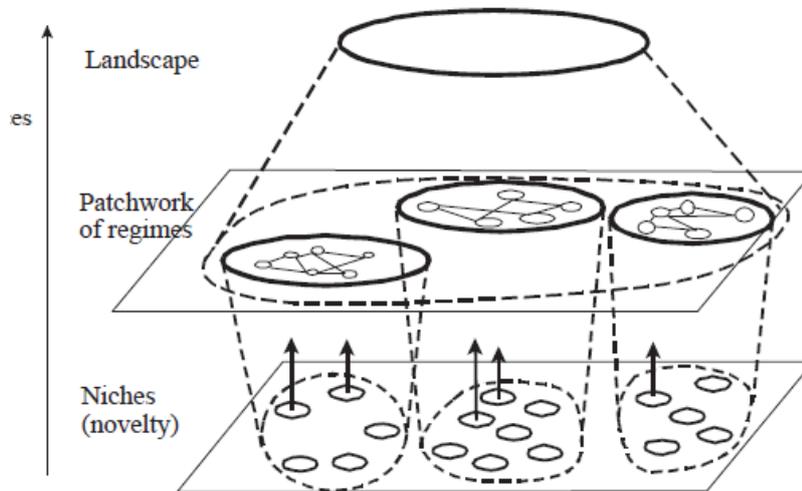


Figure 100 : La représentation des trois niveaux du transition management (d'après Geels, 2005)

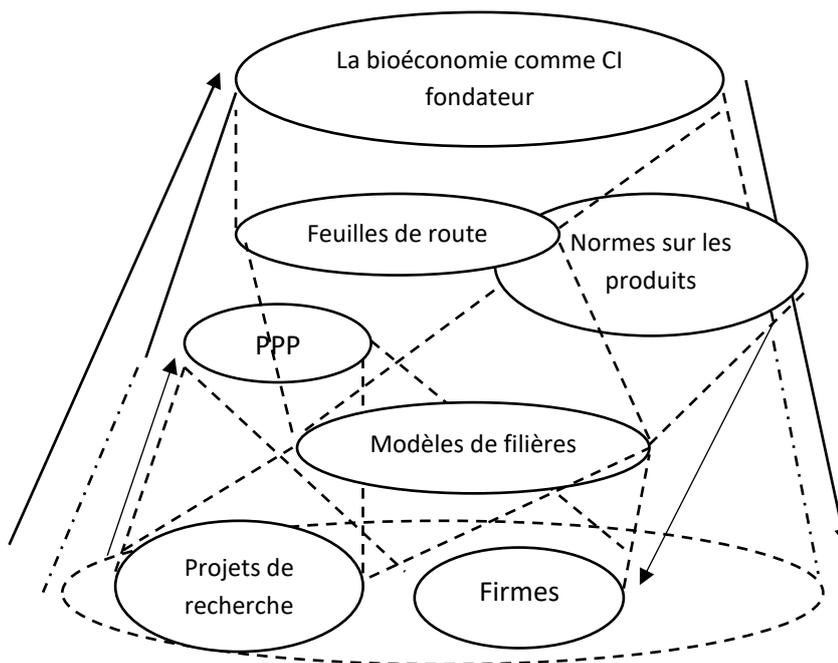


Figure 101 : Représentation schématique de la juxtaposition et de la superposition des dispositifs institutionnels de la bioéconomie

Notre représentation n'a pas le même sens que le modèle du *transition management*, mais elle vise à rendre compte du fait que les dispositifs institutionnels sont enchevêtrés et pris dans des hiérarchies complexes – et changeantes que l'on ne peut pas représenter ici. Chacun des items représente un des dispositifs étudiés. On peut voir que les feuilles de route sont partiellement reliées au PPP, tout en étant reliées à des modèles de filière existants et qu'elle fonde, elles-mêmes reliées à des firmes. Ces dernières peuvent également être partiellement reliées à des projets de recherche en

même temps qu'elles portent certaines normes. *In fine*, on peut en déduire que l'on identifie des « niveaux identiques » sur lesquels sont positionnés les dispositifs, mais une série de positionnements hétérogènes.

### La projection de dispositifs dans l'espace et le futur

La caractéristique première de ces compromis est qu'ils sont localisés. Ces « compromis locaux » sont localisés à la fois au niveau national, au niveau européen et au niveau de chaînes de valeur dont l'intégration dans la bioéconomie est projetée. Dans chacun des cas, la formation de ces compromis est appuyée sur des patrimoines productifs collectifs que l'on identifie, car les dispositifs institutionnels participent à les sélectionner. Dès lors, la problématisation du gouvernement de l'industrie (que ce soit au niveau macro-sectoriel ou des modèles économiques de filières) projette les représentations à ces niveaux dans l'espace de la bioéconomie comme des ressources cognitives.

La projection peut être séparée analytiquement. D'une part, plutôt au niveau macro-sectoriel, nous avons pu observer la formation d'un récit de la façon dont pourrait fonctionner l'espace de régulation émergent. C'est-à-dire que sont définis comment sera articulé le triptyque [matière(s) première(s)/procédé(s)/produit(s)] dans leur diversité. D'autre part, la problématisation désigne également la projection du fonctionnement de chaînes de valeur existantes (par exemple quand Arkema théorise son modèle de chaîne de valeur sur le Rilsan) ou de nouveaux modèles. Ce second type de projections est à la fois macro-sectoriel (avec l'inventaire des productions qui relèvent déjà de la bioéconomie), mais aussi à des niveaux inférieurs mésosectoriels comme la chaîne de valeurs, mais aussi microsectoriel comme les produits. Cette séparation est analytique pour deux raisons. La première est que l'on retrouve dans chacun des cas traités à la fois la projection dans le futur de ressources existantes (donc des patrimoines productifs collectifs) et la création de nouvelles ressources du moins institutionnellement, en servant de point de référence. La seconde raison est que les acteurs procèdent à cet endroit des assemblages de ces ressources en normes techniques ou sociales (au sens de Billaudot, 2010).

### L'assemblage de dispositifs institutionnels dans les projets de recherche

Les projets de recherche tels que ceux décrits dans la troisième section sont le témoin de ces assemblages. Les projets de recherche « techniques » sont utilisés pour traduire en normes sociales des normes techniques, autrement dit, traduire en normes des dispositifs matériels. En ce sens, les modèles économiques jouent comme des technologies sociales de coordination. Ces technologies servent à organiser à partir de ces ressources matérielles et immatérielles l'articulation jugée pertinente par les acteurs des matières premières/procédés/produits. Mais cet assemblage doit être jugé pertinent par les financeurs et par les consommateurs (qu'il s'agisse d'industries ou de « consommateurs finaux »).

Dans les deux cas, il s'agit bien entendu d'ériger des dispositifs évaluant le modèle économique de filières. Concernant l'évaluation par les financeurs et pour positionner l'avancement des projets, c'est la norme TRL qui est utilisée notamment pour justifier le positionnement sur des financements *flagships*. Pour évaluer la question du financement et des besoins en capitaux pour l'industrialisation du procédé, c'est la distinction CAPEX/OPEX qui est utilisée. Dans le cas du consommateur, c'est

l'utilisation de normes sur les produits qui a été choisie à la fois pour communiquer sur l'identité biosourcée du produit, mais aussi sur les fonctionnalités qu'il offre : biodégradabilité, produits moins nocifs pour l'environnement, etc. Mais y compris le cas du produit laisse apparaître la question de l'assemblage de dispositifs. En effet, la façon de déterminer le contenu biosourcé du produit renvoie à des régimes de production agricoles et des normes techniques hétérogènes. Mais l'élaboration de la norme technique européenne sur le contenu biosourcé est également le résultat d'un compromis entre des régimes de production hétérogènes. Les projets de recherche peuvent également être utilisés pour produire de la norme sociale en vue d'obtenir la production de politiques publiques favorables. Le projet Bio-TIC en est l'illustration en cherchant à défendre l'adoption de quotas d'achats de produits biosourcés, etc.

La dynamique d'assemblage de dispositifs a pour origine leur l'importation, conduisant à en produire de nouveaux. Par exemple, l'étude sur les normes sur les produits nous montre que la plupart des normes utilisées ne sont pas sur l'origine biosourcée du produit. De plus, la plupart de ces normes existaient avant la formation du champ de la bioéconomie, ou à tout le moins, en dehors ce champ. La norme comptable sur l'évaluation des besoins en capitaux comme le CAPEX a également été importée et adaptée dans le récit d'un modèle économique comme nous l'avons montré. Par conséquent, la dynamique de formation de compromis localisés est appuyée sur l'assemblage de dispositifs institutionnels structurant les relations (de production ou de consommation) dans le champ.



### PARTIE III

#### LE DEPLOIEMENT DE STRATEGIES AUTOUR DE POLYMERES CLES

*« A la surface du globe, pour la matière vivante en général, l'énergie est toujours en excès, la question toujours posée en termes de luxe, le choix est limité au mode de dilapidation des richesses. C'est à l'être vivant particulier, ou aux ensembles limités d'êtres vivants, que le problème de la nécessité se pose. » (Bataille, 1949, p.28)*

## Trois études de cas pour étudier le champ de la bioéconomie

Dans la partie précédente, nous avons montré que la bioéconomie se déploie à partir de problématiques de différents niveaux. A certains niveaux, les acteurs cherchent à dessiner des « effets de masse », où la convergence d'efforts sur une variété de matières premières et de produits conduit à la constitution d'effets d'apprentissage « sectoriels ». A d'autres niveaux, selon la place qu'ils occupent dans le champ, les acteurs cherchent à labourer les possibilités d'une molécule considérée comme intermédiaire, d'un process, ou d'une matière première. Il s'agit pour eux, de proposer de raccorder les matières premières, molécules ou process dont ils se présentent comme les champions, aux espérances technologiques du champ, et les promeuvent comme de meilleurs « performateurs » que d'autres. Ce, afin de s'assurer la domination de partie du champ nécessaire à leur existence.

On va s'appuyer ici sur les cas du PLA, de l'acide succinique et de l'acide lévulinique. En effet, depuis l'émergence de la problématique de la bioraffinerie, les débats sur la transition se sont cristallisés autour de quelques produits emblématiques qui à la fois réunissent et opposent les macro-acteurs des industries agro-alimentaires, des biotechnologies et de la chimie et des *start-ups* issus de la recherche, appartenant principalement au secteur des biotechnologies. Nous avons montré que les acteurs construisent des modèles économiques de filière autour de segments de filières qui peuvent correspondre à un *process* ou à un produit sur lesquels les acteurs cherchent à construire leur maîtrise.

Il s'agit de s'intéresser aux dynamiques de développement et de diffusion de nouveaux produits issus du végétal – ici, considérant que les discours des acteurs permettent de révéler les dynamiques économiques et participent de la construction de celles-ci, on s'appuiera essentiellement sur eux. Les trois produits retenus sont trois intermédiaires issus de cette chimie des sucres, dont les espérances de développement ont été dessinées au début des années 1980. Nous nous intéressons donc à un sous-espace particulier de la bioéconomie et de la chimie doublement verte. On souhaite montrer qu'il ne s'agit pas d'une nouveauté lorsqu'en 2004, a été publiée la fameuse liste du top 12 des produits intermédiaires, pouvant être produits à partir de sucres dans la bioraffinerie (Werpy et Petersen, 2004). Parmi ces molécules, on trouve les acide succinique (AS) et lévulinique (AL), et pas l'acide polylactique (PLA) – qui avait été retenu dans le top 30, mais ne l'est pas dans le top 12 de 2004, alors justement que celle-ci était à un stade de développement le plus avancé<sup>165</sup>.

---

<sup>165</sup> L'acide lactique revient dans le classement de 2010 de Bozell et Petersen avec ses différentes voies de valorisation, vers le PLA d'une part et vers d'autres utilisations (propylène glycol, lactate esters, acides acryliques).

Nous nous proposons dans cette partie de mobiliser une grille en termes d'économie des promesses et de cycles d'espérances et de désappointements par rapport à la technologie. Le cas du PLA a été retenu car il permet de fournir un étalon en longue période. Comme nous allons le montrer dans le premier chapitre de cette partie, son précurseur, l'acide lactique est connu depuis le 18<sup>ème</sup> siècle et utilisé depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. L'intérêt de l'histoire du développement du PLA, c'est qu'il illustre la grande transition d'une chimie du végétal à la chimie du pétrole (et retour !); il fournit donc, de par sa très longue histoire un « étalon » pour l'étude du développement de nouvelles molécules dans la transition vers la chimie du végétal. Ce cas fournit donc une perspective de longue période qui nous permettra d'éclairer les cas de l'acide succinique et de l'acide lévulinique dans le second chapitre de cette partie. L'acide succinique a d'abord essentiellement été une molécule utilisée dans la pharmacie. Depuis 2004 et le « top 12 », on assiste à l'émergence de projets de recherche et développement sur cette molécule comme celui qui avait amené Bioamber sur le site de Pomacle-Bazancourt. Les développements autour de cette molécule n'apparaissent pas comme aussi avancés que ceux autour du PLA. Mais elle présente l'intérêt d'être une molécule « à la mode » - ou dans le *hype* pour reprendre l'expression de Borup *et alii.* (2003) – et donc d'être un « cas d'école » pour saisir la construction des promesses et des filières autour de cette molécule. Enfin, l'acide lévulinique fait également partie du « top 12 » de 2004. Traité dans la littérature de façon plus marginale, il annonce tout de même des revendications importantes en termes de débouchés potentiels. Les trois produits intermédiaires ont donc comme point commun d'être salués pour leur versatilité et c'est ce qui nous intéresse ici.

Quatre questions pour structurer l'analyse de l'émergence de filières à partir de ces produits

L'analyse de la formation des filières de la chimie doublement verte doit nécessairement passer par une approche en termes de formations de promesses et de compromis (d'où notre schéma en 3 phases). L'approche part de la façon dont les acteurs réfléchissent et problématisent la forme de la filière (quelle est l'identité des produits ? quelles sont les frontières et les hybridations ?). Ils forment ainsi des mondes de production autour de ces produits, qu'ils cherchent à maintenir et développer, notamment en raison des investissements engagés.

De ce point de vue, quatre questions servent de levier à l'observation :

- 1) Quelle est la base de connaissance de la filière ou de l'industrie ?
- 2) Quelles sont les promesses et les désappointements ?
- 3) Quels sont les compromis temporaires ?
- 4) Quelles sont les hybridations entre technologies ?



## CHAPITRE 6 – LE CAS DES ACIDES POLYLACTIQUES COMME ETALON DE LONGUE PERIODE

Dans ce chapitre, avant d’aborder la formation d’une filière de l’acide polylactique (PLA), nous montrerons comment s’est formée au début du XXe siècle, une base de connaissance en fermentation sur l’acide lactique et pourquoi celle-ci s’est concentrée sur une voie de production à partir de l’amidon plutôt qu’à partir du sucre (donc à partir des acteurs de l’amidon et pas des acteurs sucriers traditionnels) (section 1).

Dans une deuxième section sera étudiée la formation de la filière du PLA. Ce polymère est une modification de l’acide lactique à destination des polymères destinés à produire des thermoplastiques. On verra que les premiers brevets sur voie biosourcée datent de fait des années 1930, ce qui ancre les plastiques biosourcés à base de PLA dans un héritage productif de longue période du type de celui que nous avons vu sur les formaldéhydes. On analysera alors les enjeux du passage du PLA d’une position de produit chimique de spécialité (à destination du médical) à produit chimique intermédiaire de commodité à gros volumes destinés à concurrencer les plastiques d’origine fossile. Nous en dégagerons trois enjeux particuliers. Nous serons alors en mesure d’analyser le positionnement des acteurs producteurs de PLA actuels (section 2).

Ceci nous permettra dans une troisième section de reprendre ces éléments dans la perspective d’étudier le cycle des espérances et des désappointements. On fera donc une première périodisation pour les années 1950 à 2015 à partir d’une base de données de revues et brevets, qui constitue une analyse de la base de connaissances. Celle-ci sera utilisée pour affiner la période 1972-2015 sous un angle particulier : les espérances autour du PLA conduisent à un premier type d’approches qui révèlent la difficulté à surmonter certaines difficultés liées aux fonctions concrètes du produit (par ex. un gobelet en PLA résistant à la chaleur pour pouvoir y verser son café). Après la promesse, viennent donc les désappointements qui conduisent à explorer des composites où les PLA apportent des fonctions chimiques spécifiques, mais où les fonctions liées aux objets matériels sont prises en charge par le second élément du composite. D’où un remaniement d’identité, où l’on passe d’un PLA de commodité à des composites fonctionnalisés (au sens économique du terme) soit à durée de vie courte (en jouant sur la biodégradabilité) soit à durée de vie plus longue et contrôlée (l’automobile). On passerait donc d’une logique des promesses (revendication du PLA à substituer tous azimuts les plastiques d’origine fossile) à une logique des apprentissages (identification de fonctionnalités économiques atteignables dans une combinatoire technologique entre PLA et d’autres matériaux). L’exemple de la dernière utilisation envisagée, celle de composites pour les imprimantes 3D, illustre l’entrée dans cette économie des apprentissages. C’est la caractéristique structurelle « gênante » (faible tenue à la chaleur) qui est utilisée comme vecteur d’une application économique.

# 1. L'acide lactique, un produit de base qui vient de loin

A l'image de la méthode utilisée dans le premier chapitre, il est nécessaire, ici, pour identifier les *guiding principles*, il est nécessaire de revenir sur le développement son précurseur, l'acide lactique. Dans un premier temps, nous montrons comment l'acide lactique est lié au développement de la fermentation industrielle, ce qui est appelé aujourd'hui les biotechnologies (1.1.). Dans un second temps, nous montrons que la question des matières premières pour le PLA remonte en réalité à une problématisation sur la production de l'acide lactique (1.2.).

## 1.1. L'acide lactique et le développement de la fermentation industrielle

### 1.1.1. La formation d'une base de connaissances spécifique à l'acide lactique

L'acide lactique a d'abord été utilisé sous la forme de lait caillé à la fin du XVIIIe siècle pour nettoyer le textile. En effet, les méthodes de fermentation étant peu développées, c'est une forme de « fermentation empirique » qui était utilisée. Face à l'important temps de séchage nécessaire, le lait caillé a été remplacé par l'acide sulfurique dans le nettoyage des tissus.

Il a été découvert en 1780 par Scheele, un chimiste suédois, qui l'a nommé *Mjölksyra*, c'est-à-dire « acide du lait ». Il fut renommé « acide lactique » par Lavoisier en 1789. Si le produit était essentiellement extrait du lait, il fut démontré en 1813 que l'on pouvait l'obtenir par fermentation du sucre de betterave. Ceci va ouvrir une voie de production d'acide lactique à partir du végétal. On retrouve ici le phénomène faisant de la chimie une discipline de recherche appliquée à la substitution d'une matière première par une autre décrit par Bensaude-Vincent et Stengers (*cf.* introduction générale). Cette recherche de substitution s'inscrit dans le contexte des guerres napoléoniennes, dont les blocus provoquèrent une pénurie de sucre et impliquèrent la diffusion des betteraves sucrières en France et en Allemagne.

L'histoire de l'acide lactique se confond d'ailleurs avec celle de la naissance de la première chimie allemande avec le chimiste Liebig. Celui-ci s'est particulièrement intéressé à la chimie des plantes et a fait la promotion de la fertilisation des sols. IL a notamment inspiré Marx dans ses réflexions sur l'exploitation capitaliste de la nature (Foster, 2000)<sup>166</sup>. La concurrence entre les Etats allemand au sein de l'Union Douanière a conduit à l'émergence des *Technische Hochschule* dédiée à la formation des ingénieurs et scientifiques pour l'industrie. Une grande partie de l'industrie chimique allemande trouve donc ses origines à cette époque autour de Liebig. Dès 1845, les recherches ont montré que si l'acide lactique était chauffé puis refroidi, il se formait une matière solide qui restait toutefois flexible : l'acide polylactique. Impossible à caractériser, car la chimie des polymères n'existait pas encore, une partie des transformations explorée aujourd'hui pour produire des plastiques à partir de PLA était donc déjà identifiée.

On note l'intérêt de cette époque pour la « *chemistry of life and the causes of fermentation* » pour reprendre l'expression de Beninga (1990). On assiste donc à la formation de la base de connaissances par les recherches sur les procédés de conservation des produits qui cherchent à

---

<sup>166</sup> Marx, dans un raisonnement que l'on pourrait qualifier aujourd'hui d'économie circulaire, considérait que l'intensification de l'agriculture nécessaire pour nourrir la population croissante des villes nécessitait l'exploitation de ressources naturelles comme le guano qui étaient utilisées comme engrais et participait des politiques impérialistes visant à l'appropriation de ressources de ce type.

mobiliser des savoir-faire traditionnels dans l'industrialisation. La fermentation était soit la première étape avant la putréfaction, soit une étape vers la conservation. L'industrie de la bière allemande va aussi par ses progrès techniques dans la modification des méthodes de fermentation des Pils, participer à l'amélioration des connaissances dans les procédés de fermentation. Ceux-ci sont la base de la production de l'acide lactique, qu'il s'agisse de l'usage du lait caillé dans le textile ou dans les découvertes de la production d'acide lactique à partir de betteraves.

Les avancées dans la recherche sur l'acide lactique ont également porté sur l'usage de levures utilisées pour la fermentation (les premières biotechnologies d'origine scientifique en quelque sorte). Leur efficacité a notamment été démontrée par Pasteur qui a également travaillé sur l'acide lactique. Ainsi, des préparations de levures permettant de produire spécifiquement de l'acide lactique ont été développées entre 1857 et 1859.

### 1.1.2. De l'alimentation aux solvants : les usages de l'acide lactique

#### 1.1.2.1. Les premiers usages industriels de l'acide lactique aux États-Unis

La première unité de production industrielle d'acide lactique fut construite selon Benninga en 1883 aux États-Unis à Littleton (dans l'État du Colorado). L'acide lactique y était produit à partir de farine de maïs pour différents types d'applications. La première utilisation était dédiée au tannage à l'image des premiers usages décrits précédemment. Le deuxième type de produit était de l'acide lactique sous forme liquide dédié au remplacement du vinaigre. Cette période de chimie « préindustrielle » est, d'un certain point de vue, similaire à l'avènement de la chimie du pétrole : les usages traditionnels ont été remplacés peu à peu par les premières productions de la chimie. Par exemple, l'acide lactique produit à Littleton servait à remplacer le vinaigre dans la conservation des aliments. Toutefois, cet acide était également utilisé pour la production de boissons et le tannage. Cet usage s'est notamment développé en Allemagne dans les unités de production de Boehringer qui cherchait à remplacer l'acide tartrique, dont les prix augmentaient, par l'acide lactique. L'usage de l'acide lactique dans les boissons et l'alimentation (comme additif dans les farines et préparations pour la fabrication de pains ou de brioches, puis de lait en poudre) a supposé d'améliorer les procédés d'extraction de l'acide : l'usage alimentaire impliquait de disposer de produits très purs à la différence des usages industriels.

#### 1.1.2.2. L'usage de l'acide lactique comme solvant pendant la Première Guerre mondiale

En Allemagne, durant la Première Guerre mondiale, en raison des restrictions sur les importations de matières premières, l'acide lactique a très largement été utilisé en vue de conserver les aliments. Cependant, l'industrie de l'acide lactique fut également mobilisée pour participer à l'effort de guerre dans la substitution du glycérol. Sa production se raréfiait et posait problème notamment dans la fabrication de solvants et de systèmes de refroidissements pour les véhicules et les canons à partir de 1916.

On notera que l'acide lactique fut mélangé à de l'éthanol (lui aussi issu de fermentation) dans un procédé dont le fondement n'est pas différent de celui repris aujourd'hui afin de produire ce qui est qualifié de « solvants vert ». En effet, deux publications de la revue emblématique *Green Chemistry*, qui se présente comme « *the home of cutting-edge research on the development of*

*alternative sustainable technologies* »<sup>167</sup>, font état d'avancées dans les solvants utilisant ce lactate d'éthyle (Aparicio et Alcalde, 2009 ; Pereira *et al.*, 2011)<sup>168</sup>.

### 1.1.2.3. L'acide lactique entre les deux guerres

Après la Première Guerre mondiale, la production d'acide lactique a lentement diminué en France, en Angleterre et aux États-Unis alors qu'elle a été maintenue en Allemagne, notamment en raison de la puissance de l'industrie de la fermentation allemande. L'acide lactique a notamment été concurrencé par l'acide citrique dans les usages pharmaceutiques et dans les boissons, car ce dernier ne donne pas de goûts contrairement à l'acide lactique. Néanmoins dans le domaine qui nous intéresse plus, l'industrie de l'acide lactique persiste, notamment en bénéficiant du mouvement de la *chemurgy*. Il va être utilisé dans la production de fibres et de films, c'est-à-dire des usages qui sont aujourd'hui recherchés pour Les PLA. À cette époque, l'acide lactique était transformé en méthyle lactate puis en lactoprène par des firmes comme Dupont. (Ces usages vont être concurrencés par l'éthylène glycol et l'oxyde d'éthylène issus du pétrole, mais la base de connaissances actuelle existe bien dès cette date).

## 1.2. La question des matières premières : un débat récurrent ?

Néanmoins, il faut relativiser le rôle des dynamiques scientifiques comme déterminant d'un enchaînement de la connaissance sur des filières précises. En effet, on observe que les effets « matière première » sont tout aussi, voire parfois plus importants.

### 1.2.1. Les deux matières premières possibles pour la production d'acide lactique

L'acide lactique est produit par fermentation, mais il peut l'être à partir d'amidons ou de sucres. Le sucre est composé à parts égales de fructose et de glucose alors que l'amidon, un polysaccharide, est composé de deux polymères de glucose. Si les résultats sont similaires, ce ne sont pas les mêmes acteurs de l'agriculture qui produisent l'un ou l'autre. Le sucre est plutôt produit par les producteurs de betterave sucrière alors que le sucre d'amidon était essentiellement produit par les producteurs de pommes de terre qui dominaient largement la production d'acide lactique avant la Première Guerre mondiale.

---

<sup>167</sup> <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2009/GC/B811909K#!divAbstract>, consultée le 02/08/2015

<sup>168</sup> Le résumé de Pereira *et alii* (2010) est édifiant, car l'on retrouve exactement la forme des promesses technico-économiques développées dans les biotechnologies : l'annonce d'une forte demande (« The worldwide solvent market is about 30 million pounds per year ») pour un « environmentally benign solvent with effectiveness comparable to petroleum-based solvents » qui peut être « generated from biomass raw materials through fermentation ».

### 1.2.2. L'imposition de l'amidon comme matière première aux États-Unis et en Allemagne

La législation sur le sucre (en Allemagne, mais également dans d'autres pays d'Europe) incitait les producteurs à exporter celui-ci. Après la diffusion de la betterave sucrière au cours du 19<sup>e</sup> siècle en Europe, en France en Allemagne et en Russie ont été développées des petites unités de transformation industrielle dédiées à la production de sucre. Benninga (1990) rapporte que la production de sucre allemande a commencé à être excédentaire à partir de 1880. Afin de maintenir les cours élevés, les exportateurs de sucre recevaient une compensation sur les taxes intérieures en fonction des quantités de sucre exportées. Or la compensation était généralement plus élevée que les taxes prélevées, ce qui a conduit à maintenir le sucre à un prix élevé. Dès lors, le sucre était trop cher pour être transformé en acide lactique, mais aussi n'était pas offert à l'industrie de la fermentation allemande qui était dominante sur les autres industries fermentaires nationales.

C'est donc plutôt à partir d'amidon qu'était produit l'acide lactique. Cet amidon était principalement produit dans l'Est de l'Allemagne où les grandes exploitations agricoles la majorité des usines de production d'amidons ou d'alcools à partir de pommes de terre. Les pénuries provoquées par la Première Guerre mondiale ont renforcé le rôle de cette agriculture notamment par la production de pommes de terre séchées dédiées à l'alimentation. Après la Première Guerre mondiale a été fondée la firme Deutsche Maizena Gesellschaft A.G. qui produisait de l'amidon à partir de maïs. Celle-ci n'était autre que la filiale de la firme américaine Corn Products Refining Company que l'on retrouve comme producteur d'acide lactique aux États-Unis (*cf.* plus bas).

Les États-Unis étaient importateurs de sucre, ce qui ne permettait donc pas d'utiliser cette matière première pour la production d'acide lactique. Sa production a été dominée par les producteurs de blé du Midwest en raison des manques de sucre, mais également de la prohibition. Durant cette période, une grande partie du sucre consommé était en réalité acheté pour la production « d'alcools faits maison » illégaux. Les pénuries de sucre ont donc conduit les industries agroalimentaires à installer de nouvelles unités de production afin de fournir du dextrose (une forme de sucre obtenue à partir de blé) afin de répondre à la demande. Avec le soutien du Département du Commerce américain, le chimiste Newkirk a travaillé sur un procédé d'amélioration de la production de dextrose en vue d'obtenir des niveaux de puretés supérieurs à ceux déjà atteints avant d'être embauchés par Corn Products Refining Company en 1920. Grâce à ce procédé, la production est passée de 9000 tonnes/an en 1923 à 18 000 tonnes/an en 1924 pour atteindre 150 000 tonnes/an en 1940 (Benninga, 1990). Ainsi, il s'est constitué un oligopole, car Corn Products Refining Company a licencié son procédé de production à American Maize-Products, Clinton Corn Syrup Refining Company et Penick et Ford ont également développé des procédés.

On observe donc une dynamique de concurrence sur l'emploi des matières premières entre des usages alimentaires (si l'on assimile les alcools de consommation à l'alimentation) et non alimentaires, qui conduit à spécialiser la production d'acide lactique sur les amidons. Ceci explique que ce soit Cargill et non des sucriers qui s'intéresse à la fin des années 1980 au PLA.

## Conclusion de la section : la base de connaissance de l'acide lactique

La formation de la base de connaissance de l'acide lactique ne repose donc pas que sur la dynamique des avancées scientifiques. Certes, les progrès dans la compréhension de la fermentation tant dans les *process* industriels que dans les réactions permettent son développement à l'instar des avancées de chimistes célèbres tels que Liebig ou Pasteur. La deuxième dimension de la base de connaissance est son insertion dans des filières dont l'amont était dominé par les agro-industries de l'amidon de pommes de terre ou de production de blé ; dans celles-ci, l'acide lactique constituait un des débouchés face à l'industrialisation des procédés de production et la réorientation de la production chimique imposée par la Première Guerre mondiale. Un article de 1938 du magazine Fortune évoque l'unité de transformation de la Corn Products Refining Company – qui constituait un *trust* après avoir racheté la New-York Glucose – comme la plus grande unité de raffinage de blé au monde<sup>169</sup>. Dès lors des débouchés variés ont été recherchés dans l'industrie pour toutes sortes de valorisation de l'acide lactique (alimentation, pharmacie, solvants, etc.).

On en arrive ainsi à l'une des valorisations de l'acide lactique, qui est le polyacide lactique. On rappelle qu'on s'intéresse au PLA, car c'est l'un des premiers polymères de référence biosourcés revendiquant dès les années 1990 de larges applications en plasturgie, sans oublier pour autant les autres utilisations de l'acide lactique rappelées ci-dessous (Les PLA ne correspondant qu'à la première ligne de ce schéma de valorisation de l'acide lactique de Datta et Henry, 2006, p.1120) :

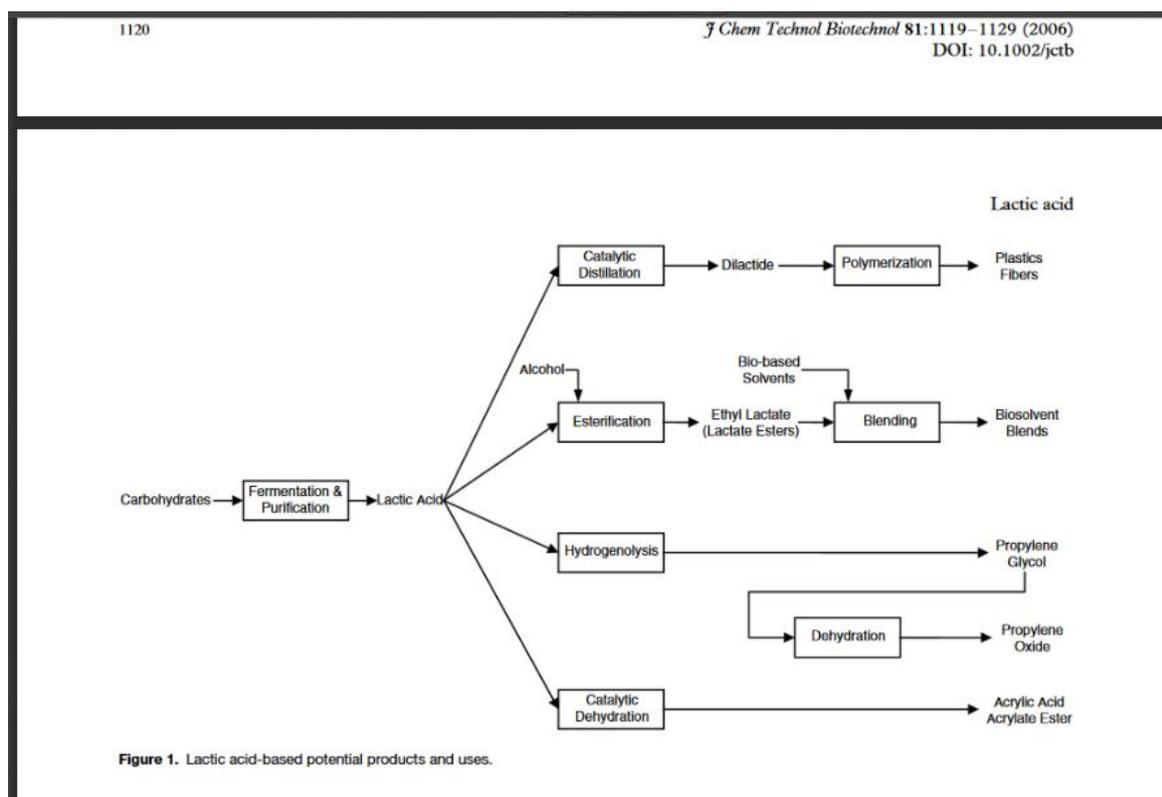


Figure 102 : Les promesses sur l'acide lactique (d'après Datta et Henry, 2006, p.1120)

<sup>169</sup> Notons au passage que le trust américain du pétrole a détenu une partie de la Corn Products Refining Company.

## 2. La filière du PLA et ses promesses : produit de spécialité ou de commodité ?

La stratégie de positionnement des firmes dans les filières que nous avons décrites dans le chapitre sur la bioéconomie porte bien sur la question de l'intégration de segments de filière autour de produits. Il faut décider si on oriente l'identité du produit soit vers des commodités, soit vers des spécialités (on rappelle que si l'on suit Pollack, 2011, p.3 seules les applications médicales évoquées ci-dessous pourraient relever d'une chimie fine, mais ceci n'est pas évoqué par les auteurs qui ne décrivent que le dilemme chimie de commodité/chimie de spécialité pour Les PLA).

<b>Commodities</b>	<b>Fine Chemicals</b>	<b>Specialities</b>
single pure chemical substances...	single pure chemical substances	mixtures
produced in dedicated plants	produced in multi-purpose plants	formulated
high volume/ low price	low vol. (<1000 mtpa) high price (>\$10/kg)	undifferentiated
many applications	few applications	undifferentiated
sold on specifications	sold on specifications "what they are"	sold on performance "what they can do"

Figure 103 : La distinction entre chimie de commodité, de chimie fine et de chimie de spécialité (Pollack, 2011, p.3)

En tant que débouché de l'acide lactique, les PLA n'échappent pas à cette question comme en témoigne la contribution de Sinclair (1996): le PLA peut-il être un produit de commodité ? Autrement dit, peut-on rendre compte du développement du PLA comme celle des espérances (et des déceptions) soulevées lorsqu'on entrevoit la possibilité d'un passage de polymère de spécialité à commodité ? La contribution de Sinclair pointe la largeur de l'espérance technologique du PLA comme polymère de commodité : celui-ci considère que les PLA peuvent « mimer les propriétés du PVC, du LDPE, du LLDPE, du PP et du PS » (Sinclair, 1996, p.585) soit la totalité des polymères historiques d'origine pétrolière. Or cela ne correspond pas à son histoire d'origine, décrite ci-dessous, qui a visé la production des produits médicaux, pour des applications spécifiques comme la production de fils de suture ou des prothèses médicales, car le PLA peut être biodégradable (pour les fils), mais surtout, il est biocompatible, car non toxique pour le corps humain.

Or pour des débouchés de ce type, des coûts de production élevés peuvent être supportables, ce qui n'est pas le cas pour les applications dans les films plastiques de grande consommation. Ces derniers doivent être produits en grandes quantités pour être rentables. C'est ce paradoxe d'un

produit dont l'histoire fait, à cause de ses caractéristiques un produit de spécialité, et dont l'économie aimerait faire un produit de commodité. Ceci, selon nous, anime le développement du PLA à travers ses périodes d'espérances et de déceptions.

Ce sont ces cycles que nous cherchons à étudier ici pour comprendre l'émergence d'une filière du PLA. Pour cela, nous proposerons tout d'abord une représentation des brevets et *process* (2.1), puis traiterons des enjeux du passage en chimie de commodité (2.2.), et enfin nous décrirons les acteurs en jeu (2.3.)

## 2.1. Brevets et process PLA

### 2.1.1. Décrire la base de connaissance à partir des brevets fondateurs

L'identification (et les premiers brevets) du PLA date de la fin des années 20 — début des années 30 par la firme DuPont. Le chimiste W.H. Carothers, inventeur du Nylon en 1935, a déposé un premier brevet en 1931 (publié en 1937) portant sur la condensation de polymères linéaires<sup>170</sup> dont le PLA fait partie. La condensation est « *any reaction that occurs with the formation of new bonds between atoms not already joined and proceeds with the elimination of elements (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, etc.) or of simple molecules (H<sub>2</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, HCl, etc.)* » (Carothers, 1937). Dans ce brevet, Carothers inscrit sa découverte dans la lignée des travaux portant sur la production de fibres par polycondensation, qui est encore la technique utilisée actuellement. La revendication du brevet est large : elle évoque la production de polymères à partir de glycérol, d'acide succinique, mais aussi d'acide lactique pour des applications permettant de produire des matériaux dont la caractéristique commune semble être la flexibilité et l'élasticité.

La même année 1931, G. Dorough dépose un brevet (publié en 1935) faisant explicitement mention de la production de polymères à partir d'acide lactique, le « *polymeric lactide resin* ». L'objet du brevet est le suivant : « *this invention has an object, therefore, the production of new lactide resins. A further object is the production of new compositions of matter, particularly coating compositions comprising these resins. A still further object resides in a new process for the manufacture of lactide resins* » (Dorough, 1931). Il est donc bien question de la production d'un nouveau type de fibres à partir de l'acide lactique. La description du *process* insiste notamment sur la purification de l'acide lactique (avec un degré de pureté d'au moins 85 %). Pour cela, une première étape transforme l'acide lactique en lactide, c'est-à-dire de l'acide lactique concentré et purifié. Le second élément marquant est que le brevet fait référence à la possibilité de produire des mélanges entre les PLA et d'autres matériaux comme la cellulose visant à modifier les propriétés du polymère final. Ce procédé s'inscrit donc dans la trajectoire de DuPont sur les fibres et fonde la trajectoire technologique du PLA. Comme nous le montrerons plus loin, un des sujets de recherche des années 2000-2010 sur les PLA a consisté en l'étude des mélanges possibles pour former des composites.

Enfin, un troisième brevet complète ces brevets fondateurs. Déposé en 1951 (et publié en 1955), il vise à améliorer les fonctions du PLA, mais fait également référence à certains produits à base de cellulose qui ont été améliorés par ce qui pourrait être l'ancêtre du PLA : « *in this way polymers have been formed which are useful in coating compositions and as modifying agents for cellulose derivatives* »

---

<sup>170</sup> On parle de polymères linéaires quand, lors de la polymérisation, les monomères se lient en formant une chaîne, ce qui est typique des polymères thermoplastiques comme le PLA ou le polyéthylène téréphtalate (PET).

(Schneider, 1955, p.1). Le PLA était utilisé dans la modification de produits et non seul. Ce brevet, en développant une méthode visant à « produce polylactides which are suitable for forming tough self-supporting thin films, fibers, and the like, which are orientable by drawing » (*Ibid.*, souligné par nous), cherche donc à produire les principaux produits revendiqués à la fin des années 1990 à partir du PLA.

En insistant sur la fonctionnalité économique du produit, ces brevets illustrent la formation de la base de connaissance de la trajectoire technologique du PLA et permettent d'identifier trois tendances lourdes : la recherche de l'usage du PLA de façon isolée à partir du début des années 50, des recherches autour de polymères mélangeant le PLA et d'autres matériaux et son usage dans la production de matériaux à base de fibres plastiques.

#### 2.1.2. Les deux *process* de production du PLA

Il existe deux procédés de production d'acide polylactique. Le premier est celui qui a été développé à partir des années 30 et exposé dans les brevets analysés précédemment. Celui-ci nécessite l'usage d'un solvant, alors que le nouveau procédé, breveté par Cargill permet d'en éviter l'usage, et donc d'éviter également l'étape de son extraction dans le *process* (Drumright *et alii*, 2000)<sup>171</sup>. Les deux grands procédés de production peuvent être schématisés comme suit :

---

<sup>171</sup> Soulignons qu'il existe des procédés de production de PLA pétrosourcé à partir d'éthylène, cependant, ce procédé est relativement peu utilisé.

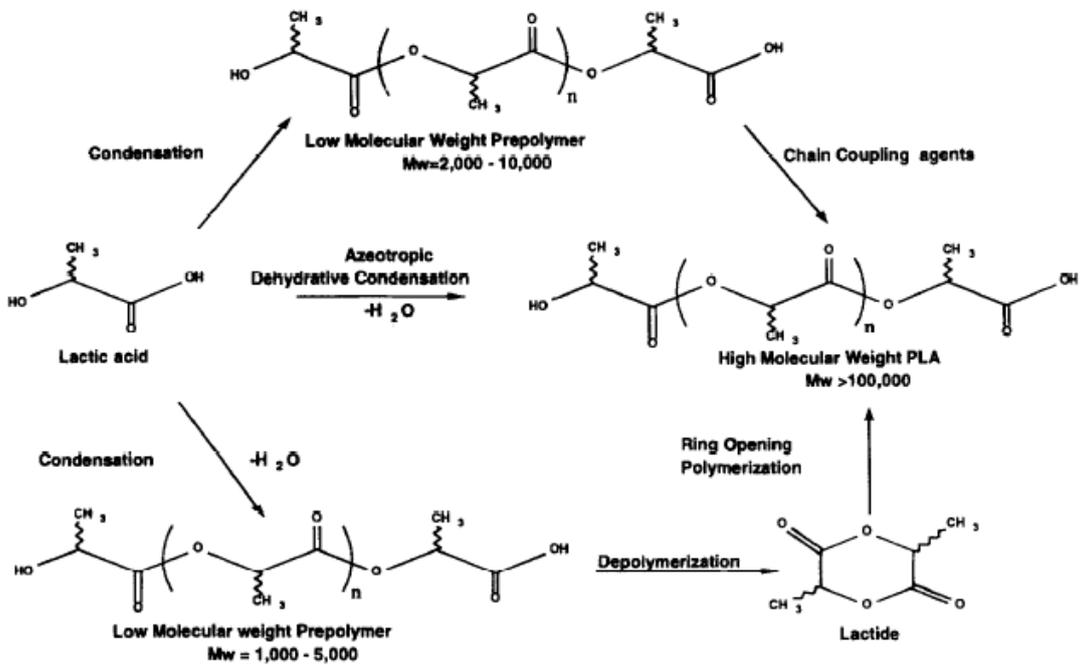


Fig. 4. Manufacturing routes to polylactic acids.

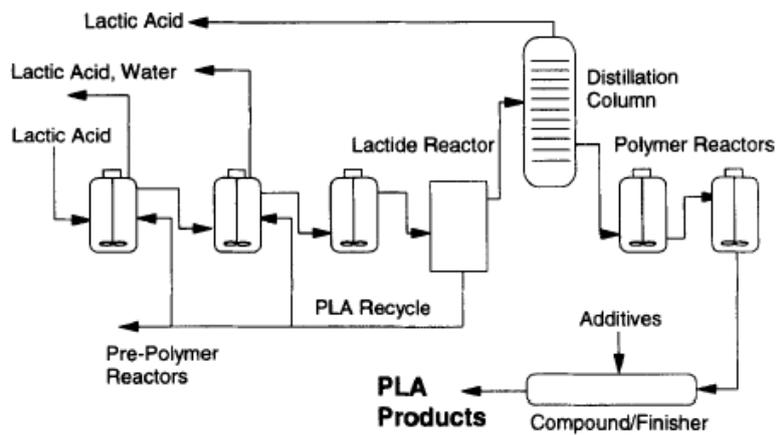


Fig. 5. Cargill commercial manufacturing process.

Figure 104 : Les procédés de production du PLA (d'après Lunt, 1998, p.147)

Du point de vue de la chimie, le procédé développé par Cargill correspond à la partie basse du schéma qui en réalité, décompose le procédé industriel conceptualisé comme suit par les chimistes de Cargill :

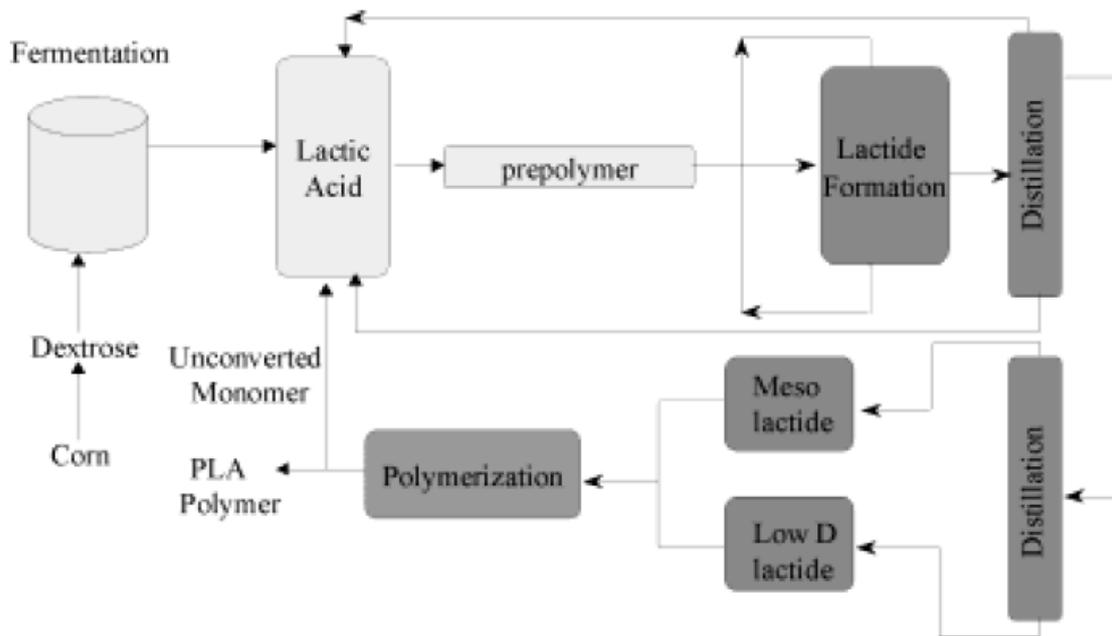


Figure 105 : Le procédé de production de Cargill (d'après Drumright *et alii*, 2000, p.1842)

### 2.1.3. Les enjeux : comment aller à une chimie de commodité à partir du développement du procédé de Cargill ?

Enjeu 1 : produire Les PLA en continu

Ce schéma, très similaire au précédent, relève dans les deux cas d'une mise en avant de « l'originalité » du procédé de Cargill. Cette dernière relève en réalité de la concurrence entre acteurs sur la production de PLA. Les bases de ce procédé ont été posées à la fin des années 90 par une équipe de recherche de Cargill dirigée par P.R. Gruber (Gruber *et alii*, 1992, 1993, 1994 ; Benson *et alii*, 1994). Ceux-ci forment une trajectoire inédite qui vise à produire du PLA « en continu », c'est-à-dire en évitant l'étape d'extraction des solvants.

Enjeu 2 : réduire les coûts de production pour rentrer dans le monde de production des commodités

Ce procédé s'inscrit en réalité dans une stratégie de réduction des coûts de production. En effet, la part du coût de l'acide lactique représente entre 60 et 65 % du coût total de production, or, ce polymère est essentiel dans la production du PLA (Khalid, 2011). Le développement d'un procédé sans solvant permet donc de réduire les coûts induits par la consommation de solvants, son extraction et son probable recyclage et s'inscrit donc dans la stratégie de transformation du PLA en produit de commodité. Dans l'exposé de l'objet de leur contribution, Gruber *et alii* (2000, p.1842, souligné par nous) explique que « *the present article is not intended to be a comprehensive review of the polylactic acid literature, rather an attempt to describe the key elements of PLA technology that will change this polymer from a speciality material to a large-volume commodity plastic* ». Les brevets de Cargill citent les brevets de DuPont pour le *process* de transformation de l'acide lactique en lactide, confirmant donc la structuration d'un patrimoine productif collectif de connaissances autour du PLA à partir des années 30.

### Enjeu 3 : la concurrence entre plastiques biosourcés

Le troisième enjeu du développement de ce procédé réside dans la concurrence entre les plastiques biodégradables. Mitsui Chemicals a développé dans les années 90 le procédé à base de solvants évoqués par Drumright *et alii* (2000) d'abord pour la production de PHA. Si l'on se réfère à l'étude de marché de Platt (2005), les PHA sont présentés comme les concurrents directs du PLA. L'enjeu est donc de taille, car il s'agit de réussir à prendre position sur des marchés émergents du plastique biodégradable.

Il s'agit de mettre au point un procédé permettant d'organiser la consommation massive de PLA en remplacement du plastique d'origine pétrosourcée. Il apparaît que Cargill est active sur ce plan ce qui peut nous laisser penser qu'il s'agit pour cette firme de construire de nouveaux débouchés pour ses produits agro-industriels. Cependant, la construction de débouchés pour le PLA suppose d'une part, de disposer d'acide lactique (voire de sources de sucre ou d'amidon pour produire l'acide lactique), mais aussi de construire des débouchés. Ainsi, cette première approche nous permet de disposer d'une première représentation de la partie de la filière menant au PLA.



Figure 106 : Représentation n° 1 de la filière de l'acide lactique

## 2.2. Les acteurs d'un PLA de commodités

### 2.2.1. Les producteurs d'acide lactique et de PLA : de l'identification des joint-ventures aux mondes de production

Cette représentation, qui résulte de la mise en ordre de la conceptualisation de la filière du PLA par les acteurs à travers leurs brevets et leurs publications significatives laisse apparaître une situation de « consommateur absent ». Ainsi les acteurs visent des cibles potentielles, mais n'exhibent pas de candidats à l'utilisation comme acteurs du développement.<sup>172</sup> Mais cela pointe également une question de gestion des approvisionnements. Afin de montrer comment les acteurs gèrent ces questions, nous proposons dans un premier temps de lister ceux présents sur la production de PLA et d'acide lactique. Pour cela, nous ne retiendrons que les producteurs d'acide lactique qui produisent également du PLA (ou qui sont dans une *joint-venture* visant à produire du PLA) ou les producteurs de PLA. Nous mobilisons des études de marché auxquelles nous avons eu accès ou participé, et nos propres outils de veille.

<sup>172</sup> Puisqu'on se pose cette question dans le cadre général d'une réflexion régulationniste, on a un schéma d'activités poussées par les amonts des filières. La régulation qu'on cherche à observer est donc celle qui stabilise cette configuration d'exploration de l'aval, en permettant aux acteurs de l'amont de travailler à résoudre les contradictions d'une telle dynamique.

<u>Nom de la firme</u>	<u>Capacités de production d'acide lactique (en tonnes/an) annoncées en 2013<sup>173</sup></u>	<u>Joint-ventures</u>
Corbion Purac	200 000	Oui
NatureWorks	112 500	Oui
Galactic (en JV avec Total dans Futerro)	45 000	Oui

Figure 107 : Producteurs d'acide lactique et de PLA

Parmi les 22 producteurs d'acide lactique que nous avons pu recensés, il y en aurait donc trois qui produiraient du PLA et chacun serait dans une *joint-venture*.

#### 2.2.1.1. Présentation de NatureWorks à travers ses joint-ventures pour identifier les mondes de production

La firme Natureworks a été fondée en 1997 (sous le nom de Cargill Dow) par une *joint-venture* entre la firme des agro-industries Cargill et de la chimie Dow Chemicals sur la base des travaux de Gruber présentés précédemment. L'enjeu pour Cargill (entreprise de collecte de céréales et de première transformation était de réussir à accéder aux entreprises de l'aval de la chimie, consommatrices d'intermédiaires chimiques et de développer une structure maîtrisant la mise au point des polymères et plus particulièrement des plastiques. En 2001, la première usine a été construite à Blair dans le Minnesota. En 2005, Dow Chemicals s'est retirée de la *joint-venture* et ses parts ont été rachetées par Cargill, qui a renommé la firme NatureWorks. D'après Kastnelson (2005), Dow aurait choisi de se retirer en raison d'un trop faible développement du marché des bioplastiques. En 2007, NatureWorks a ouvert son capital à hauteur de 50 % à la firme japonaise Teijin (un conglomérat engagé notamment dans des productions de films et résines polycarbonates) qui cherchait à s'implanter dans les plastiques biosourcés. Toutefois, elle s'est retirée de la *joint-venture* en 2009, laissant de nouveau à Cargill la propriété de NatureWorks. Teijin explique son entrée et son départ de NatureWorks par la « *strong promise as environmentally friendly materials. At the same time, however, one of the main types of bio plastics, poly lactic acide (PLA), has so far failed to find wide use because of its limited applications, due to such factors as its low heat resistance and its faster hydrolysis* »<sup>174</sup>. L'entrée de Teijin dans la *joint-venture* sur le PLA relève donc d'une stratégie d'exploration des fonctionnalités offertes par les PLA parmi lesquelles figure la biodégradabilité. Son retrait pourrait être attribué, si l'on se réfère à la citation précédente, à un désappointement dû aux échecs de diffusion du PLA. Toutefois, cette sortie n'a pas stoppé l'activité de Teijin dans le PLA. En 2011, Teijin commercialisait le Biofront, un plastique de spécialité résistant à la chaleur, qui est un mélange de PLA et de polytéréphtalate de butylène (PBT), un plastique d'origine fossile qui est un dérivé de téréphtalate et de 1.4 butanediol. L'entrée dans NatureWorks peut donc être vue comme un « ballon d'essai » autour d'un modèle économique visant à transformer les PLA en produit de

<sup>173</sup> On se méfie des effets d'annonce des producteurs, et des consolidations réalisées par les consultants. Le rapport du Nova de 2013 annonce des capacités de 800 000 t à horizon 2020 avec 25 producteurs ; la production estimée par nous est de 180 000 tonnes en tout en 2014. L'exercice sert donc surtout à dégager des acteurs majeurs qui se positionnent, de par leurs annonces comme capables d'occuper une position de choix dans l'oligopole de production du PLA en se situant d'emblée au-dessus de 40 000t/an.

<sup>174</sup> <http://www.teijin.com/rd/technology/bioplastic/>, consultée le 22/08/2015

commodité. La dernière étape de la *joint-venture* NatureWorks, a été l'entrée, en 2011, de la firme pétrolière publique thaïlandaise PTT Chemicals au capital (à hauteur de 50 %) et l'annonce conjointe de la construction d'une seconde usine de PLA en Thaïlande.

#### 2.2.1.2. Présentation de Corbion Purac à travers ses joint-ventures pour identifier les mondes de production

La *joint-venture* de Corbion Purac a été réalisée avec MedinCell pour la production de polymères de PLA et de PEG (polyéthylène glycol) destinés à contenir les molécules actives de médicaments. La signature de l'accord sur le PLA et le PEG s'inscrit dans la trajectoire historique de l'acide lactique dont la production a régulièrement été associée à la production de glycérol comme le démontre Beninga (1990). Corbion Purac est le résultat de la fusion et de la réorganisation de CSM (Central Sugar Company), Caravan Ingredients et Purac (toutes deux des filiales de CSM) dans une stratégie d'abandon de la production d'acide lactique alimentaire (notamment par la vente de la branche de produits de boulangerie au fond d'investissement Rhone Capital) et de développement des débouchés sur le PLA<sup>175</sup>. Le PDG de Corbion, Tjerk de Ruiten, déclarait en novembre 2014 que « *Given our strong position in lactic acid, our unique high heat technology and the market need for a second PLA producer, we plan to forward integrate in the bioplastics value chain, from being a lactide provider to a PLA producer* »<sup>176</sup>. La stratégie de Corbion est donc de quitter la position de simple producteur d'acide lactique pour divers usages. Il s'agit donc d'un changement dans l'analyse du segment de filière considéré comme clé par l'entreprise. À cette même période, l'annonce d'une construction d'une usine d'une capacité de 75 000 tonnes/an en Thaïlande était annoncée à condition qu'un tiers de la production soit achetée d'avance par les clients de la firme (Formule Verte, 2014)<sup>177</sup>. La *joint-venture* contractée est donc un moyen de sécuriser une partie des débouchés pour les produits de Corbion Purac.

CSM est une firme néerlandaise du sucre fondée en 1903. On est donc dans le cas d'une firme des agro-industries qui participe à construire une filière en trouvant de nouveaux débouchés pour les sucres et l'acide lactique qu'elle produit. Dans sa stratégie de développement du PLA, Purac a également développé, dans une *joint-venture* avec Sulzer Chemtec, un procédé de polymérisation qui permet d'obtenir un PLA de spécialité. Le développement d'un copolymère lactide caprolactone avec Perstorp confirme que Corbion est bien inscrite dans une démarche d'exploration et de construction de débouchés de son acide lactique quitte à développer des polymères concurrents du PLA.

---

<sup>175</sup> Par ailleurs, la firme a contracté une *joint-venture* avec BASF pour la production d'acide succinique.

<sup>176</sup> <http://biomassmagazine.com/articles/11155/corbion-purac-to-construct-pla-plant-in-thailand>, consultée le 18/08/2015

<sup>177</sup> <http://formule-verte.com/bioplastiques-corbionpurac-veut-entrer-dans-la-production-de-pla/>

#### 2.2.1.3. Présentation de Galactic à travers ses joint-ventures pour identifier les mondes de production

La firme Galactic est le producteur belge d'acide lactique qui est entré dans une *joint-venture* nommée Futerro avec Total en 2007 dans le but de produire des licences sur le PLA. L'unité de démonstration a été démarrée en 2010 à Escanaffles en Belgique avec une capacité de 1500 tonnes/an.

#### 2.2.1.4. Trois mondes de production, mais épuisent-ils les cas ?

Les trois *joint-ventures* que nous avons identifiées permettent d'avancer dans la caractérisation de la filière du PLA et notamment, de son amont. Parmi les 22 producteurs d'acide lactique identifiés, seuls trois produisent également de l'acide polylactique, et ce dans des *joint-ventures*. Toutefois, cette structure commune offre des produits que les acteurs inscrivent dans des « mondes de production » hétérogènes. La firme emblématique du PLA, NatureWorks et donc Cargill, vise la production d'un plastique qui entre en concurrence directe avec le PET, c'est-à-dire un produit de commodités. Cette stratégie avait été annoncée dès 1995 par l'équipe de Cargill (réf. biblio.) en travaillant l'identité du produit. Natureworks revendique alors bien sûr l'aspect biosourcé, présentant le PLA comme un produit de commodité pour les plastiques, à même de résoudre le problème de l'accumulation des déchets plastiques grâce à la biodégradabilité du PLA.

L'épisode de l'arrivée et du départ de Teijin indique que les raisons présidant au choix du PLA (ses promesses) et les désappointements technologiques influent sur les choix de constitution de portefeuilles d'activités des firmes. Face à ce choix, Teijin a donc choisi de produire des plastiques utilisant le PLA dans des mélanges en vue de produire des polymères de spécialité, qui serait donc un deuxième monde de production. Le troisième monde de production du PLA est celui de la chimie fine. Corbion Purac déclare vouloir travailler sur la diffusion de l'usage du PLA, mais avec sa *joint-venture*, se positionne sur l'enrobage de médicaments.

#### 2.2.1.5. Le modèle de Futerro : un quatrième monde de production qui souligne le rôle des promesses technico-économiques

Le point commun entre les trois mondes de production est qu'ils sont tous constitués par la transformation de l'acide lactique en acide polylactique. Salais (1995) disait « qu'il n'y a pas deux produits identiques pourvu que l'on mène l'enquête assez loin, précisément jusqu'à son point pertinent pour le problème de coordination posé » (Salais, 1995, p.3). Les conventions de qualités offertes dans chacun des modes de production sont différentes : chacune se différencie des autres en s'appuyant sur les fonctionnalités offertes par le PLA. Dans le cas du premier monde de production (celui du PLA de commodité), il s'agit d'offrir un produit standardisé et en grande quantité alors que dans le cas de la chimie fine ou de la chimie de polymères de spécialité sont visées des applications spécifiques (comme en témoigne l'accord entre Teijin et Toshiba sur la fourniture de PLA). Ainsi, les licences offertes par Futerro n'offrent pas un polymère ou une application directe, mais la possibilité de produire ce polymère (voire de le recycler comme le montre la gamme de PLA recyclé à partir des PLA Ingeo de NatureWorks). La convention de qualité est donc constituée par la promesse de pouvoir s'inscrire dans un des trois mondes de production du PLA déjà identifiés. En ce sens, le modèle de licences de Futerro illustre un quatrième monde de production.

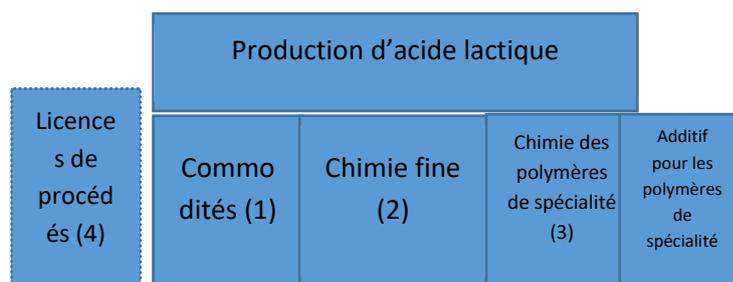


Figure 108 : Représentation schématique de la filière du PLA à partir des trois mondes de production des joint-ventures

La promesse d'intégration dans un des mondes de production du modèle fondé sur les licences souligne les engagements technico-économiques qui jouent un rôle dans la coordination des acteurs en filières autour du PLA, qu'il s'agisse de sa production ou de sa consommation. C'est bien cette idée qui ressort des mondes de production que nous identifions : chacune des conventions de qualité est une promesse sur les produits offerts. Après avoir décrit le positionnement des producteurs de PLA et ainsi, fournir une représentation complète de la filière du PLA, nous reviendrons sur le cycle des promesses et de leur formation autour de ce polymère.

#### 2.2.2. Les producteurs de PLA

Suivant la méthodologie utilisée précédemment, nous mobilisons les études de marché auxquelles nous avons pu avoir accès, mais également nos entretiens et notre système de veille qui s'appuie sur la presse spécialisée pour identifier les producteurs, les capacités de production annoncées et les quantités produites (quand cela est possible), puis nous classons les producteurs en fonction des mondes de production identifiés. Ceci nous permet, à la suite de ce classement, de compléter notre schéma de filière.

<u>Producteur</u>	<u>Capacité annoncée ou production en 2011 (tonnes/an)</u>	<u>Activités de la firme</u>	<u>Monde de production</u>
Chengdu Dikang Biomedical Co.	Capacité de 500 t/a 100 t/a produites	Produits pharmaceutiques, matériaux médicaux	Chimie fine
DIC Corporation	Présente dans les études, mais pas d'infos	Firme de la chimie traditionnelle	Inconnu
Futerra	Capacité de 1500 t/a 100 t/a produites	JV entre Total et Galactic. Développement de procédés de traitement et polymérisation	Licences de procédés Commodités (recyclage de NatureWorks)
Harbin Weilida Pharmaceuticals	Inconnue	Construction d'une usine en Chine sur la base du procédé d'Uhde-Fischer	Inconnu

Henan Piaoan Group	Inconnue	Production de matériaux médicaux à partir de PLA	Chimie fine
Hitachi Plant Technologies	X	Construction d'unités de production	Licences de procédés
Indorama Venture	Contrat pour 10 000 t/a annoncé en 2013 par Purac	Producteur important de PET. Discussion avec CSM (filiale de Purac) pour la production de PLA en Thaïlande/Concurrent de PTT Chemicals	Commodités
Nantong Jiuding Biological Engineering	Capacité de 3000 t/a Production de 2000 t/a	Producteur de PLA fondé en 2005. Produit des PLA non résistants à la chaleur (films, fibres, thermoplastiques)	Commodités
NatureWorks	Capacité de 140 000 t/a Production de 75 000 t/a	Un des premiers producteurs de PLA (Ingeo)	Commodités
Nuplas	Projection de construction d'une unité de production de 5000 t/a	Start-up du PLA	Commodités (emballages)
Plaxica	Inconnues	Producteur d'acide lactique qui explore les bioplastiques	Inconnu
PoliKompleks	Capacité annoncée de 50 000 t/a (pour un investissement de 30 millions d'€)	Firme des biotechnologies fondée en 2009	Inconnu
Purac	Capacité de 5 t/a Production de 5 t/a	Nouveaux débouchés pour son acide lactique	Chimie des polymères de spécialité
Shanghai Tong-Jie-Liang Biomaterials	Capacité de 2000 t/a Production de 500 t/a	Firmes financées par capitaux-risques et fondées à l'Université de Shanghai	Commodités [films, fibres, thermoplastiques]
Shenzen Bright China Biotechnological	Capacité de 10 000 t/a Production de 3000 t/a	Société d'ingénierie et de production	Commodités
Sichuan Dikang Technology Pharmaceutical	Inconnue	Films absorbables pour les médicaments	Chimie fine
Synbra	Capacité de 5000 t/a Production de 2000 t/a	Spécialiste de l'EPS pour l'isolation	Chimie des polymères de spécialité :

			PLA comme additif ou comme mousse isolante
SK Chemicals	Inconnue	Producteur de polymères [marque : Ecoplan]	Commodités [films, thermoplastiques]
SPC Biotech	Inconnue	Développement de procédé [société fermée]	Licences de procédés
Sulzer Chemtech	Accords avec Purac et Synbra	Inconnu	Inconnu
Teijin	Capacité de 6200 t/a Production de 3400 t/a	Spécialiste des fibres	Chimie des polymères de spécialité [résistance à la chaleur au cœur du compromis sur le produit]
Tong-Jie-Lang Biomaterials	Inconnue	Fondée en 2005, spécialisée dans la production de PLA	Commodités
Toyobo Biologics	Capacité de 200 t/a Production de 200 t/a	Entreprise de R et D dans le domaine médical	Licences de procédés
Uhde Inventa-Fischer	Capacité de moins de 500 t/a	Entreprise d'ingénierie de procédés	Licences de procédés
Yunnan Fuji Bio-Material Technology	Inconnue	Production de matériaux médicaux	Chimie fine
Zhejiang Hisun Biomaterials	Capacité de 5000 t/a	Développement du PLA depuis 2004	Commodités [films, thermoplastiques]

Figure 109 : Répartition des producteurs de PLA en fonction des quatre mondes de production du PLA

Nous avons pu identifier 26 producteurs de PLA qui se répartissent comme suit en fonction de leurs mondes de production :

M1 : commodités	10
M2 : chimie fine	4
M3 : chimie des polymères de spécialité	3
M4 : licences de procédés	5

Figure 110 : Répartition des producteurs en fonction de leurs mondes de production

La majeure partie de la production de PLA est dédiée à la production de produits de commodités, qui est largement dominée par NatureWorks avec une production [annoncée] d'environ 75 000 t/a en 2011, c'est-à-dire près de la moitié de la production mondiale à cette date. Deux types de production peuvent être identifiés dans la production de chimie des polymères de spécialité. D'une part, il peut s'agir de PLA résistant à la chaleur, qui est un des verrous technologiques qui a marqué le développement du PLA à la fin des années 90. Dès lors, l'obtention de PLA de ce type, comme par Teijin

ou Synbra, permet donc de s'inscrire dans cette catégorie. La seconde direction tient en l'usage du PLA comme additif dans des plastiques ou des mousses isolantes, rejoignant donc les usages du PLA qui avaient cours dans les années 30. Enfin, la chimie fine concerne essentiellement la production de matériaux médicaux comme des prothèses ou des emballages de médicaments.

#### 2.2.2.1. Quelle place pour l'industrie de la chimie ?

Il apparaît, que dans ce classement, sont absents les grands producteurs de l'industrie de la chimie que sont Dow Chemicals, Dupont ou BASF alors que 1) le PLA est annoncé comme étant un des polymères biosourcés les plus avancés et que 2) les premiers brevets sur le PLA ont été déposés par DuPont. L'absence de Dow Chemicals est d'autant plus surprenante que la firme a fait partie de la *joint-venture* qui a donné naissance à Cargill. Le PLA se construit sur la base de la promesse de production d'un plastique biodégradable, à même de prendre « seul en charge la transition » pour reprendre l'expression de Nieddu *et alii* (2010) : les différentes firmes étudiées se positionnent sur des débouchés différents pour le PLA. Or l'industrie des plastiques n'existe pas sans l'utilisation d'additifs, et c'est justement ce que produisent les trois firmes évoquées plus haut.

Dow Chemicals s'est retirée en raison de tensions dans la gestion de la *joint-venture*. L'unité pilote était installée sur le site de Cargill à Blair dans le Nebraska. Ce faisant, la *joint-venture* achetait les matières premières à Cargill et payait une redevance pour la location du site, alors que Dow finançait les coûts variables (principalement énergétiques). Cette dernière souhaitait que soient introduits son mode de gestion et ses logiciels internes ainsi que soient utilisés ses procédés, ce que Cargill refusait notamment pour privilégier l'utilisation des brevets déposés depuis le début des années 90. Un autre point de tension résidait dans la difficulté de construire des débouchés suffisants pour le PLA afin de rentabiliser l'unité de production. Enfin, Dow Chemicals souhaitait introduire la question de la soutenabilité et de l'usage des OGM dans la production de plastiques, ce que Cargill a refusé (Anderson, 2010).

#### 2.2.2.2. Dow Chemicals produit des renforceurs

Depuis, Dow Chemicals offre dans sa gamme d'additifs pour plastiques (les Paraloid) des renforceurs pour la production d'emballages en PLA. La firme a donc exploité l'opportunité ouverte par la production d'une nouvelle molécule pour laquelle il apparaît nécessaire de développer des additifs. Le PLA est donc construit par retour comme une plateforme dotée de fonctionnalités propres (biodégradable, biocompatible) sur laquelle il est possible de « brancher » d'autres fonctionnalités.

#### 2.2.2.3. Le positionnement de BASF

BASF suit également une stratégie d'assemblage de fonctionnalités avec son polymère partiellement biosourcé Ecovio. Celui-ci est un mélange d'Ecoflex et de PLA. L'Ecoflex (un polymère d'origine fossile) est produit à partir de 1,4-Butanediol qui est un dérivé d'acide succinique, molécule sur laquelle BASF a un accord avec CSM, une filiale de Purac qui produit de l'acide lactique et du PLA. Si l'on suit les déclarations de C. Pétigny, responsable du développement durable et des relations scientifiques en France pour BASF, la stratégie d'introduction du végétal dans les produits de BASF suit une approche « transversale » (Formule Verte, 2015). Par conséquent, l'Ecovio pourrait devenir entièrement biosourcé par la suite. La stratégie de BASF illustre donc l'approche visant à gérer le développement de nouveaux produits de façon « modulaire » à partir des fonctionnalités offertes par

les produits du portefeuille d'activité des firmes de la chimie. Par exemple, BASF insiste sur la compatibilité en termes de biodégradabilité entre l'Ecoflex et le PLA. Enfin, Dupont a développé le Biomax Strong qui est utilisé pour renforcer le PLA, là aussi comme un additif. L'industrie de la chimie construit donc son entrée dans la filière du PLA sur la base de l'intégration d'additifs pour ce plastifiant, considéré par certaines firmes (comme Dupont et Dow Chemicals) comme un copolymère parmi d'autres, ou comme l'objet d'une stratégie transversale dans le cas de BASF. Ce faisant, cette stratégie participe d'un double mouvement de reproduction de la forme des filières de la chimie, mais également, d'ouverture d'opportunités pour les firmes de la chimie. Ce positionnement particulier laisse deviner la tension qui existe entre le discours des producteurs positionnés en amont des filières décrivant le PLA comme un polymère « prêt à l'usage » et la nécessité de développer des applications intégrables par des consommateurs en aval des filières. Comme le rappelle le brevet de DuPont de 1955 ce deuxième aspect est lié à l'histoire du développement du PLA qui était d'abord utilisé comme additif.

### 3. Une périodisation de la filière du PLA par ses promesses

La reconstitution de la filière du PLA a révélé la nécessité d'une analyse des promesses technico-économiques formées autour de ce polymère. Alors que nous avons analysé la famille de brevets qui donne naissance à la trajectoire économique du PLA, celle-ci ne nous informe que partiellement sur le maintien du développement d'une molécule jugée *a priori* comme trop chère. Il s'agit donc de pointer les raisons invoquées dans leurs discours par les acteurs économiques pour justifier l'intérêt pour cette molécule. Le cas des industries de la chimie montre que la stratégie d'entrée dans cette filière repose, pour elles, dans l'offre de fonctionnalités compatibles avec le PLA au niveau chimique, mais également avec les « fonctionnalités attendues » du produit ainsi formé.

#### 3.1. Fonctionnalités, promesses et mondes de production

On rappellera ici que Van Niel (2014) définit « l'économie de la fonctionnalité » comme l'offre de « solutions intégrées de biens et services » visant à substituer l'achat d'un bien par l'offre d'un panel de service s'appuyant sur la promesse de la valeur d'usage offerte par la consommation. C'est cette dimension que nous souhaitons retenir ici. Dans un contexte de transition, autour de produits *intermédiaires* appartenant à des niches traitées comme des patrimoines productifs, le processus d'exploration et de développement des produits repose sur l'identification de couples [produit/marché] pertinents.

Il y a donc une relation entre les « fonctionnalités » physico-chimiques intrinsèques du produit (la façon dont il réfléchit la lumière, sa barrière aux odeurs, etc.) et les « fonctionnalités techniques ou économiques attendues » pour ce produit. Dans le cas des bouteilles en plastique, leurs fonctionnalités attendues sont la résistance aux chocs et la possibilité de se déformer par exemple. Il s'agit là des fonctionnalités « techniques » du produit, telles qu'elles peuvent être décrites par les chimistes. En chimie, les fonctionnalités ou « groupes fonctionnels » (*functional groups*) sont définis comme suit : « *the functional group is an atom (or a group of atoms) that has similar chemical properties whenever it occurs in different compounds. It defines the characteristic physical and chemical properties of families of organic compound* » (Rittner et Bailey, 2005, p.113).

Or le développement de ces fonctionnalités est à mettre en relation avec la construction de la consommation et des usages des produits. L'usage de molécules issues du pétrole n'est pas le résultat d'une efficacité supérieure *a priori*, mais de la recherche de débouchés pour l'industrie pétrochimique visant à rentabiliser la production de carburants (c'est ce que montre Beninga, 1990).

Les produits sont donc un compromis entre les fonctionnalités chimiques et les usages que les acteurs cherchent à construire en fonction de celles-ci. Dès lors, dans un contexte de transition visant à substituer des produits d'origine fossile dotés de fonctionnalités particulières, il s'agit pour les firmes et les chimistes de réaliser ces compromis entre les propriétés des polymères biosourcés et les fonctionnalités attendues de ces produits. L'énoncé des fonctionnalités des nouveaux produits agit donc comme une promesse technico-économique sur la valeur d'usage pour les producteurs en aval des filières ou les consommateurs. Si nous reprenons l'idée de produits comme compromis entre différentes dimensions, nous prenons le parti de privilégier l'approche par les fonctionnalités promises plutôt que par les performances des produits de Brouillat *et alii* (2013) afin d'éviter de devoir choisir des indicateurs de performances environnementales, économiques, etc. Les produits étant des

compromis entre différents éléments (que ce soient les fonctionnalités ou les performances), ils renvoient nécessairement à un problème d'évaluation multicritère.

Sources et méthode :

Afin de caractériser la formation des mondes de production du PLA identifiés précédemment, nous avons montré que ces mondes n'étaient pas stabilisés et soumis à des logiques d'exploration et de structuration. Il s'agit, en identifiant les promesses technico-économiques qui structurent l'exploration technologique, de périodiser la formation des mondes de production du PLA. Pour cela, 1) nous datons les promesses et leurs évolutions afin de pointer les cycles d'espérances-désappointements technologiques et 2) nous identifions les débouchés du PLA. La première étape consiste à identifier sur quelle période se concentre le développement du PLA en tant que polymère d'intérêt pour les plastiques. Ainsi, nous interrogeons la base de données d'articles « Scopus » avec les requêtes « polylactides » ou « polylactic acid » dans les titres, résumés et mots-clés des publications.

Puis nous mobilisons des sources de 1950 jusqu'à nos jours d'origines géographiques diverses, mais également de nature différente : déclaratifs de firmes, publications scientifiques et brevets. Concernant les déclaratifs de firmes, nous mobilisons essentiellement des déclarations dans la presse spécialisée, mais également les communiqués de presse des firmes. Dans le cas des publications scientifiques, nous avons identifié les articles de type *reviews* qui font le bilan sur des points précis des trajectoires de développement du PLA ou plus généraux : analyses de cycles de vie, grande revue sur les modifications des polymères, etc. Enfin, nous mobilisons les brevets pertinents pour l'analyse, au sens où ils permettent de disposer d'information sur l'état des connaissances et des représentations au moment de leur publication.

Figure 111 : Sources et méthodes de la périodisation des promesses de la filière du PLA

## 3.2. L'explosion de l'item PLA dans les bases de données de revues

### 3.2.1. Une première approche globale de 1950 à 2016

Afin de « borner » dans le temps l'émergence du PLA, nous interrogeons la base de données « Scopus » avec les mots-clés indiqués précédemment. Cette première requête identifie 22 013 articles contenant « polylactide » ou « polylactic acid » dans leurs titres, résumés ou mots-clés<sup>178</sup> et qui sont répartis comme suit :

---

<sup>178</sup> Interrogation réalisée le 09/09/2015.

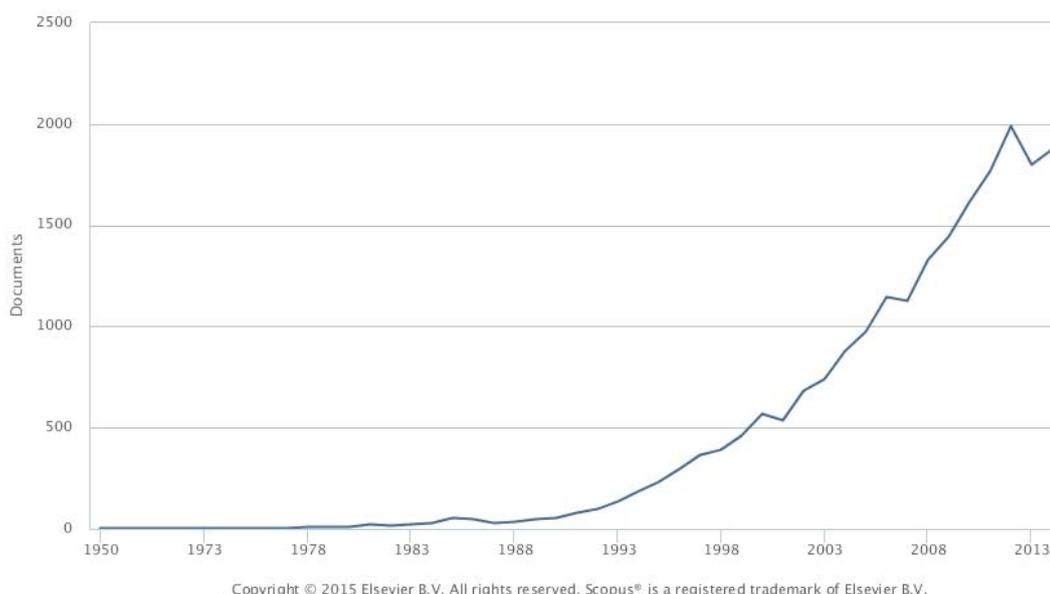


Figure 112 : Répartition des articles contenant "polylactic acid" ou "polylactide" entre 1950 et 2016 par années

Ce premier graphique nous indique que jusqu'en 1981, moins de 20 articles par an sont publiés sur le PLA (avec une absence de publications référencées entre 1950 et 1966). On a donc une dynamique qui s'enclenche à partir des années 80.

Le graphique suivant, nous indique la répartition des publications par champs de recherche :

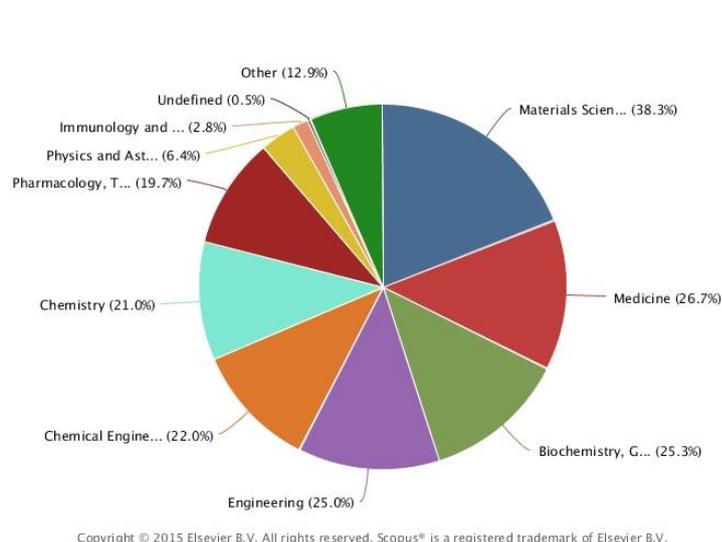


Figure 113 : Répartition des publications par thème sur la période 1950-2016<sup>179</sup>

Les champs les plus représentés sont les *materials science* (38,3 % du total), la médecine (26,7 %) puis la « biochimie, la génétique et la biologie moléculaire » (25.3 %), suivies par l'ingénierie, l'ingénierie chimique et la chimie. Il est à noter que la « pharmacologie et toxicologie » représente

<sup>179</sup> Chacun des articles identifiés peut être réparti dans plusieurs catégories, ce qui explique que la somme des parts pour chacun des champs soit supérieure à 100 %.

19,7 % du total des articles. Ainsi une partie non négligeable des articles concerne directement la médecine ou ses applications comme les prothèses ou les fils de suture.

### 3.2.2. Quelle dynamique de publications dans les polymères qui ne sont pas dédiés à la santé ?

La dynamique globale semble être impactée par les usages médicaux du PLA. Or nous cherchons à identifier le moment où émerge la problématique des usages comme plastique ou fibres du PLA. Pour cela, nous éliminons l'ensemble des revues et articles appartenant aux domaines médicaux. Une première correction à partir des domaines des articles nous conduit à éliminer 13 433 articles, pour arriver à un total de 8580. Une seconde correction est appliquée à partir des revues afin d'affiner les résultats. Elle porte le nombre d'articles à 7562 soit 34 % du total initial.

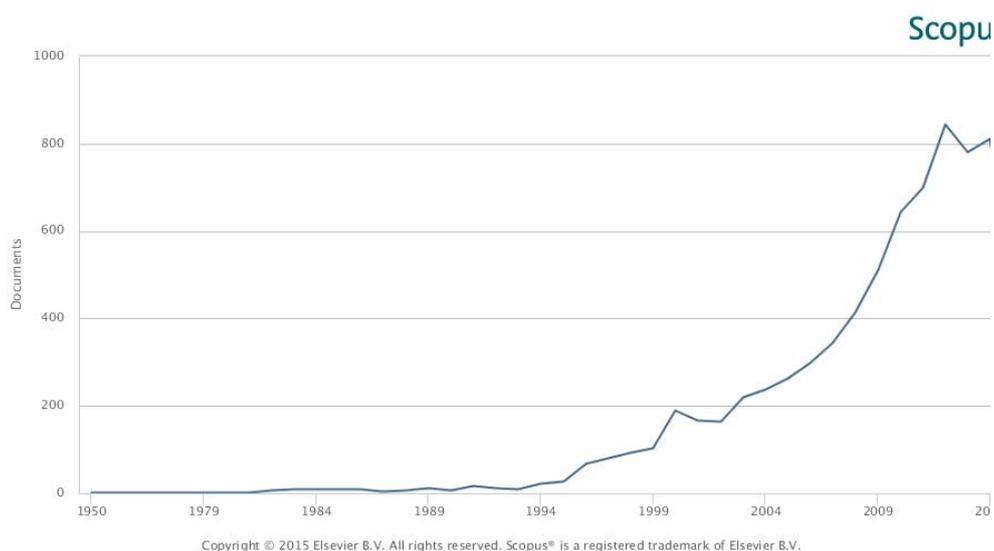


Figure 114 : Répartition des articles par années corrigée des articles de médecine et de pharmacie

La répartition des articles identifiés entre 1950 et 2016 concernant l'usage du PLA en dehors des usages médicaux montre une dynamique relativement similaire à celle identifiée préalablement, mais nous montre que l'augmentation du nombre de publications débute véritablement à partir de 1994. Parmi ces articles, 69,3 % font référence à la « science des matériaux » et 37,6 % à de la chimie.

Malgré une croissance continue, trois pics peuvent être observés en 1996 (68 articles), 2000 (188 articles) et 2012 (843 articles). Notre hypothèse est que ces phénomènes indiquent des effets de cycles autour des espérances technologiques sur le PLA. Il s'agit dès lors de nous tourner vers la littérature pour identifier les publications faisant état des promesses, mais également des déceptions technologiques.

### 3.3. Une périodisation des promesses et désappointements du PLA

#### 3.3.1. La période 1972 – 2000 : la construction des promesses du PLA

##### 3.3.1.1. Le début de la promesse sur le PLA

Ce n'est qu'à partir de 1972 qu'a été produit du PLA par Ethicon : celui-ci était un copolymère d'acide lactique et d'acide glycolique à destination des fils de suture (Lunt, 1998). Alors que les premiers brevets déposés remontent à la période 1930-1955, celui-ci a été laissé de côté, par rapport aux autres polyesters, en raison de sa biodégradabilité. En 1986 a été publié le premier article posant la question de l'usage du PLA pour d'autres applications que médicales (Lipinski et Sinclair, 1986). Les auteurs font le constat que l'acide lactique était alors devenu un monomère de chimie de spécialité qui pourrait être utilisé comme polymère de commodité, ce qui est justifié par la possibilité d'en augmenter la production pour en faire baisser le prix et la possibilité de le copolymériser dans le but de produire des polymères équivalents aux thermoplastiques utilisés dans l'emballage, grâce à la technologie de polymérisation par ouverture de cycles, mais qui seraient biodégradables.

En proposant d'augmenter la production pour en faire baisser le prix, les auteurs forment la promesse d'inscrire le PLA dans le monde de production de la chimie de commodités grâce aux progrès réalisés dans la maîtrise de la fermentation ; c'est-à-dire dans un monde de production où la compétitivité est déterminée par le prix et la possibilité de disposer d'une molécule « plateforme » que l'on peut adapter aux fonctionnalités attendues. Celles-ci sont ici celles des thermoplastiques tels que le PET ou le PVC.

Mais il émerge une tension dans le compromis de fonctionnalités du produit, inhérente à la stratégie adoptée : la différenciation dans le monde de production des commodités se réalise par le prix et la « flexibilité » de la molécule alors que pour justifier l'adoption du PLA, les auteurs invoquent des raisons environnementales qui compenseraient un prix plus élevé. Il pourrait donc en résulter non pas un polymère de commodité, mais plutôt un polymère de commodité « de luxe », c'est-à-dire plus cher que ses équivalents pétrosourcés, mais qui se situerait sur une niche. Ce discours vise donc à construire la promesse de la possibilité de s'inscrire dans le monde de production des commodités, avec ses promesses liées aux fonctionnalités du produit, mais également les verrous technologiques et économiques à lever :

<u>Promesses</u>	<u>Verrous</u>
Origine biosourcée	Difficulté de fermentation
Biodégradable et biocompatible	Difficulté de conversion des groupes hydroxyles et carboxyliques
Résistant à la tension, propriétés équivalentes aux thermoplastiques pétrosourcés	Problèmes de purification

Figure 115 : Promesses et verrous technologiques chez Lipinski et Sinclair (1986)<sup>180</sup>

<sup>180</sup> Les colonnes doivent être lues séparément.

### 3.3.1.2. Les avancées techniques et la promesse de débouchés

Un brevet de DuPont datant de 1988 fait état d'un « novel polylactide composition containing segments of poly(R-lactide) interlocked with segments of poly(S-lactide) » (Murdoch et Loomis, 1988). C'est ce travail sur la composition entre les deux types de lactides (les R- et S- lactide) issus de la fermentation de l'acide lactique et qui font l'objet de la polymérisation qui ouvre la voie à la conception et la production du PLA comme une molécule plateforme : « *the present invention includes processes for preparing the above described compositions e.g., by mixing and combining the previously-prepared polymeric components in a suitable solvent or in a molten state, and processes for preparing gels and porous structures of the composition. The invention can be employed to prepare absorbable stitching threads used in vivo, bone plate, artificial tendons, artificial ligaments, artificial blood vessels, time release carriers for medication, films used in cultivation in agriculture, fibers, ropes, time release carriers for agrichemicals, and separatory films for industrial use* » (Ibid., p.4-5)<sup>181</sup>. Ainsi, aux promesses de Lipinski et Sinclair (1986) détaillées précédemment, s'ajoute la promesse de débouchés dans des segments qui sont à la fois spécifiques et très larges (les « fibres », les « films industriels »).

### 3.3.1.3. L'introduction de la réflexion sur les fonctionnalités du PLA

Le brevet de Sinclair (1993) participe à la poursuite de la structuration de cette promesse en introduisant une réflexion quant aux fonctionnalités attendues par un produit comme le PLA. Le résumé présente le brevet comme « *an environmentally degradable composition comprising blends of a physical mixture of poly(lactic acid), and a polymer selected from the group consisting of poly(ethylene terephthalate), a polymer or copolymer of styrene, ethylene, propylene, vinyl chloride, vinyl acetate, alkyl methacrylate, alkyl acrylate, and physical mixtures thereof; plasticized with D-lactic acid, L-lactic acid, racemic D,L-lactic acid, D-lactide, L-lactide, mesoD,L-lactide, racemic, D,L-lactide, oligomers of lactic acid, oligomers of lactide, derivatives of oligomers of lactic acid, or various mixtures thereof* » (Sinclair, 1993). C'est-à-dire que le PLA est présenté comme une plateforme à même d'être copolymérisé avec les principaux plastiques dans lequel le PLA pourrait jouer le rôle de plastifiant. Le polymère est donc présenté comme pouvant remplir les fonctionnalités attendues par des matériaux de ce type, du fait de ses propriétés : plus loin, l'auteur écrit : « *However, there are good reasons for the use of packaging plastics. They provide appealing aesthetic qualities in form of attractive packages which can be quickly fabricated and filled with specified units of products* » (ibid., p.1). Le produit est donc « projeté » dans le monde de production de la chimie de commodités pour lequel « *there is a need for an environmentally degradable packaging thermoplastic as an answer to the tremendous amounts of discarded plastic packaging materials* » (ibid., p.1). Le compromis sur le produit exposé ici relève donc de la possibilité d'insérer celui-ci dans un monde de production existant, car il est possible de l'insérer dans la « logique produit » des thermoplastiques fondée sur l'usage d'une matrice et d'un plastifiant (qui est ici le PLA) dont la différenciation pourrait se fonder sur la biodégradabilité du produit.

Ces trois premières publications révèlent également une tension dans la construction et la gestion de l'identité du PLA comme molécule plateforme de commodité. Elle pourrait être utilisée seule (dans le cas de Murdoch et Loomis, 1988) ou comme additif ou matrice pour d'autres produits (Lipinski et Sinclair, 1986 ; Sinclair, 1993). La dynamique du PLA du point de vue du travail, le travail de construction de l'identité consiste en la démonstration des fonctionnalités du produit à la différence

---

<sup>181</sup> Souligné par nous.

d'un produit plus récent, le PEF d'Avantium. Il se veut un substitut pour la matière première du PET (par l'usage de l'éthylène biosourcé) puis de la substitution du téréphtalate par un autre polymère biosourcé (le 2,5 FDCA) et non d'origine fossile, remplissant exactement les mêmes fonctionnalités que le PET.

Ce mouvement de fortes espérances technologiques se poursuit tout au long des années 90 avec une série de publications technico-économiques qui visent à relier les fonctionnalités chimiques du PLA aux fonctionnalités attendues d'un produit qui est construit comme un produit de substitution *par ses fonctionnalités*. Ainsi, Datta *et alii*. (1996) écrivent : « *Polymers of lactic acids [NdA : le PLA] are biodegradable thermoplastics. A fairly wide range of properties are obtainable by copolymerization with other functional monomers, such as glycolide, caprolactone, and polyether polyols. The polymers are transparent, which is important for packaging applications* » (p.226). On retrouve encore en 1996 la nécessité de faire tenir ensemble, dans la promesse, les fonctionnalités chimiques du produit et les fonctionnalités attendues.

#### 3.3.1.4. La fin des années 90 : le pic de la promesse

Ce qui est particulier à la période 1996-1999 est la volonté de préciser les conditions et opportunités de production (et donc d'investissement) dans des unités de production de grandes tailles pour la production de PLA. Datta *et alii* (1996) expliquent par exemple que « *it should be noted that the high volumes can be reached only when the prices are within acceptable ranges* » (p.225), ce qui signifie ici qu'il est nécessaire d'augmenter les quantités produites pour en faire diminuer le coût de production et justifier son adoption dans la plasturgie. En contrepoint à l'enthousiasme de Datta *et alii*, Sinclair (1996) rappelle que « *the proposition of introduction PLA as a commodity thermoplastic when presently it is an expensive, niche, biomedical material is an ambitious goal* » (p.585). Cet auteur, qui avait déposé un brevet présenté plus haut, reconnaît la difficulté de transformer un tel produit. Les années 90 correspondent à la mise en œuvre du procédé de production du PLA par ouverture de cycle par Cargill (*cf.* 2.1.2. de ce chapitre), suivant en cela les préconisations de Lipinsky et Sinclair (1986) : « *good polyesters [NdA : ce qu'est le PLA] are obtained only via a ring-opening polymerization that requires special attention to technique* » (Lipinsky et Sinclair, *op. cit.*, p.26).

Bien que les auteurs évoquent la nécessité d'adapter le processus de production, il y a bien un travail sur l'identité du produit quand ils parlent en 1986 de l'acide lactique comme étant constitué d'un « *desirable set of functional groups and potential availability in huge quantities at low prices* » (*ibid.*, p.26) ou plus tard : « *Market acceptance would have to come from the growing green movement, at first into niche markets. The competition in these markets would be (...) recycling of conventional plastics, which obviously cannot serve all the plethora of the many plastic types, grades, formulations (molecular weights, fillers, dyes, pigments), blends, and multi-plyes* »<sup>182</sup> (Sinclair, p.596).

Ce type de *storytelling* est repris par Lunt (1997) qui est un chercheur de Cargill. Sa contribution fait état du développement de la possibilité de développer la production d'acide lactique en grande quantité et à moindre coût avec des techniques fermentaires qu'avec des procédés utilisés des produits d'origine fossile. Cette approche permet à l'auteur de mettre en récit le procédé de Cargill

---

<sup>182</sup> Surligné par nous.

qui permet de prédire et modifier les proportions des trois lactides (D -, L- et meso-lactides) obtenus dans le procédé de production du PLA et donc d'adapter le produit aux fonctionnalités attendues :

**Table 1. Crystallinity benefits**

Product	Benefits
Fibres/non wovens	Improved heat set Chemical resistance Higher strength
Cutlery	Heat resistance Stiffness
Deli trays/cups	Heat resistance e.s.c.f
Films	Blocking resistance Permeability Chemical resistance

Figure 116 : Intérêt de l'usage du PLA pur en termes de fonctionnalités apportées par la gestion de la cristallinité du produit (extrait de Lunt, 1997, p.148)

Plus loin, l'auteur réalise la même opération en considérant les propriétés mécaniques du PLA pour son usage comme film alimentaire :

- **flexural modulus > polystyrene;**
- **resistance to fatty foods and dairy products equivalent to PET;**
- **excellent flavour and aroma barrier;**
- **good heat sealability;**

Figure 117 : comparaison des propriétés mécaniques du PLA pur pour l'emballage alimentaire (extrait de Lunt (1997, p.149)

Ce corpus d'articles fait donc état d'un ensemble relativement homogène, mais très général de promesses. Le PLA serait plus flexible que le polystyrène, présenterait de meilleures qualités barrières que des emballages alimentaires traditionnels, etc.

Les publications de la période 1997-2000 marquent l'entrée du PLA dans les matériaux reconnus, car il est étudié et comparé aux autres sans être associé à une promesse particulière, ou du moins, du type de celles présentées précédemment. Par exemple, Ramkumar et Bhattacharya (1998) s'attachent à caractériser les propriétés de polyesters biodégradables ou Calmon *et alii* (1999) comparent, dans le cadre d'une étude sur les méthodes d'analyse de la biodégradabilité, différents polymères biodégradables dont fait partie le PLA.

### 3.3.2. De 2000 à 2004 : désappointements sur le PLA « pur »

#### 3.3.2.1. D'un polymère de commodités comme les autres au nouveau thermoplastique biodégradable ?

Alors que Cargill Dow (qui devint NatureWorks suite au retrait de Dow Chemicals de la *joint-venture*) annonçait la construction d'une unité de production (Dartee *et alii*, 2000), c'est à cette date que reprirent les publications dédiées à la construction et l'entretien des promesses technico-économiques du PLA. Ainsi, deux chercheurs de Galactic estimaient qu'il était « *probable and close is PLA becoming a commodity plastic* » (Bogaert et Coszach, 2000, p.287). Au-delà de ce qui apparaît aujourd'hui comme une espérance excessive, étant donnée l'actuelle diffusion limitée du PLA, le sens de la promesse associée au PLA évolue légèrement. En plus d'être un polymère de commodité en devenir (tant par le coût que par les applications dans l'agriculture, la consommation courante, etc.), il serait avant tout un des seuls polymères de commodités pour les plastiques qui seraient véritablement biodégradables. Les auteurs tentent de bâtir une chronologie des polymères biodégradables avec une première génération qui « *did not stisfy public's expectations of complete degradation* » (*ibid.*, p.289), suivis d'une deuxième génération portée par le MATER-BI de Novamont qui souffrirait des problèmes de dégradation liés au mélange amidon/caprolactone utilisé pour le produire. La troisième génération de polymères serait donc le PLA qui « *display excellent biodegradability and mechanical properties* » (*ibid.*, p.289). Cette dernière citation illustre bien la nécessité pour ces acteurs de construire des promesses technico-économiques, car plus tôt dans le texte, ces mêmes auteurs écrivent : « *PLA, for instance, starts degrading only when in contact with water and under specific conditions (pH, T°)* » (*ibid.*, p.288), ce qui pose deux problèmes. D'une part, les auteurs construisent le discours sur les trois générations de polymères pour justifier de la meilleure biodégradabilité du PLA, qui serait économiquement rentable, alors que justement, elle nécessite de développer des installations industrielles pour gérer la dégradation des matériaux comme le reconnaissent les auteurs : « *if PLA is now technically ready to meet numerous industrial requirements, its market will only develop simultaneously with the **setting up of biodegradable selective waste collection waste*** »<sup>183</sup> (*ibid.*, p.302). D'autre part, les conditions requises pour la dégradation sont la présence d'eau, d'acidité et d'une certaine température, ce qui pose problème pour les applications à destination de l'agriculture (principalement les bâches agricoles) ou les gobelets en plastique devant contenir des liquides chauds.

#### 3.3.2.2. Une tentative de maintien des promesses face aux désappointements

Malgré ces premiers désappointements, on trouve en 2002 deux articles faisant état de promesses à la fois environnementales et techniques sur le PLA. Cette molécule n'est plus considérée seulement sous l'angle de la plateforme de commodité qui a l'avantage d'être biodégradable, mais avant tout comme un polymère biosourcé et biodégradable et qui a la particularité de pouvoir satisfaire un ensemble de fonctionnalités attendues. C'est le sens de la comparaison entre les polymères biodégradables qu'effectuent Gross et Kalra (2002, p.803) : « *Target markets for BPs [Biopolymères, NdA] include packaging materials (trash bags, wrappings, loose-fill foam, food containers, film wrapping, laminated paper), disposable nonwovens (engineered fabrics) and hygiene*

---

<sup>183</sup> Surligné par nous.

*products (diaper back sheets, cotton swabs), consumer goods (fast-food tableware, containers, egg cartons, razor handles, toys), and agricultural tools (mulch films planters).* ». Cette liste concerne l'ensemble des polymères biodégradables, mais la promesse pour le PLA porte ici plutôt sur la résistance à la pourriture, mais aussi son intégration dans les chaînes de production existantes : « *Hence, even at high humidity, it is uncommon to encounter contamination of high molecular weight PLA by fungi, mold, or other microbes. This unusual characteristic of a BP is attractive for applications in which they are in direct contact with foods for extended time periods. PLA can be converted into compost in municipal compost facilities. It can be thermally processed with minimal changes to standard machinery* » (*ibid.*, p.805). Concernant les promesses pour l'alimentation, Balkcom *et alii* (2002) écrivent sensiblement la même chose : « *PLA is resistant to moisture and grease. It has flavor and odor barrier characteristics similar to the popular plastic polyethylene terephthalate (PET) used for soft drinks and many other food products* » (Balkcom *et al.*, 2002, p.1) et concluent leur article ainsi : « *Poly-lactic acid is a biodegradable polymer made from renewable resources. It is a versatile material with applications in the medical, textile and packaging industries and can be used in anything from sweatshirts to blister packs. It is a material that is creating a lot of interest in the packaging industry for its outstanding properties and earth-friendly biodegradability* » (*ibid.*, p.5).

### 3.3.2.3. Quelle identité du PLA ? L'exemple de Cargill Dow

Dans la dynamique de la période 2000-2004, des chercheurs de Cargill Dow ont publié plusieurs articles construisant l'identité du PLA : « *With well-structured marketing support, NatureWorks PLA packaging can transform packaging from a commodity cost item to a differentiable marketing feature at the point of the sale* » (Vink *et alii*, 2004, p.554)<sup>184</sup>. Ainsi, les auteurs font la liste des débouchés pour leurs produits :

*« In addition to traditional food packaging applications, several leading companies are exploring an exciting array of non-food packaging applications for PLA, including:*

- *Sony Walkman body (...)*
- *Mitsui-Chemicals telephone cards*
- *Sanyo compact disc*
- *Matsushita (Panasonic) battery packaging (...)*
- *Fujitsu PC body components* » (*ibid.*, p.554)

Paradoxalement, ces exemples d'utilisation relèvent plutôt des essais industriels que de débouchés stabilisés, dans lesquels le PLA serait devenu le nouveau PET ou le nouveau polystyrène. Cette promesse est à la fois plus précise que celles formulées dans les articles présentés précédemment, mais également plus vague : il existe une telle différence entre chacun des usages qu'en réalité, il faudrait disposer de produits très spécifiques qui ne sont pas mentionnés ici. L'identité qui est construite est donc bien celle d'une « *global platform of sustainable and versatile polymers and chemicals entirely made from renewable resources* » (Vink *et alii*, 2003, p.403) dont les « *prices are*

---

<sup>184</sup> La première version de cet article a été présentée en 2003 lors d'une conférence sur les polymères biosourcés.

coming down » (Vink *et al.*, *op. cit.*, p.563). Conscients des limites techniques du PLA, Vink *et alii* (2003), c'est-à-dire l'équipe de recherche à l'origine du développement du PLA chez NatureWorks, écrivent : « *As a new polymer, NatureWorks PLA offers the best promise for continued improved against current performance characteristics. These improvements will ultimately be derived from a mix of materials, process and volume improvements, and represent a key difference between PLA and conventional materials that is relatively difficult to capture in 'snap shot' life cycle analysis* » (p.418). Il s'agit bien de la construction d'une promesse technico-économique. Mais l'on notera aussi que ce qui justifie la poursuite des recherches sur le PLA, dans le discours, est la possibilité de produire des matériaux le mêlant à d'autres polymères.

On retrouve ici de nouveaux éléments de tension dans le compromis de produits : il est désormais reconnu comme nécessaire, pour utiliser le PLA, de réaliser des mélanges avec d'autres matériaux pour obtenir la fonctionnalité voulue.

### 3.3.3. Une autre voie ouverte dans la période 2003-2008 : l'exploration de l'hybridation du PLA

#### 3.3.3.1. L'intérêt de l'hybridation entre PLA et plastifiants comme témoin du désappointement

Le fait que les chercheurs de NatureWorks voient dans les mélanges PLA/plastifiants une voie d'avenir pour améliorer les usages du PLA montre que le PLA ne rencontre pas spontanément les fonctionnalités attendues par celui-ci et signe, au moins partiellement, l'échec de la stratégie de construction du PLA comme molécule de commodités incontournable.

Par exemple, Garlotta (2001) dans un long *review* le PLA soulignait la nécessité de prendre en compte la résistance à la chaleur tant pendant le processus de thermoformage que dans son utilisation. C'est à partir de cette date que l'on voit émerger la thématique de la résistance à la chaleur dans la littérature sur le PLA : penser comme un substitut au niveau des fonctionnalités, la construction de l'identité doit affronter les attendus critiques pour justifier de l'intérêt d'une substitution. Suite à cela, Ray et Okamoto (2003) ont (ré)-introduit l'idée d'une amélioration des propriétés du PLA (celles d'être un polymère potentiellement thermoformable, biodégradable, biocompatible et biosourcé) par la réalisation de mélanges avec des composites. Si l'idée du mélange est ancienne – le brevet de 1954 rappelait que le PLA était utilisé essentiellement comme additif –, le discours ne va pas dans le sens de la construction du PLA comme polymère isolé, mais bien comme une plateforme sur laquelle peuvent être construits des produits devant remplir un certain nombre de fonctionnalités. On entre ainsi dans ère non plus de promesses, mais d'apprentissage sur la processabilité et les combinaisons avec d'autres polymères : aux différentes applications promises dans les années 90 correspondent des désappointements qui doivent donc être gérés.

Reprenant les conclusions d'Auras *et alii* (2003), Khare et Deshmukh (2006, p. 194-195) écrivent que « *the problem in using biodegradable polymers like polyglycolic acid, polylactic acid (PLA), and polycaprolactone is that they do not have properties sufficient to fully replace common polymers. (...) Commercially, biodegradable aliphatic polyesters being developed, e.g., polyhydroxyalkanoates (PHA) and PLA, are generally more biodegradable than aromatic polyesters; but they lack adequate mechanical properties for most applications* ». Ces acteurs cherchent donc un moyen de gérer le désappointement qui passe par un retour sur le cœur de la trajectoire qui fonde le PLA : « *Polyester-based families have*

recently been introduced by Cortec Corporation to bridge the gap between performance and biodegradability. In one example, it is achieved by incorporating various amounts of PLA so that the biobased product (PLA-polyester blend) is biodegradable, with properties equivalent to that of HDPE »<sup>185</sup> (Khare et Deshmuk, 2006, p.196). Ce faisant, l'identité du PLA n'est plus la même et c'est bien le compromis entre fonctionnalités qui est en question : « care has to be taken so that the percentages and types of filler and additives are added in such proportions so as not to unduly deteriorate the properties of the virgin polymer during its projected period of use » (Ibid., p.208). C'est finalement cette trajectoire qui semble s'imposer au niveau scientifique (Auras et alii, 2004 ; Lim et alii, 2008).

### 3.3.3.2. Réexplorer la base de connaissances pendant une crise : le retour aux mélanges à base de PLA, soit l'usage initial

À partir de 2007, les publications sur le PLA ont essentiellement visé à proposer des mélanges afin de lever les *lock-ins* qui empêchent l'utilisation de ce polymère tel qu'il a pu être conceptualisé dans les années 90. Il pourrait donc s'agir d'une période de refondation du compromis de fonctionnalités fondant le produit. Afin de renouveler les promesses du PLA, NatureWorks (2007) a publié un document de quelques pages faisant l'inventaire d'un certain nombre de mélanges possibles, mais qui signale également les « problems or issues when incorporating other polymers into PLA » (NatureWorks, 2007, p.3).

Les points faibles du PLA
1) Sensibilité à l'hydrolyse 2) Faible résistance thermique 3) Faible résistance aux chocs 4) Forte perméabilité aux gaz 5) Mauvaise tenue à chaud

Figure 118 : Inventaire des points faibles du PLA (à partir de notre revue de littérature)

Le tableau précédent inventorie les points faibles du PLA pour les usages de commodités pour lesquels il a été promu à partir du début des années 90. Comme nous l'avons montré dans notre revue de littérature sur les PLA, mais aussi constaté lors d'une journée technique consacrée aux polymères biosourcés organisée par le pôle IAR, la fonctionnalité que les acteurs cherchent avant tout à préserver est la biodégradabilité. Il semble que, dans le fond, ce soit celle-ci qui justifier la promesse de substitution des plastiques d'origine fossile et permette de tenir l'effort de recherche. Dès lors, l'impression pour l'économiste est que l'on se trouve face à une expérimentation « tous azimuts » des candidats à être introduits dans les composites, comme en témoigne une analyse de monographies de chercheurs faites par Nieddu dans un séminaire de l'ANR AEPRC2V en 2013 faisant l'inventaire de tout ce qui pouvait entrer dans les composites (nanocelluloses, montmorionite, etc.). Domenek et Ducruet (2016, p.201) font également référence à cette vaste littérature sur les composites qui s'appuie sur un autre type de promesses technologiques, celui des nanomatériaux.

### 3.3.3.3. La variété des voies d'hybridation

La première des voies peut consister en l'ajout de polymères renforçants tels que ceux développés par Dupont avec le Biomax, mais ces procédés augmentent les coûts de production, sortant le PLA du monde de production des commodités. Dans le cadre de la comparaison décrite par

<sup>185</sup> Surligné par nous.

les acteurs économiques dans les filières de la chimie, à fonctionnalités équivalentes, le PLA devient alors plus cher que d'autres polymères (biosourcés ou non) et donc, il serait plutôt utilisé pour des applications techniques.

La deuxième des voies envisagée est celle d'une plus grande différenciation entre les PDLA et PLLA. Lors du processus de polymérisation sont produits des D- et L-lactides dont la variation de proportion dans les mélanges modifie les propriétés. Ce type de mélanges permet par exemple d'améliorer la résistance à la chaleur ou aux chocs. Le PLA « standard » (produit par NatureWorks essentiellement) est un PLLA dont les performances peuvent être améliorées en augmentant la proportion de D-lactide comme peut le faire Purac. Cependant, comme nous l'avons montré plus haut et confirmé par (Dever, 2015), ce type de production positionne Purac dans le monde de production de la chimie fine ou des polymères de spécialité.

Le PLA peut également être mélangé avec d'autres polymères biosourcés comme le PHA pour améliorer la résistance thermique. La firme Metabolix a proposé en 2013 un mélange de PLA/PHB<sup>186</sup> pour améliorer la résistance du PLA au choc. Ce faisant, c'est une façon de tenter de préserver le compromis de fonctionnalités qui fonde le produit : « Blends of PLA with PHB copolymers are an attractive option because these blends do not compromise the biobased carbon content and compostability of PLA » (Krishnaswamy et Padwa, 2013, p.1). Là encore, ce type de mélanges en raison du coût de production du PHA ou du PHB qui se situe autour de 6-7 €/kg ne permet pas d'utiliser ces mélanges dans la production de produits de commodités, c'est-à-dire ce pour quoi le PLA est promis. Il se forme alors un compromis temporaire par l'hybridation de deux technologies présentées comme concurrentes.

Enfin, le PLA peut être renforcé à partir de composites comme des fibres naturelles comme du chanvre comme Hu et Lim (2007) ou Graupner (2009) afin de produire des fibres résistants mieux aux chocs. Parmi les composites, Hassan *et alii* (2013) citent également les nanocomposites. Il s'agit de particules diffusées dans la matrice formée par le polymère d'origine. L'avantage de ces matériaux est décrit comme permettant, même en petite quantité, d'améliorer fortement les polymères. Toutefois, ils posent un problème environnemental majeur : le contrôle de leur dégradation et leur dispersion dans l'environnement est très mal maîtrisé. Ce faisant, ce type de produits bouleverserait donc le compromis de fonctionnalités fondé sur la biodégradabilité du PLA.

---

<sup>186</sup> Les PHA sont une large famille de polymères dont les PHB font partie.

Cette situation explique le fait que les firmes communiquent sur la diffusion de leurs produits, et que leurs clients en font de même. Par exemple, la firme australienne Biopack offre des gobelets, etc. en plastique dont une partie de sa gamme est biosourcée. Elle communique à ce titre largement sur l'usage du PLA Ingeo, c'est-à-dire celui offert par NatureWorks. La communication est organisée par NatureWorks comme en témoigne le site dédié au soutien marketing du PLA Ingeo pour leurs clients<sup>187</sup>) ou le « Ingeo Food Serviceware supplier Guide » qui fournit une liste des clients de la firme en détaillant les usages du PLA pour l'alimentaire (emballages, gobelets, etc.). Dans l'ensemble, ces firmes produisent des gobelets pouvant être entièrement biosourcés quand ils ne sont pas destinés à être utilisés pour recevoir des contenus chauds. En revanche, on peut trouver des exemples de gobelets ou de capsules de café pour lesquels le PLA est mélangé à d'autres fibres pour éviter le problème de résistance à la chaleur.

## Conclusion : vers une méthodologie d'analyse d'autres filières-produit de la chimie doublement verte

Le cas de l'acide lactique permet de révéler les dynamiques dans lesquelles l'émergence du PLA est insérée. L'acide lactique est un exemple des dynamiques de substitution dans les usages des matières premières sur longue période. On a vu que l'acide lactique « vient de loin ». Il était d'abord utilisé dans la tannerie pour ses propriétés acides avant d'être utilisé pour remplacer le vinaigre puis comme lubrifiant pendant la Première Guerre mondiale. L'usage de l'acide lactique, produit à partir d'amidon, dans l'alimentaire illustre le remplacement des usages traditionnels par une première période de « chimisation » de la consommation. Or, jusque-là la chimie était majoritairement biosourcée. Le remplacement de l'acide lactique par d'autres produits, puis les tentatives de production de celui-ci par une voie pétrosourcée marque une nouvelle période de transition. On rappelle comme cela a été vu en introduction générale que les travaux des années 1979-1981 donnent une place de choix à l'acide lactique dans les candidats à la substitution de produits issus de pétrole (cf. l'article dans Science de Lipinsky, 1981). Les tentatives de valorisation de cette voie vont mener à la recherche par Cargill de développer des polymères biosourcés à partir du PLA.

Si l'on reprend le fil historique de l'émergence du PLA en tant que tel, la mise en évidence ce qui était appelé auparavant « polylactides » s'inscrit dans le contexte de la recherche dans la chimie des fibres : les premiers brevets sur le PLA ont été déposés par l'équipe de DuPont qui a découvert le nylon. Le schéma suivant propose une représentation schématique de l'histoire du PLA et nous permet de saisir en dynamique les grandes étapes de développement du PLA et des dynamiques scientifiques associées.

---

<sup>187</sup> <http://ingeo.natureworksllc.com/> ; consultée le 21/09/2015

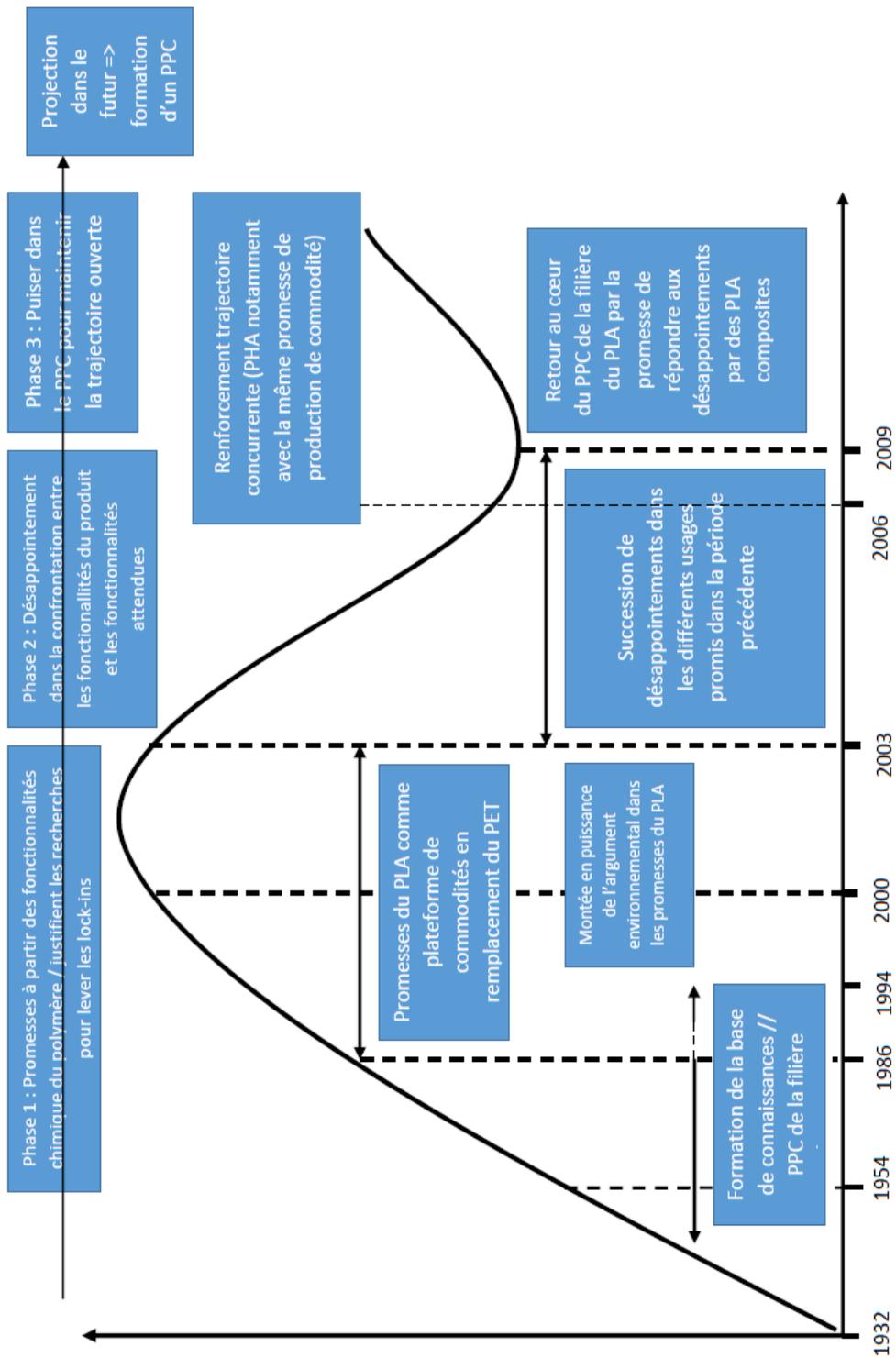


Figure 119: Le cycle de promesses du PLA

La première phase de développement du PLA correspond à la réalisation d'un inventaire des promesses technico-économiques allant dans le sens du développement du PLA comme molécule plateforme, et ce dès le brevet de DuPont de 1954. Durant cette période allant de 1954 à 2000, on peut identifier plusieurs sous-périodes. Tout d'abord, la première sous-période d'exploration jusqu'aux années 80-90 a conduit à tirer parti des propriétés du PLA pour produire des fils et prothèses en chimie fine. Puis, la deuxième sous-période s'étend de la fin des années 80 jusqu'au milieu des années 90 (1996-1997). À cette époque, le PLA est promis à un avenir de molécule plateforme de commodité qui a un petit avantage supplémentaire : sa biodégradabilité – il occupe une place vedette dans les recensions de la fin des années 1990 avec les amidons thermoplastiques (TPS), et est présenté comme le produit emblématique de la chimie des sucres et des procédés de fermentation attendus depuis la fin des années 1970 (voir partie précédente).

C'est dans la troisième sous-période allant de 1997 à 2003 que l'argument environnemental va prendre sens dans le discours des acteurs en promouvant la biodégradabilité et le caractère biosourcé du produit. Les présentations de la journée technique « biopolymères » organisées par le pôle IAR montrent que contrairement aux publications exposées d'avant 1990, les acteurs insistent sur la biodégradabilité du produit. Cette évolution signe donc un *turning-point* (au sens de Dumez et Jeunemaître, 2005) dans la construction de l'identité du produit.

Au-delà de l'inventaire des fonctionnalités chimiques permettant de qualifier le PLA comme un produit de commodités, la focale mise sur l'origine végétale du produit permet de justifier les attentes sur l'articulation problématique avec les fonctionnalités attendues (par exemple, la résistance à la chaleur). La période 2003-2008 est marquée par l'inventaire des déceptions technologiques liés aux PLA et par l'inadéquation entre les promesses technico-économiques et les fonctionnalités attendues. Malgré cela, les acteurs continuent de produire de la démonstration industrielle et construisent des espaces de compromis temporaires montrant que « c'est possible » de réaliser du PLA. Cependant, fondamentalement, la réponse à ces déceptions est un retour au cœur du patrimoine productif du PLA par trois stratégies qui ne sont pas nécessairement exclusives les unes des autres.

La première d'entre elles prend acte des limitations techniques du produit et le construit comme un produit « premium » grâce à une stratégie *marketing* de 1) promotion de l'usage du PLA de Naturewoks dans le cas des gobelets en plastique pour les liquides froids ou qui ont été utilisés lors des Jeux olympiques de Sydney ou 2) de la production de polymères de spécialité dans le cas de Heiji. Dès lors, le PLA n'est plus construit comme un strict produit de commodité, mais comme un produit doté de fonctionnalités particulières qui justifient un « premium price ». La deuxième stratégie qui explore les nanocomposites pour renforcer la structure de la matrice formée par le PLA puise dans la stratégie initiale d'usage du PLA qui était de l'utiliser dans des mélanges. Enfin, la dernière stratégie vise à produire des mélanges de PLA à partir de polymères concurrents comme le PHA. Si l'on suit les études de marché (cf étude de 2006 ou celle du DS de Total, 2015), il semble que les promesses autour du PHA (ou de ses nombreuses déclinaisons comme le PHB ou le PHBV) portent également sur la substitution des plastiques comme le PET<sup>188</sup>.

---

<sup>188</sup> Dont Volvic et Coca-Cola utilisent une version biosourcée à hauteur de 30 % : seule l'éthylène, qui représente 30 % de la formulation, est biosourcé alors que le téréphtalate reste d'origine fossile.

Il existe donc des stratégies d'hybridation qui visent ici à sortir le PLA d'une catégorie de chimie de spécialité et à l'ancrer dans la chimie des commodités, non sans résistances en raison des problèmes de coûts de production. Ici, dans le cadre comparatif que construit la logique de substitution par fonctionnalités attendues, le mélange PLA/PHA serait trois à quatre fois trop cher pour être utilisé dans la production de plastiques de grande consommation. Ceci montre que les molécules concurrentes avec lesquelles le PLA peut être mélangé participent également de la structuration de l'espace de compromis temporaires entre producteurs et industries consommatrices de produits intermédiaires. Cela montre également que les autres molécules sont elles aussi prises dans des cycles d'espérances/désappointements et constituent également des arènes de développement.

Le PLA est donc entré dans une phase où ce qui prend le pas sur les promesses du produit, c'est le travail d'apprentissage des technologues, tel qu'il a pu être réalisé pour optimiser les polymères d'origine fossile. Les technologues qui tels Gonod insistent sur les 3C (le caractère cumulatif, combinatoire et complémentaire des technologies) diraient que ceux-ci doivent apprendre comment trouver des mélanges où les différents matériaux sont compatibles entre eux (par ex ; pour réaliser des multicouches), combinatoires (pour atteindre ensemble des fonctions cibles) et comment elles sont cumulatives dans cet objectif (par ex. dans le cas du PLA comment le film peut être rendu moins « collant » pour entrer dans des *process* d'imprimerie – pour les emballages alimentaires). On en veut pour preuve la dernière application en vogue des composites à base de PLA : les produits pour imprimante 3D. D'une faiblesse du produit (sa ductilité), les chercheurs vont faire un avantage fonctionnel, jouant sur la malléabilité qui est un inconvénient à d'autres endroits. La régulation du changement se fait donc non pas à partir de signaux de prix à ce stade, mais par un processus d'enrichissement des attributs du produit intermédiaire qui permet de continuer à explorer différentes utilisations potentielles. Les acteurs cherchent ainsi à organiser autour d'eux l'exploration des possibilités offertes, comme en témoignent l'organisation de colloques thématiques destinés à former des communautés autour de leurs produits<sup>189</sup>, selon le même type de stratégies que celles déployées sur la bakélite en d'autres temps. Cette dynamique est formalisée sur le schéma suivant.

De ce point de vue, au-delà des résultats empiriques obtenus sur la forme de la filière du PLA, c'est-à-dire une filière structurée par l'amont, avec des acteurs de l'acide lactique en *joint-ventures* avec des producteurs de l'étage intermédiaire de la filière c'est-à-dire la production de PLA, cette étude de cas nous a permis de mettre en évidence la base de connaissance de la filière, les cycles de promesses et de désappointements, menant à des compromis temporaires et des logiques d'hybridation entre technologies. Grâce à cette étude de cas, nous disposons d'un étalon de longue période sur l'un des produits de la chimie des sucres, qui va nous permettre d'analyser les cas des acides succinique et lévulinique, en repartant toujours d'une analyse en longue période, jusqu'à la formation des promesses technico-économiques par les acteurs.

---

<sup>189</sup> Voir par ex., organisé par NatureWorks « Innovation takes root : a collaborative biopolymers forum for the global Ingeo Community, march 30-April1, 2016, Orlando, Florida, <http://www.innovationtakesroot.com/program#films>

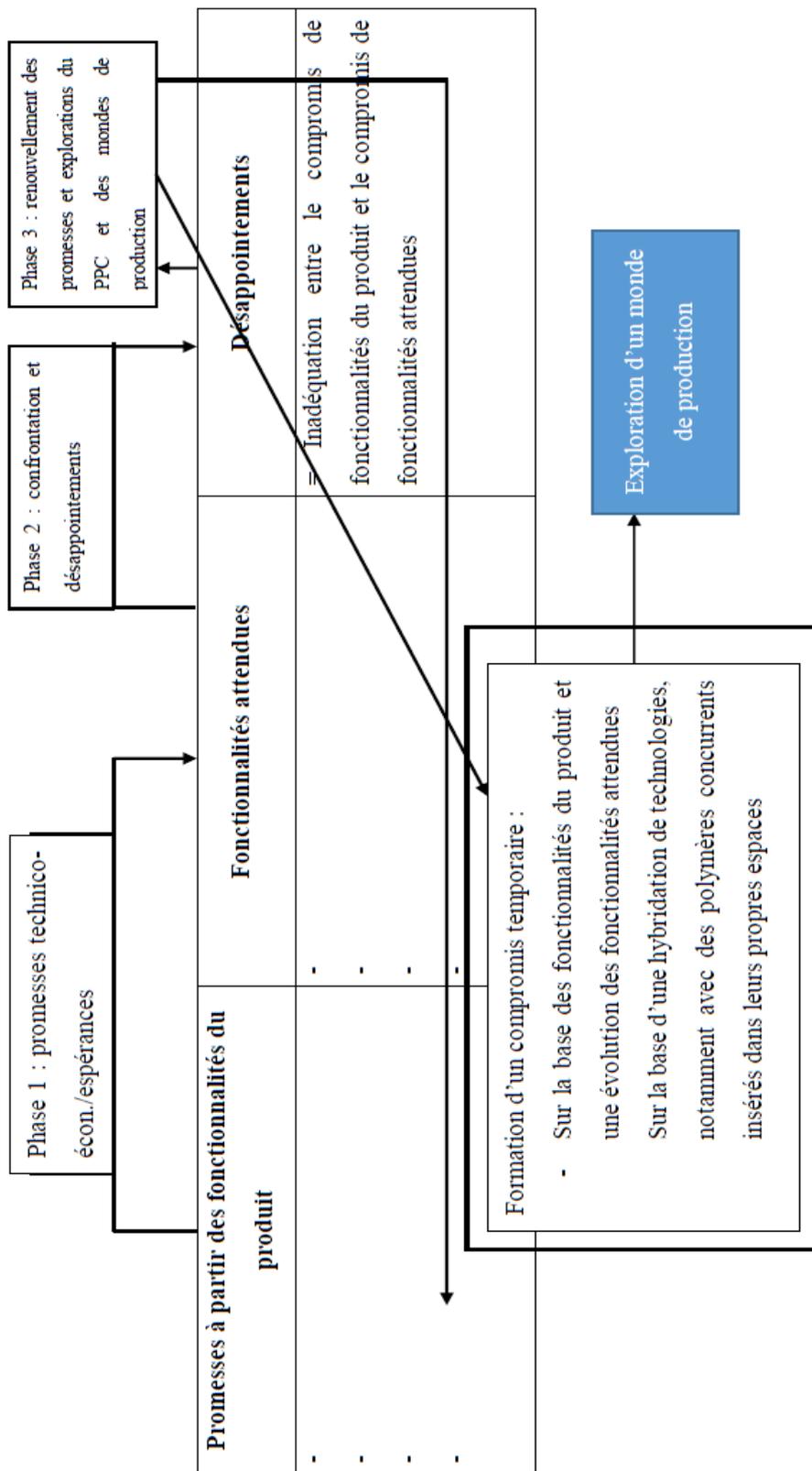


Figure 120 : Une formalisation des dynamiques de promesses et leurs liens avec les patrimoines productifs collectifs

## CHAPITRE 7 – LE CAS DES DEUX AUTRES « PETITES MOLECULES », L'ACIDE SUCCINIQUE ET L'ACIDE LEVULINIQUE

Le cas de l'acide lactique et des PLA nous a permis de disposer d'une étude sur longue période qui nous a permis de corroborer les observations faites sur les formaldéhydes et d'inscrire l'analyse de la formation des filières dans les dynamiques de transition. Nous avons retenu deux autres produits intermédiaires vus par les acteurs comme de bons candidats pour devenir des précurseurs d'une chimie biosourcée. En effet, ils entrent dans deux types de *process* différents, ce qui nous oblige à entrer – et à faire entrer le lecteur – autant que nos compétences limitées le permettent dans la chimie. Les PLA sont, d'un certain point de vue, de la famille des polyesters « classiques ». Après l'étape de fermentation pour obtenir l'acide lactique, le procédé de polycondensation qui conduit au PLA en fait un « polymère chimiosynthétique » proche de la culture traditionnelle des chimistes, tout en étant ancré dans l'univers des agro-industries.

L'acide succinique lui, est devenu un produit intermédiaire emblématique des biotechnologies issues de l'ingénierie génétique. C'est une molécule bien connue des pétroliers, car elle était produite industriellement à partir de dérivés du pétrole (acétylène et formaldéhydes) dont les débouchés sont connus. Mais un ensemble de brevets américains l'ont pris pour cible de transformation à partir de souches enzymatiques obtenues par ingénierie génétique (il est facile de multiplier les brevets concurrents dès lors que des différences même minimes entre souches existent)<sup>190</sup>. La course à la propriété intellectuelle va conduire des macro-acteurs à s'allier avec des start-ups détentrices de brevets pour explorer le développement industriel. Il s'agit donc d'un produit qui est au cœur de la bioéconomie du 2<sup>e</sup> type, qui se propose d'introduire des innovations de rupture remettant en cause des chaînes de valeur traditionnelles<sup>191</sup>. L'objectif de produire de l'acide succinique par voie biotechnologique (on parle alors de *biosuccinic acid* obtenu à partir de glucose) à des prix assez proches de la voie pétrolière a semblé atteignable dès la fin des années 1980, avec une impressionnante série de brevets de porteurs différents durant les années 1990. Il s'agit donc de viser une substitution terme terme pour un produit à usages et marchés connus, l'acide succinique étant déjà un précurseur de polyesters d'origine fossile.

---

<sup>190</sup> La guerre des brevets présentée comme la panacée du développement économique des années 1990 a montré à cet endroit comme à d'autres dans le domaine de la bioéconomie ou ailleurs ses effets délétères : en janvier 2016, Reverdia et Bioamber décident d'enterrer la hache de guerre : « *Dans l'environnement de plus en plus complexe de la propriété intellectuelle, la conclusion de cet accord illustre comment deux sociétés proactives opérant dans le même domaine peuvent trouver une solution constructive pour leur permettre de se concentrer sur l'exécution de leurs affaires plutôt que de chercher la confrontation et le conflit* », a justifié Jean-François, p-dg de BioAmber. Lu sur le site <http://formule-verte.com/acide-succinique-reverdia-et-bioamber-renoncent-a-contester-leurs-brevets/> le 24/08/2016.

<sup>191</sup> Par exemple, la société GNP va disposer d'un brevet probablement issu de la recherche publique, et ARd à la recherche d'une alliance dans le domaine des biotechnologies va s'allier avec elle au sein de Bioamber. Un premier

L'acide lévulinique lui, est obtenu par un procédé de conversion thermochimique de biomasse cellulosique (bois, paille, maïs, etc.) à haut rendement, obtenu avec des coproduits dans un *process* en continu (charbon et acide formique). Il pourrait être un précurseur de biocarburants, de substituts au bisphénol A, d'herbicides. Il n'est pas étonnant de le rencontrer aux côtés de l'acide succinique dans le top 12 de l'exercice de prospective américain de 2004, si l'on considère qu'il avait déjà été identifié dans les années 1950 comme un précurseur à haut potentiel pour un ensemble de produits intermédiaires (Leonard, 1956).

---

pilote industriel (installé en 2007 dans la bioraffinerie de Pomacle-Bazancourt près de Reims, disposant d'une capacité de production de 2 000 t/an) a pu en produire à partir de sucres et résidus lignocellulosiques fermentés par [E. Coli](#) en atmosphère enrichie en CO<sub>2</sub>.

## 1. Une bioéconomie des biotechnologies : Le cas de l'acide succinique

Le cas de l'acide succinique est marqué par la présence de *start-ups* comme BioAmber ou Genomatica qui cherchent à licencier ou industrialiser des procédés qu'elles mettent en œuvre, aux côtés de macro-acteurs. On a vu également que la production d'acide succinique biosourcé (bioAS) entretient une relation de substitution directe par rapport à l'acide succinique pétrosourcé ; par ailleurs, la reconnaissance par l'USDA de son caractère non toxique dans l'alimentation lui ouvre des débouchés dans le complexe formé par l'alimentaire et le non alimentaire. Enfin, il semble que dans les drivers des stratégies des firmes, un puissant moteur de développement soit le fait que cette molécule paraît pouvoir atteindre un coût de production plus faible par une voie biotechnologique biosourcée que pétrochimique, et ce très rapidement (en tous cas il existe une place sur les marchés, où les conditions de pureté obtenues par voie biotechnologique intéressent particulièrement le client ; ces conditions de pureté ont rapidement permis d'ouvrir des marchés pour le bioAS, d'après nos interviews). La problématisation de l'espace économique porte sur les nombreuses promesses du bioAS en tant que précurseur impliquant des positionnements dans les filières différentes. Ce sont donc ces positionnements qu'il faut éclairer.

L'intérêt du cas de l'acide succinique est donc double. D'une part, il s'agit de tester la méthodologie que nous avons proposée en début de partie. D'autre part, l'étude d'une molécule particulièrement insérée dans les biotechnologies va nous permettre de nous intéresser aux *joint-ventures* et par là, aux stratégies développées dans ce type de filière et ainsi compléter l'analyse des stratégies de positionnement dans les filières entreprises dans la partie précédente.

### Méthodologie :

Étant donné le contexte d'émergence de l'acide succinique, on attache une importance particulière à l'analyse des prises de position par les *joint-ventures* regroupant des macro-acteurs comme BASF ou Myriant qui est la branche dédiée à l'acide succinique du groupe public thaïlandais de chimie PTT Chemicals et des entreprises fondées sur la connaissance comme Genomatica. Cette dernière est productrice de 1,4 butanediol biosourcé qui est un des débouchés majeurs pour l'acide succinique. À cet égard, nous proposerons tout d'abord une représentation technico-économique de la filière de l'acide succinique. Puis nous positionnerons, après avoir fait leur inventaire, les acteurs et les *joint-ventures*, sur les différents segments de filière. Cette première représentation sera accompagnée d'une seconde représentation chronologique décrivant la formation des accords entre acteurs. Enfin, nous dresserons le tableau des promesses de l'acide succinique.

Figure 121 : Méthodologie de l'étude de cas sur l'acide succinique

## 1.1. De la production d'acide succinique à la formation de promesses technico-économiques dans la science

### 1.1.1. D'un intermédiaire-clé à un autre : l'exemple de la production de PBS pétrosourcé et biosourcé

La production d'acide succinique est actuellement pétrosourcée. D'après les études que nous avons consultées, la production d'acide succinique s'élèverait entre 30 et 35 kt/an. Cet acide est utilisé dans la pharmacie (notamment dans la production de vaccins), dans les cosmétiques, l'alimentaire et 5 % de la production est utilisée pour la production de PolyButylène Succinate (PBS). On va mobiliser ici l'exemple du PBS.

Le PBS est un plastique biodégradable dont les propriétés sont proches des polyoléfinés, c'est-à-dire les plastiques comme les polyéthylènes. L'obtention du PBS, dans la voie pétrosourcée, implique une étape d'oxygénation dans un procédé développé par BASF pendant la Seconde Guerre mondiale (Chauvel et Lefebvre, 1989) alors que les procédés biosourcés cherchent à éviter cette étape en profitant de la présence de l'oxygène de la biomasse pour le produit biosourcé. Ainsi, le schéma d'organisation de la production que proposent les acteurs est le suivant :

La problématique développée par les entreprises porte donc si on s'intéresse prioritairement aux PBS (l'acide succinique étant un moyen) sur la façon la plus rapide ou la plus économique d'aller vers les PBS, sachant qu'on peut produire de l'acide succinique, puis du 1,4 butanediol (step by step) ou comme le revendiquent Bioamber ou Génomatica éliminer des étapes (one step dans la réaction)<sup>192</sup>.

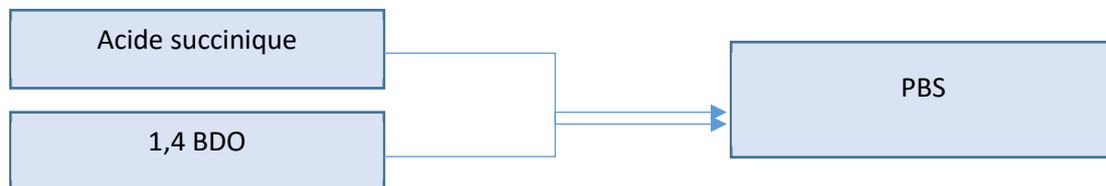
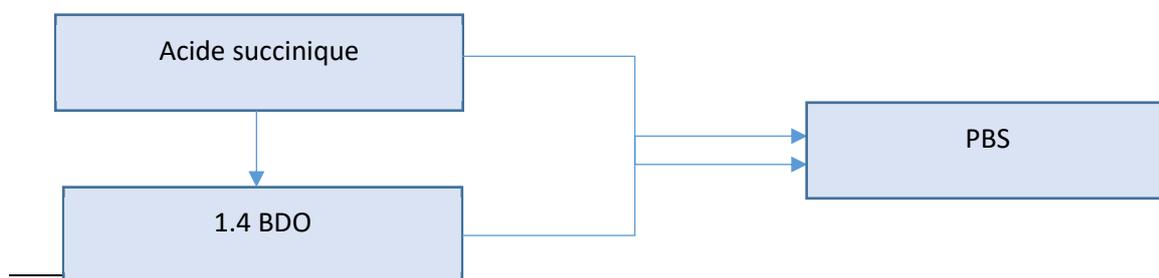


Figure 122 : Étapes de production du PBS



<sup>192</sup> L'obtention de l'acide succinique à partir de 1,4-butanediol ou inversement. « BioAmber can transform its bio-based Succinic acid into 1,4-Butanediol (BDO) and Tetrahydrofuran (THF) in a single catalytic step. BDO and THF are used to make engineering plastics, polyurethanes, biodegradable polyesters, spandex and other specialty chemicals. We make exactly the same chemical. It is a straight drop in for existing BDO and THF consumers, but is bio-based, rather than being petroleum based, providing the products made with our BDO and THF a better environmental footprint. », [https://www.bio-amber.com/bioamber/en/products#succinic\\_acid](https://www.bio-amber.com/bioamber/en/products#succinic_acid), consultée le 15/08/2016.

Pour l'acide succinique, il existe une volonté de produire de l'acide succinique à destination de la production de PBS, c'est-à-dire qu'il y a substitution de la chimie du pétrole (l'acide succinique et le 1,4 BDO) en vue de développer de nouveaux usages pour le PBS. De notre point de vue, le problème des industriels est donc de déterminer s'ils se donnent comme priorité de produire du PBS pour s'ouvrir la voie vers des polyesters (priviliégiant ainsi une voie « one step » ou « one pot ») ou s'ils souhaitent disposer d'une unité de production d'acide succinique laissant place à une plus grande versatilité pour l'acide succinique lui-même, telle qu'elle est évoquée dans le schéma ci-dessous ou s'ils considèrent que le 1,4 BDO est leur cœur de plateforme<sup>193</sup>. L'économiste se heurte ici au problème de la surabondance des promesses et à la très grande variété chimique ; il se heurte également au fait que la position du chimiste académique quant au champ des possibles n'est pas la même que celle de l'industriel : pour ce dernier, le chemin le plus simple peut être la séparation des étapes, ou la sélection d'une voie maîtrisable industriellement.

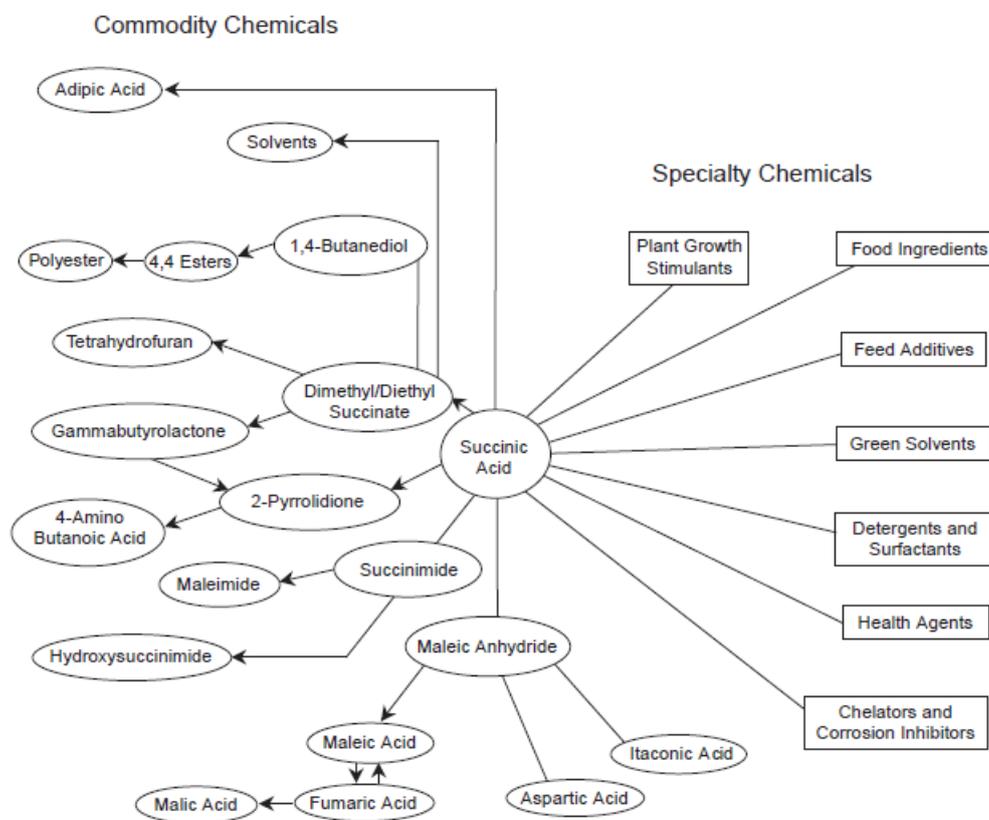


Figure 124 : Les débouchés pour l'acide succiniques (d'après Zeikus *et alii*, 1999)

<sup>193</sup> Si nous comprenons bien le projet Succipack (2012-2014), il s'agit d'étudier des PBS différents passant d'un PBS biosourcé « première génération » (step by step) à un PBS biosourcé de « deuxième génération » obtenu par « one step ».

1.1.2. Une trajectoire de promesses ancrée dans les biotechnologies

1.1.2.1. De 1980 à 1999

1.1.2.1.1. 1980 : l'énoncé de la promesse

Les premières références portant sur l'ancrage de l'acide succinique dans les biotechnologies datent de 1980. Zeikus (1980) fait référence, dans l'introduction de sa contribution aux recherches menées dans les années 1930 à 1950 ou au début des années 60 sur la production de produits chimiques et de carburants à partir de bactéries anaérobies, mettant ainsi au cœur de la réflexion sur les *process* la base de connaissance en microbiologie. Dans le discours, les productions des biotechnologies devraient servir (1) à limiter le recours à l'usage du pétrole dans un contexte d'augmentation du prix de celui-ci et (2) devrait permettre, par le retraitement des eaux usées, de récupérer des chaînes carbonées longues déjà produites.

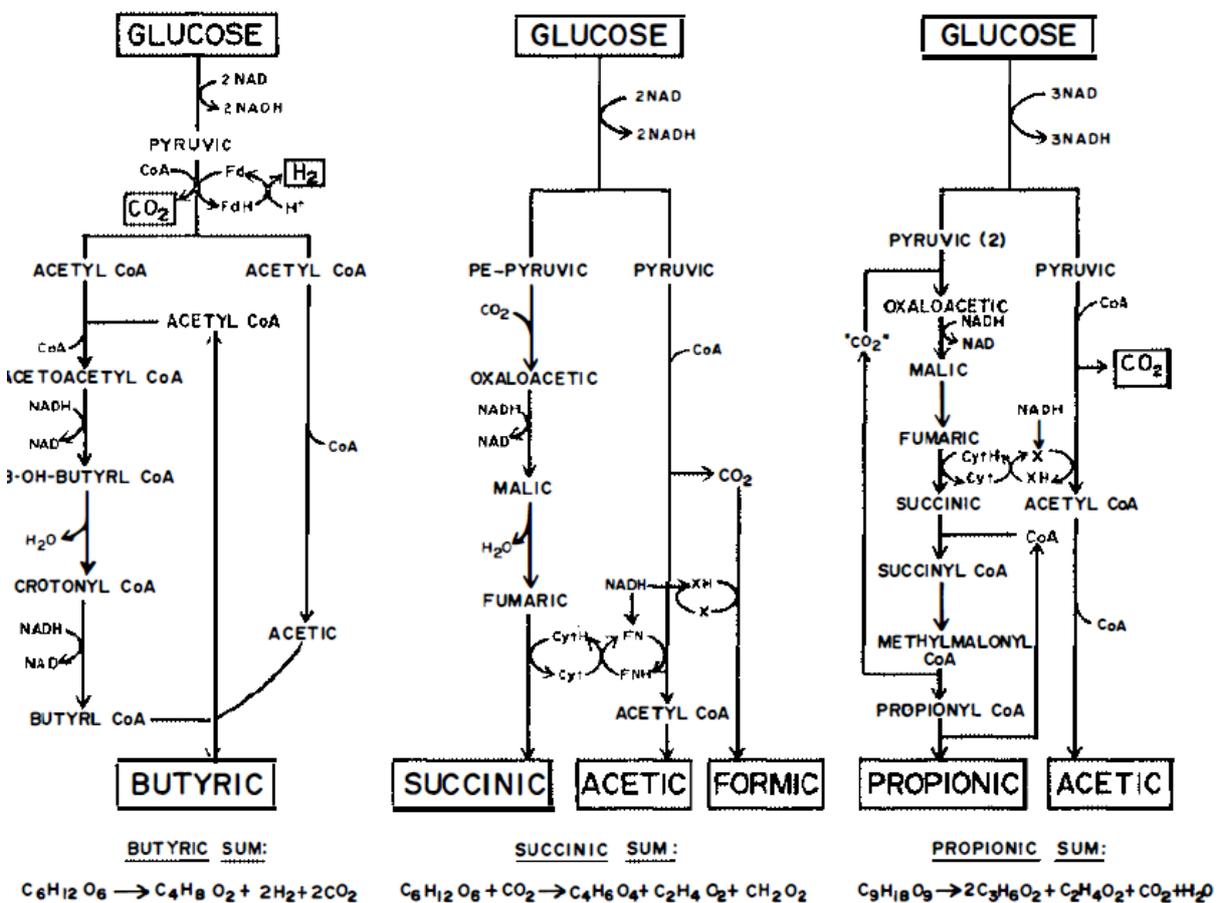


Figure 125 : La formulation des promesses sur l'acide succinique (Zeikus, 1980, p.443)

Sur le schéma précédent, on peut voir que la problématisation de l'industrie par le concept de bioraffinerie autour d'une variété d'intrants, traités par des *process* biotechnologiques devant déboucher sur une variété de produits, était déjà présente à cette époque. Cette contribution ouvre le débat sur les produits qui pourraient être issus des biotechnologies, parmi lesquels l'acide succinique, et surtout, sur les types de bactéries à utiliser. Les articles que nous avons pu lire (*cf.* bibliographie sur l'acide succinique) posent tous, même brièvement, cette question. Ce qui indique que la modification des bactéries est considérée comme la base de connaissance-clé pour avancer sur le verrou technologique à lever ; les promesses technologiques de la microbiologie sont donc au cœur

de l'article de Zeikus. Or, nous pensons que d'autres problèmes se posent, relevant de connaissances plus tacites ou moins académiques, sur lesquelles les ingénieurs communiquent beaucoup moins, qui sont les maîtrises de *process* industriels, et les coûts de séparation/purification.

#### 1.1.2.1.2. 1992 – 1995 : la formulation de la promesse sur les débouchés

La promesse de substitution de la voie pétrolière a été formulée explicitement dès 1992 par Glassner *et alii* qui revendiquaient, dans leur brevet (qui est le prolongement d'un brevet de 1986, apparemment), d'avoir mis au point le premier procédé industrialisable de production biotechnologique d'acide succinique : « *succinic acid and its derivatives are widely used as specialty chemicals for applications in polymers, foods, pharmaceuticals, and cosmetics. Furthermore, succinic acid is a valuable 4-carbon intermediates useful for the production of 1,4-butanediol, tetrahydrofuran, and gammabutyrolactone. Although the succinate ion is a common intermediate in the metabolic pathway of several anaerobic microorganisms, there are no examples of any prior art fermentation that produces succinate in large amounts or with high yields* » (Glassner *et alii*, 1992, p.1). Cette même année furent déposés deux autres brevets (Datta, 1992 ; Datta *et alii*, 1992) défendant également la possibilité de produire de l'acide succinique par des *process* économiques viables. Par exemple, Datta *et alii* (1992), dans la description des méthodes et matériels utilisés, insistent sur l'usage de blé à faible coût avec des bactéries *A. Succiniproducens*. Comme leur nom l'indique, ces bactéries sont connues pour produire de l'acide succinique par digestion des carbohydrates, c'est-à-dire durant le processus de fermentation. La détermination du type de bactéries à utiliser, et leur optimisation, est donc au cœur du procédé biotechnologique. À cela s'ajoute, dans les trois brevets, la possibilité de recycler une partie des matières premières (principalement les bactéries) pour être réutilisées dans un nouveau cycle de production.

Plus tard, Zeikus *et alii* (1995) ont insisté sur la place de l'acide succinique dans une chimie biosourcée des commodités qui tirerait partie de la faiblesse des prix des matières premières agricoles : « *commodity agricultural crops such as corn, and food processing wastes, such as molasses raffinates, are potential sources of low-cost succinic acid* » (Zeikus *et alii*, 1995, p.71). Pour cela, les auteurs identifient trois verrous technico-économiques : « *For fermentation processes to gain wide application in generating succinic acid for specialty and commodity chemical production, they must be economically attractive. Both low-cost fermentation methods and efficient product recovery and purification methods are required. Anaerobic fermentation offer promise for the production of large quantities of low-cost chemicals because of their high yields and straightforward scale-up requirements for very large-scale fermentations* » (*Ibid.*, p.71). Les conditions de rentabilité économiques des procédés biotechnologiques de production d'acide succinique reposent donc sur la possibilité de disposer de matières premières à faibles coûts, de techniques de récupération des effluents (à l'image du brevet de Glassner *et alii*, 1992 par exemple) et de purification de ceux-ci, et la possibilité de développer des unités de production de grande taille.

En 1999, Zeikus *et alii* publièrent une nouvelle contribution<sup>194</sup> justifiant l'intérêt de l'acide succinique par le fait que les « *green technology [are] becoming more of a driving force in the chemical industry because of the current need to decrease pollution caused by petrochemical processing and the*

---

<sup>194</sup> Citée près de 700 fois à l'automne 2015, en faisant une contribution incontournable dans l'étude de la trajectoire de développement de la filière de l'acide succinique biosourcé.

*future need to replace the dwindling hydrocarbon economy with a renewable, environmentally sound, carbohydrate economy » (Zeikus et alii, 1999, p.545). La seconde promesse formulée par les auteurs est que l'acide succinique « has the potential to become a large-volume commodity chemical that would form the basis for supplying many important intermediate and specialty chemicals for the consumer products industries. As a commodity chemical, succinic acid could replace many commodities based on benzene and intermediate petrochemicals, resulting in a large reduction in pollution from the manufacturer and in the consumption of over 250 benzene-derived chemicals » (Ibid., p.546).*

#### *Conclusion de l'étude sur la période 1980 - 1999*

À la différence de l'acide lactique pour la production d'acide polylactique, les acteurs ne sont donc pas dans la problématique de la migration vers un monde de production de plateforme de commodités, car l'acide succinique était déjà une plateforme de commodité. L'arbre des promesses de débouchés établi en 1999 identifie des débouchés dans la chimie de spécialité, qui ne sont pas visés ici, dans l'anhydride maléique (qui est un débouché traditionnel de l'acide succinique qui n'est plus visé par l'acide succinique biosourcé), dans le 1.4 BDO qui permet d'atteindre la production de solvants et l'acide adipique. Comme nous le rappelions précédemment, les contributions de Jung *et alii* (1999) et Lee (1999) développent des visions dans lesquelles l'acide succinique est considéré comme l'intermédiaire chimique nécessaire à la production de plastiques à moyenne valeur ajoutée, mais qui seraient biodégradables.

Dès lors, l'acide succinique est construit comme une molécule qui serait un des premiers intermédiaires en amont d'une ou plusieurs filières construites autour d'un discours de développement durable dans lequel se confrontent deux mondes de production : d'une part, celui de la chimie de commodités dans lequel est inscrit l'acide succinique d'origine fossile, et d'autre part, la nécessité de trouver un débouché emblématique comme le PBS qui n'est pas un produit de commodité.

#### 1.1.2.2. De 2000 à nos jours

##### 1.1.2.2.1. L'acide succinique dans le « top 10 » américain

L'acide succinique est, comme on l'a indiqué plus haut entré dans le « top 12 » américain établi par Werpy et Petersen (2004). Cette liste était destinée à « qualifier » les molécules susceptibles d'une transition vers une chimie doublement verte. Les verrous identifiés par les auteurs étaient, dans l'esprit, identiques à ceux décrits par Zeikus et ses co-auteurs : la nécessité d'améliorer les rendements des réactions, de développer des procédés de catalyse insensibles aux impuretés, etc., tout cela afin de diminuer les coûts de production. Comme le montre le schéma suivant, l'inventaire des débouchés n'a pas évolué :

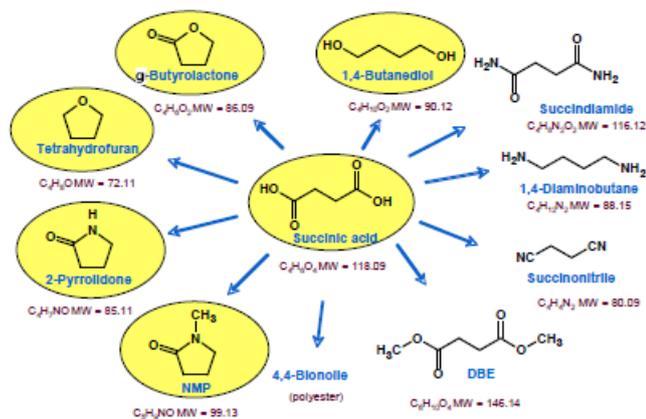


Figure 126 : Les débouchés possibles de l'acide succinique dans le Top 10 (d'après Werpy et Petersen, 2004, p.23)

Dans cette illustration des débouchés, il apparaît que les seuls débouchés considérés pour l'acide succinique sont d'autres intermédiaires chimiques : les hybridations possibles, voire nécessaires, avec d'autres types de technologies ne sont pas mentionnées, comme cela a pu être le cas à la fin des années 90 pour les mélanges décrits par Lee *et alii* (1999). Au contraire, les auteurs s'efforcent de qualifier chacun des débouchés comme relevant soit de la chimie de commodités, soit de la chimie de spécialité, comme le N-Méthyl-2-pyrrolidone (NMP), soit de commodité comme le 1.4 BDO ou le THF :

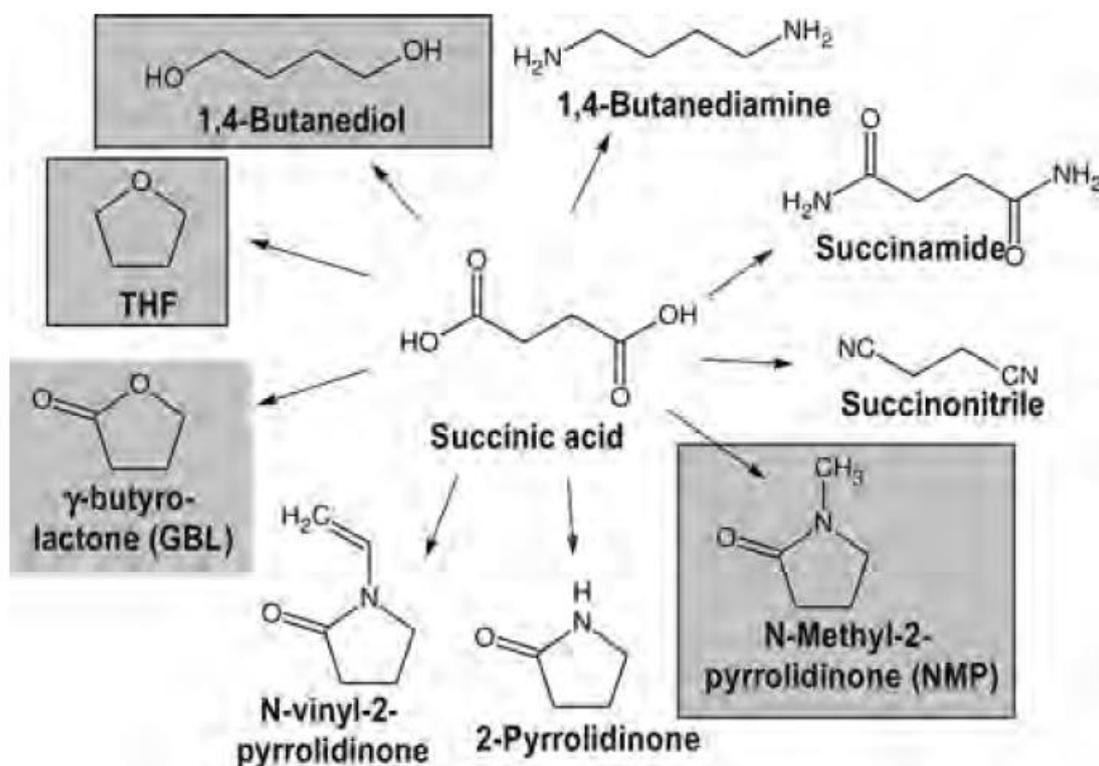


Figure 127 : les principaux débouchés de l'acide succinique (d'après Werpy *et alii*, 2006, p.372)

#### 1.1.2.2.2. À partir de 2004 : l'acide succinique comme illustration de la division du travail à venir

On a constaté que la conception de l'acide succinique et de ses débouchés reste relativement identique au cours du temps. Par ailleurs, cette molécule sert dans la période 2004-2006 à problématiser, à partir de la vision mimétique d'un passage de la raffinerie à la bioraffinerie remplissant les mêmes objectifs, la division du travail dans l'industrie comme en témoigne cette contribution de Werpy *et alii* ci-dessus. La molécule est étudiée, car elle représente le modèle de molécule plateforme prenant le relais d'intermédiaires pétroliers, intégrable dans une bioraffinerie utilisant du sucre extrait de matières premières agricoles (comme le blé) à bas coûts, dont les premiers débouchés sont clairement identifiés. Si la question des matières premières était déjà présente dans la période précédente, la nouveauté est la montée en puissance du discours sur une « *biobased industry* ».

#### 1.1.2.2.3. À partir de 2007 : une succession de déceptions

De ce point de vue, la publication de Budarin *et alii* (2007) réunit une partie de l'équipe du Green Chemistry Centre of Excellence de l'Université de York<sup>195</sup> et est intitulée comme suit : « Towards a Bio-Based Industry : Benign Catalytic Esterifications of Succinic Acid in the Presence of Water ». Ce titre participe de l'intention d'ancrer l'acide succinique comme un objet de construction de discours visant à structurer l'émergence de l'ensemble de l'industrie biobasée.

Cette dimension est parfaitement claire chez Bechthold *et alii* (2008) : « *the suitability of succinic acid as a platform chemical is based on the ease of its biotechnological production and on the huge variety of chemicals that can be produced from it by chemical conversion* » (Bechthold *et alii*, 2008, p.647). L'acide succinique est donc mis en avant, parce qu'il représente une success-story potentielle de l'industrie bio-basée. L'autre face de la pièce est pourtant moins réjouissante : « *many problems like slow growth, high by-product formation, and low yield could be solved partially by metabolic engineering. Nevertheless, a complete suppression of the by-products has not been achieved yet. (...) The subsequent problem of the biotechnological process is product purification (downstream processing). Regarding the rising energy prices, electro dialysis may probably not be the best suited method. The power consumption is rather high for an intended bulk chemical* » (*Ibid.*, p.651).

On ne peut mieux décrire le fait que le sentier n'a pas un caractère d'évidence lorsqu'on quitte le laboratoire. En effet, chacun des avantages promis pour l'usage de l'acide succinique est en réalité sources de verrous technologiques. On comprend donc qu'il présente ce « vieil intermédiaire » comme une nouveauté, car c'est l'accumulation de ces verrous qui les rend prudent et justifie le titre de leur article : « **SUCCINIC ACID: A NEW PLATFORM CHEMICAL FOR BIOBASED POLYMERS FROM RENEWABLE RESOURCES** ». Ainsi, depuis l'article de 1999 de Zeikus *et alii*, on assiste à « l'entretien de la promesse » sur l'acide succinique, comme « nouvelle molécule plateforme ». De notre point de vue, l'année 2008 marque donc un tournant vers une phase de déceptions. Par exemple, nous interprétons le papier de Cukalovic et Stevens (2008) de la façon suivante : ceux-ci recensent l'ensemble des possibilités théoriques (et des obstacles au développement) sur l'acide succinique. Ils concentrent leur conclusion sur le fait que l'endroit qui leur semble le plus approprié pour le développer, c'est en tant que

---

<sup>195</sup> qui est un des grands centres de recherche mondiaux sur la chimie verte.

précurseur de l'acide maléique (utilisé en alimentation, surfactants et pharmacie). En effet, le prix et la demande de ce produit vont en augmentant, avec une problématique de raréfaction. On passe donc d'un ensemble de promesses, à la seule qui semble crédible et atteignable. Cette impression est confirmée si on se reporte au Top 10 « revisité » de Bozell Petersen (2010). Ce tableau montre à la fois les possibilités, l'ampleur de l'engagement sur des outils industriels et la faiblesse des débouchés commerciaux estimés. Cette contribution renforce le paradoxe que nous venons de pointer<sup>196</sup> :

Compound	1. Extensive recent literature	2. Multiple product applicability	3. Direct substitute	4. High volume product	5. Platform potential	6. Industrial scaleup	7. Existing commercial product	8. Primary building block	9. Commercial biobased product
Ethanol	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Furfural	+++	++	+	++	+	+	+++	++	+++
HMF	+++	++	+	+	++	+	+	++	+
FDCA	+++	+	+	+++	++	+	+	+	+
Glycerol/derivatives	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Isoprene	+++	++	+++	+++	+	+++	+++	+	+
Biohydrocarbons	+++	++	+++	+	+	+	+	++	+
Lactic acid	+++	+++	+	+++	++	+	++	+	+
Succinic acid	+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	+
HPA	+++	+	+++	+++	++	+	+	+	+
Levulinic acid	+++	++	+++	++	+++	+++	+	+++	+
Sorbitol	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Xylitol	+++	+++	+	+	+++	+	++	+++	++

\* +++ = Good performance against criterion; ++ = emerging performance against criterion; + = lower performance against criterion.

Figure 128 : une évaluation du Top 10 en fonction de neuf critères (d'après Bozell et Petersen, 2010, p.543)

C'est à partir de 2008-2010 que l'on voit poindre les joint-ventures explorant le développement industriel (DNP Green Technology avec ARD pour la JV Bioamber ou encore Reverdia détenue par Roquette et DSM). L'argument mis en avant pour justifier les JV est toujours la maîtrise des droits de propriété sur les bactéries utilisées. Depuis les années 80, c'est la bactérie *succiniproducens* qui était utilisée, mais à partir de la fin des années 2000, Bioamber a breveté des procédés utilisant la bactérie *E. Coli* pour la production d'acide succinique.

#### 1.1.2.2.4. À partir de 2010 : un déplacement de la problématique vers la question des bactéries à utiliser

En tant que verrou technico-économique dans l'optimisation des procédés biotechnologiques, la recherche sur les bactéries devient un enjeu stratégique. La revue des types de bactéries laisse clairement apparaître que les acteurs de l'industrie de l'acide succinique biosourcé prennent position par la mise au point de procédés associés à des bactéries propriétaires (Thakker *et alii*, 2012). Ainsi, la mise en place d'unités de productions biotechnologiques laisse apparaître toute sa complexité : « *E. Coli* remains a preferred organism for testing new succinate technologies due to the extensive knowledge of its genome, proteome, availability of genetic tools, simple nutrients requirements, and facile cultivations » (Thakker *et alii*, 2012, p.215). La gestion de la bactérie et de ses réactions fait donc partie du développement de ce type de procédés, tout comme les promesses qui y sont associées. En effet,

<sup>196</sup> Dans ce tableau, les deux auteurs évaluent la possibilité d'être un substitut évident (direct substitute), l'existence de produits commercialisés (existing commercial product) ou encore l'existence de produits commercialisés biosourcés (commercial biobased products). Les résultats pour ces critères montrent que l'acide succinique serait plutôt un intermédiaire chimique situé en amont, mais dont les débouchés sont à construire malgré l'existence d'une littérature abondante (extensive recent litterature).

la citation précédente fait état de promesses technico-économiques sur une bactérie (*E. Coli*) pour tenter d'en justifier l'usage dans les *process*.

Deux dernières contributions laissent apparaître la problématisation de l'acide succinique que nous avons pointée. La première reconnaît que « *recovery and purification of succinate represents a technological challenge and an economical obstacles for an efficient microbial production on a large scale. All methods used at present showed unsatisfied product yield and purity* » (Cheng *et alii*, 2012, p.313). C'est-à-dire qu'au rang des promesses sur le *process*, ici la purification et le recyclage des bactéries, celles-ci restent au statut de promesses et ne permettent pas de remplir les fonctionnalités attendues.

## 1.2. Le positionnement des firmes de l'acide succinique

Précédemment, nous avons exploré la formation de promesses technico-économiques dans l'acide succinique. La première période de développement de l'acide succinique a été marquée par un discours centré sur (1) l'intérêt du produit pour ses fonctionnalités chimiques, (2) la possibilité de valoriser des produits agricoles dont les prix étaient faibles et d'atteindre des coûts de production proches de ceux de la voie pétrolière, (3) un discours visant à justifier l'usage de ressources renouvelable en raison d'une diminution des ressources fossiles. La seconde période a consisté en la construction du cas de l'acide succinique, dans le champ scientifique, comme un emblème du modèle économique de filière d'une bioéconomie fondée sur la substitution terme à terme de la raffinerie classique par les biotechnologies. Ce caractère emblématique explique probablement que les deux firmes françaises les plus actives de la chimie des sucres (Roquette et ARD, le bras armé des coopératives céréalières et sucrières) s'engagent dans des JV différentes sur le même modèle et la même voie de production d'acide succinique à partir de brevets américains concurrents – différents sur un point de détail de l'ingénierie microbiologique (qui aboutira à une guerre de brevets et la trêve récente signalée en note de bas de page...).

Comme nous l'avons vu à propos des schémas de chaînes de valeur dessinés dans les programmes de recherche européens, la division du travail est pensée ici à partir des verrous technologiques que se donnent les firmes, en tant qu'horizon à lever. Celles-ci se positionnent en fonction de brevets déposés ou de leurs patrimoines productifs : c'est le cas pour BASF qui après avoir inventé le procédé de production du 1.4 BDO d'origine fossile dans les années 40 développe un procédé biosourcé actuellement.

Nous nous proposons de représenter par frises chronologiques, pour chacune des firmes étudiées les promesses technico-économiques développées au cours de leur histoire et les annonces marquantes. L'intérêt de cette approche est de pouvoir disposer d'une vision synthétique de la dynamique économique que l'on peut retracer grâce à la variété de documents que nous mobilisons. Une bibliographie spécifique des brevets et sources sur les firmes utilisés dans ce chapitre sont proposés est proposée. Par ailleurs, les familles de brevets étudiées sont reportées en annexes.

### 1.2.1. Le cas de Bioamber : vers un assemblage de technologies

La firme Bioamber a d'abord été une *joint-venture* (JV) fondée en 2008 par DNP Green Technologies, une *spin off* de DNP, et ARD qui est l'organe de recherche de la coopération agricole champardennaise. Cette même année, la firme a annoncé lancer la construction d'une unité de

démonstration industrielle sur le site de Pomacle-Bazancourt afin de « *demonstrates the technological breakthrough of the US department of Energy's proprietary E. coli bacterium, which is under exclusive licence to DNP Green Technology* » (Bioamber, 2008). La première étape de développement de la JV s'inscrit dans l'assemblage d'une technologie dont dispose DNP et la possibilité pour ARD de développer un démonstrateur industriel, permettant d'assurer la structuration du site de Pomacle-Bazancourt. Dans le cadre de cet accord, ARD affirme avoir investi 21 millions d'euros pour la construction d'une unité de démonstration de 2000t/an. L'objectif initial, si l'on suit le discours d'ARD était « *de valider sa technologie et de finaliser le process book afin de préparer la vente de licences* »<sup>197</sup>.

Les parts d'ARD dans Bioamber ont été rachetées par DNP Green Technologies en novembre 2010. Durant la période qui a précédé cette manœuvre, DNP semble avoir « préparé le terrain » pour son action et pour le développement de Bioamber. Du côté des accords, un accord sur le développement de produits dégelant a été conclu en décembre 2008 avec Basic Solutions. La production de produits dégelant constitue un des débouchés déjà existants pour l'acide succinique biosourcé : celui présenterait l'avantage d'être moins corrosif que les dégelants habituellement utilisés (Weastra, 2013). La production était estimée à 350 t/an en 2010. Puis un partenariat exclusif a été conclu en décembre 2009 avec Sinoven Biopolymers. Ce deuxième accord a placé Bioamber comme le fournisseur exclusif d'acide succinique de Sinoven qui était un producteur de PBS. Puis, DNP Green Technologies en a pris le contrôle en février 2010. Enfin, du côté des financements, DNP a également réalisé une levée de fonds de 12 millions d'euros en octobre 2009 avec notamment la branche financière de Mitsui, qui est une des plus importantes firmes de la chimie japonaise avec laquelle Bioamber contractera d'autres accords.

Après l'achat des parts d'ARD par DNP Green Technologies, cette dernière s'est fondue dans Bioamber. Il s'en est suivi en 2011-2012 une période de formation de JV. La plus importante est celle entre Bioamber et Mitsui (avec une répartition de 70 %-30 %) visant la construction de la première usine de Sarnia (Ontario, Canada) dont la capacité annoncée était de 10 kt/an. La deuxième JV contractée (en septembre 2011) a pour but la construction d'une usine de PBS en Thaïlande, en collaboration avec PTT PLC (le consortium pétrochimique public thaïlandais très actif sur les investissements dans les biotechnologies) et Mitsubishi Chemicals, dont Bioamber a annoncé être devenu le fournisseur exclusif d'acide succinique en 2011. La troisième JV a été contractée avec NatureWorks dans le but de produire des mélanges PLA/PBS. Cet accord est décrit par certains observateurs (Jim Lane, 2015) comme le moyen pour NatureWorks de mettre la main sur les brevets de mélanges PLA/PBS que Bioamber détient.

Cet accord doit être remis dans le contexte des accords de licence que Bioamber a passé pour développer un *process* industriel. Comme l'indique la frise consacrée à l'histoire de Bioamber, ce sont cinq accords de licences que Bioamber a dû contracter. La première licence porte sur le développement des débouchés grâce aux brevets sur la catalyse pour la production de 1.4 BDO détenus par Dupont. La deuxième porte sur les levures de Cargill, bien que Bioamber ait été fondée à partir de l'usage d'une bactérie *E. Coli* mise au point par l'US DOE. Le troisième accord (contracté en 2011) concerne un procédé de production d'acide adipique, qui pourrait être un débouché de l'acide succinique. En effet, il constitue un précurseur dans la production de polyamides. Cependant, ce type de débouchés (les polyesters et polyols) a été plutôt capté par Reverdia, qui est la JV entre Roquette

---

<sup>197</sup> <http://a-r-d.fr/ARD-filiales-et-partenaires-Bioamber-46.html>, consultée le 11/11/2015

et DSM. Bioamber a conclu un second accord centré sur les procédés de catalyse de Dupont avec Evonik dont les installations ont été utilisées pour procéder aux tests. Enfin, Bioamber a également acquis une licence de JM Davis<sup>198</sup>, en avril 2015, sur la production de 1.4 BDO et de THF. La constitution de cet ensemble d'accords montre donc que Bioamber a plutôt travaillé à articuler des procédés déjà existants pour constituer un *process* industriel. Elle montre aussi que d'un certain point de vue, le *business model* de la firme disposant de droits de propriétés qu'elle licencie (la « start-up victorieuse ») est un échec, et que l'entreprise a du descendre dans l'arène industrielle, un lieu consommateur de capital fixe, et où il ne faut pas être pressé pour obtenir des retours sur investissement : les dirigeants de coopératives utilisent pour ce *business model* opposé l'expression juste de « capital patient », nécessaire au développement industriel, et capable de passer les cycles de désappointement.

Cette dynamique d'assemblage est également identifiable dans la construction des débouchés. Comme nous l'avons montré précédemment, l'acide succinique n'est pas pensé pour entrer dans les usages déjà existants pour l'acide succinique. Il s'agit donc pour les acteurs d'en développer les propriétés. Ainsi, les premiers accords (sur les dégelants et l'acide adipique) puis ceux contractés sur le PBS, le 1.4 BDO ou le THF montrent que la firme ignore quels vont être ses débouchés et est donc contrainte d'en explorer les capacités. Pour cela, Bioamber cherche donc à sécuriser ses débouchés en contractant des accords de distribution. Par exemple, en janvier 2014, un accord *take-or-pay* a été contracté avec Vinmar sur le 1.4 BDO produit dans une usine à construire en Amérique du Nord, qui devrait être mise en service en 2017, mais dont aucun autre détail n'est disponible<sup>199</sup>. En mai 2014, Bioamber a également signé un accord pour être le fournisseur exclusif d'acide succinique pour la JV PTT-MCC issue de l'accord avec PTT et Mitsubishi Chemicals pour la construction d'une usine de PBS.

La firme pour sécuriser ses débouchés, et pouvoir former des promesses qui lui permettent d'attirer des financements, et ainsi, remplir les accords passés a organisé deux « campagnes de financement ». La première a permis de drainer des fonds pour construire le démonstrateur industriel d'ARD, mais également à DNP Green Technologies de prendre le contrôle de Bioamber. La seconde campagne de financement a constitué en une levée de fonds en 2013 puis une introduction en bourse en 2013 ainsi qu'en l'obtention de prêts sur la période 2013-2014 et de subventions. Ainsi, les annonces d'accords ont coïncidé avec les levées de fonds et les attributions de subventions par le gouvernement canadien à travers différentes agences. Afin de sécuriser ses débouchés, la firme a également passé deux accords de distribution en 2013. Ce faisant, elle transfère une partie de

---

<sup>198</sup> Qui a également conclu un accord de licence avec Myriant

<sup>199</sup> Apparemment le pétrochimiste Vinmar souhaitait sécuriser son approvisionnement en acide succinique et 1,4 BDO, et l'opération n'est pas isolée comme l'indique le site de Vinmar le 22/07/2015 : « JULY 22, 2015 | MORE OFF-TAKE BIO DEAL WITH VINMAR Vinmar is on a roll when it comes to doing off-take supply deals in the renewables sector. After the BioAmber bio-succinic acid deal, Vinmar recently announced that it has signed a 20-year contract for 19 billion pounds of AirCarbon PHA from Newlight Technologies. » ou encore le 15/07/2015 : « JULY 15, 2015 | NEWLIGHT SIGNS 20-YEAR CONTRACT FOR 19 BILLION POUNDS OF AIRCARBON PHA Off-take agreement with Vinmar is a milestone for carbon capture efforts and meeting the growing needs of the sustainable materials market. The Vinmar contract provides for the sale of 100% of AirCarbon PHA from Newlight's planned 50 million pound per year production facility for 20 years. The contract will also cover 100% of the output from a 300 million pound per year AirCarbon production facility and a 600 million pound per year AirCarbon production facility for a total of up to 19 billion pounds over 20 years. » (<http://www.vinmar.com/news/>, consultée le 15/09/2016). On peut se demander si cette firme (par ailleurs l'un des principaux producteurs de bisphénol A...) n'entame pas un tournant destiné à la protéger d'éventuelles réglementations carbone : l'accord avec AirCarbon présente son PHA comme *carbon negative emission plastic*.

l'incertitude, et donc du risque, liés au développement de nouveaux usages pour l'acide succinique vers un intermédiaire aval de sa filière, qui a une meilleure visibilité des marchés et de la logistique – Vinmar justifie en tous cas ainsi ses collaborations avec les firmes émergentes.

Le cas de Bioamber correspond au cas d'une entreprise fondée au départ sur les droits de propriété intellectuelle obtenus par une licence avec le DOE américain – plus que sur la recherche, qui a dû chercher à industrialiser elle-même ses procédés. La firme se comporte comme si elle jouait de l'ancrage territorial pour produire ses ressources financières : issue de la recherche américaine, elle s'est développée partiellement en France pour ensuite capter les subventions accordées par le Canada dans le but d'attirer ce type de firmes des biotechnologies. La représentation que nous avons formée du développement de la firme s'appuie sur les communiqués de presse de la firme ainsi que les analyses d'observateurs qui, généralement, reprennent partiellement le déclaratif des firmes. Par conséquent, il se dégage une sorte de narration « idéale » illustrant le mode de développement des firmes des biotechnologies. Cependant, l'analyse de l'entrée dans l'acide succinique des autres firmes présentes nous montrera que Bioamber fait face à une concurrence intense, notamment sur la propriété des procédés utilisés.

#### 1.2.2. Reverdia : la joint-venture entre deux macro-acteurs

La *joint-venture* Reverdia a été contractée en 2010 par DSM et Roquette afin de produire de l'acide succinique, dans le cadre du projet Biohub porté par Roquette. Afin de comprendre la dynamique actuelle de la *joint-venture*, nous revenons sur l'histoire de ces deux firmes et de leur rapport avec les biotechnologies.

##### 1.2.2.1. Un retour sur Roquette et DSM et la formation de Reverdia à partir du programme Biohub

Ces deux firmes sont des macro-acteurs ancrés dans des secteurs différents. Roquette est le quatrième amidonnier mondial (et deuxième amidonnier européen) et DSM est une ancienne firme néerlandaise (fondée en 1902) qui était, au début de son histoire, dédiée à l'exploitation du charbon, reconvertie en firme de production de connaissances scientifiques.

###### 1.2.2.1.1. Roquette réussit à être la tête de pont d'un projet d'envergure

La firme Roquette a été fondée en 1925 et est restée depuis lors une société familiale. Son site historique est situé à Lestrem dans le Nord-Pas-de-Calais, site sur lequel sont développées les activités de R et D. La firme produit, depuis sa fondation, de l'amidon qui peut être utilisé dans l'alimentaire, mais également dans la papeterie et, c'est l'objet de la stratégie sur l'acide succinique, dans la chimie du végétal. La firme possède une antériorité, qui est le développement depuis le début des années 1960 de brevets sur le sorbitol, à usages alimentaires et non alimentaires. Elle a une habitude de secret industriel, car elle tire son avantage comparatif de la réalisation à façon de solutions industrielles pour ses clients papetiers ou autres (enrobages pharmaceutiques par ex.) à partir de plus d'un millier de références. Les développements sur les sorbitols l'amènent, à partir d'un patrimoine productif particulièrement cultivé par la famille à développer une famille d'isosorbides.

L'entreprise découvre, si l'on suit une communication de Marc Roquette en 2010 à l'école de management de Paris, qu'elle doit se situer dans le grand tournant de l'usage des ressources

renouvelables face au modèle de substitution de la raffinerie de pétrole. Il présente donc le cœur de métier du pilotage stratégique de son entreprise comme l'identification des produits qui vont quitter les premiers les patrimoines productifs pétroliers pour entrer dans ceux de la chimie du renouvelable. En 2010, il dresse la carte de trois programmes, les amidons modifiés (Gaiahub), la chimie des sucres, tels que le sorbitol – l'isosorbide – et l'acide succinique (Biohub) et les algues, à plus long terme, qui permettraient de libérer le renouvelable de la contrainte des surfaces agricoles.

Le projet Biohub, entamé en 2006 et qui s'est conclu en 2015, a été financé dans le cadre du premier appel à projets lancé par l'éphémère Agence de l'Innovation Industrielle<sup>200</sup>. Celle-ci a été fondée suite au rapport de J.-L. Beffa, commandé par J. Chirac en 2004. Constatant le déclin de l'industrie française, le but du rapport était de produire des outils visant à structurer la relance de « grands programmes » comme ceux ayant porté le nucléaire civil, Airbus ou le Concorde. Là encore, on retrouve la logique qui a présidé à ces grands programmes : l'identification de champions nationaux qui récoltent l'ensemble du soutien public (Colletis, 2012). Il est donc intéressant de noter que Roquette s'est « fondue » dans le moule de la firme industrielle à même de porter ce type de programme<sup>201</sup>. D'après nos entretiens avec des acteurs de l'émergence du pôle IAR, le programme a aussi été une façon de répondre aux tensions dans les arbitrages rendus qui avaient attribué le pôle IAR aux régions Picardie et Champagne, alors que la logique des pôles de compétitivité à vocation mondiale aurait été de les adosser à une firme de niveau mondial, ce qui était le cas de Roquette Frères.

Dans le cadre de Biohub, la présentation du projet par l'All en avril 2006 faisait essentiellement état de la « création d'une nouvelle filière » dédiée à l'isosorbide, que Roquette produisait déjà depuis les années 50. Mais l'objectif, si l'on suit la promesse d'une production à grande échelle (il était annoncé 100kt/an en 2006), était donc d'en généraliser non seulement l'usage, mais aussi le modèle, préparant d'autres glissements de productions du paradigme pétrolier vers la chimie du renouvelable, comme l'indique Marc Roquette dans son interview de 2010, dégageant une vision globale de la bioéconomie. L'isosorbide est, à l'heure actuelle, essentiellement utilisé dans la pharmacie et la cosmétique, or il pourrait être utilisé dans la production de plastiques biosourcés (notamment en remplacement des téréphtalates)<sup>202</sup>. Sur ce produit, Roquette développe une nouvelle unité de production de 20kt/an.

Si l'on observe le tableau suivant, extrait de la présentation de la première vague de projets financés par l'All, on peut voir que le partenariat avec DSM était déjà prévu :

---

<sup>200</sup> Celle-ci a existé de 2005 à 2008 avant d'être intégrée dans OSEO.

<sup>201</sup> Précisons que l'All a également financé les projets OSIRIS porté par Soufflet, une des principales firmes mondiales du blé, et FUTUROL, le projet du même type porté par les coopératives.

<sup>202</sup> Notons, sur la production à grande échelle, que Roquette possède un brevet dédié à cette question (Segueilha et alii, 2007) qui est également cité par DSM dans ses brevets sur l'acide succinique.

Chef de file	Roquette
Grandes entreprises	Arkema, Sidel, DSM (NL), Cognis (AI)
PME	Metabolic Explorer, Tergal Fibres
Laboratoires publics	INSA Lyon INSA Rouen IMMCL Lille TU Eindhoven - NL Kluyver Centre Delft – NL
Pôles de Compétitivité associés	MàUD Matériaux à usage domestique (Nord-Pas de Calais)  Axelera (Chimie – Environnement Lyon/Rhône Alpes)

Figure 129 : Les partenaires de Roquette dans Biohub (d'après AII, 2006)

Si la forme reprend la logique des grands programmes nationaux, il apparaît que le subventionnement du projet est obtenu en raison du partenariat prévu. En effet, le rapport de Beffa plaide pour une extension de la surface de ces « grands programmes ». La présence de DSM nous permet d'avancer cette hypothèse. Mais celle-ci est confirmée par la recherche bibliographique sur les brevets de Roquette évoquant l'acide succinique entre 1980 et 2000. Il s'avère que neuf brevets, portant essentiellement sur la production de papier à partir d'amidon, mettent en avant la plus grande facilité de réalisation à partir de l'acide succinique, lui-même produit à partir d'amidon (cf. Fuertes *et alii*, 1996a, 1996 b, 1996c par exemple)<sup>203</sup>.

#### L'échec du modèle d'accords de licence à des acteurs régionaux : le cas de Metabolic Explorer

Lors de l'attribution du financement pour le projet Biohub, un partenariat avec la *start-up* Metabolic Explorer était prévu. Fondée en 1999, cette firme a participé à développer un procédé de production de Méthionine avec Roquette. La méthionine est un complément alimentaire pour la nourriture animale d'origine pétrosourcée. Si le procédé a été mis au point, Roquette s'est retirée de l'accord d'industrialisation qu'elle avait passé avec Metabolic Explorer et a offert de céder ses droits sur la licence. La *start-up* connaît des échecs successifs dans l'industrialisation de ses autres procédés, comme le 1,3 PDO, que ce soit en France ou en Asie. Ceci témoigne donc de la nécessité de la construction de patrimoines productifs collectifs territorialisés dans un but de réindustrialisation<sup>204</sup>.

Figure 130 : L'échec du modèle de Metabolic Explorer

#### 1.2.2.1.2. L'allié DSM

Le projet Biohub s'inscrit donc dans une stratégie de réexploration et de valorisation du patrimoine productif de la firme Roquette. Cependant, ce type de stratégie nécessite de nouer des

<sup>203</sup> Les résumés des brevets pour les cas de Reverdia, Roquette et DSM sont reportés respectivement dans les annexes 16, 17, 18.

<sup>204</sup> Pour plus de détails sur le cas de Metabolic Explorer, se reporter à Béfort et Nieddu (2016, à paraître).

alliances avec des acteurs, permettant d'organiser l'articulation entre technologies<sup>205</sup> qui fonde le compromis de produit. C'est le rôle joué par DSM.

Comme nous l'écrivions plus haut, DSM était une entreprise publique, fondée en 1905 dans le but de produire du charbon. A partir des années 50, elle a poursuivi sa diversification dans la chimie entamée dans les années 30 par la production d'engrais à partir de charbon. En 1952, elle produit du caprolactame puis du polyéthylène en 1959. Sa stratégie de diversification, conjointe à l'abandon de la production de charbon au début des années 90, se poursuit par le rachat d'activités dans l'amont de la pharmacie (achat d'Andeno, un producteur de précurseurs pour la pharmacie en 1987) puis vers l'aval avec l'achat d'ACF Chemie, une entreprise pharmaceutique, en 1991. En 2000, DSM a revendu ses activités pétrochimiques (fracturation, production d'éthylène) à Sabic afin de poursuivre sa stratégie de croissance en externe en rachetant notamment les activités de Roche dans la nutrition ou Catalyca (une spin-off de Glaxo Wellcome) en 2000. Jeannet et Schreuder (2015) expliquent que c'est le moment auquel DSM a choisi de se spécialiser dans des activités à plus forte valeur ajoutée. C'est à partir de 2005 que la thématique des biotechnologies s'est véritablement imposée au sein de DSM, avant de devenir en 2010 l'unité « Bio-based Products and Services ». Ce changement de nom marque bien le repositionnement de la firme dans cette direction. L'accord avec Roquette doit donc être entendu comme le résultat d'une tentative de repositionnement sur des produits à haute valeur ajoutée, entre les polymères techniques, la santé et les produits biosourcés, portés en partie par l'exploration des biotechnologies.

#### 1.2.2.2. Biohub : entre concurrence et coopération

##### 1.2.2.2.1. La dynamique de dépôts de brevets de Roquette et DSM

*A priori*, Roquette et DSM ne sont pas des firmes particulièrement concurrentes, elles ont des activités bien distinctes. Pourtant, il semble que la coopération sur l'acide succinique, par l'intermédiaire d'abord du programme Biohub, puis de la *joint-venture* Reverdia ait organisé la concurrence entre les deux firmes. Le début de la collaboration entre les deux firmes a été annoncé en janvier 2008, qui correspond plus ou moins, au moment auquel les deux firmes ont déposé des brevets, indépendamment l'une de l'autre. Notamment le brevet de « procédé de culture microbienne à grande échelle » de Roquette (déposé en 2007, paru en 2009 et qui sera cité par DSM) (Segueilha *et alii*, 2009) voisine avec le « procédé pour obtenir une expression de polypeptides améliorée » (Roubos et Peij, 2008) de DSM. La période 2008-2013, comme en témoigne la bibliographie de brevets présentée en annexe 18, est une période active pour DSM (24 brevets sur l'acide succinique dans la période) et Roquette (4 brevets) sur le front du dépôt de brevets sur l'acide succinique, alors que l'annonce de la création de Reverdia a été faite en 2010.

Le nombre de brevets déposés par Roquette peut paraître relativement limité, mais il ne faut pas négliger le fait que DSM était dans une période de construction de son portefeuille d'activité dans les biotechnologies blanches et semblaient plutôt s'orienter vers une stratégie de licence ou d'accords avec d'autres macro-acteurs (Jeannet et Schreuder, 2015). La firme doit donc avoir de la « matière » à proposer pour assurer sa stratégie. Le paradoxe réside dans le fait que sur cette même période, les deux firmes ont déposé plus de brevets sur l'acide succinique chacune de leur côté que dans la

---

<sup>205</sup> Par ailleurs, c'est ce que l'ADEME nomme des « briques technologiques » dans l'appel à projet 2016 « Chimie du végétal et matériaux biosourcés ».

structure Reverdia. À ce jour, Reverdia ne possède pas de brevets, ils appartiennent tous à DSM et Roquette.

#### 1.2.2.2.2. *Le développement d'un segment de filière précis : un procédé fermentaire visant à obtenir de l'acide succinique...*

Toutefois, l'analyse des onze brevets (cf. annexe 16) nous apprend trois éléments. Tout d'abord, ils peuvent être divisés en trois « groupes ». En effet, chacun d'eux, à l'exception d'un brevet sur les procédés de fermentation (Jansen *et alii*, 2012), a été déposé auprès de différents bureaux d'enregistrement des brevets<sup>206</sup>. C'est-à-dire que l'on peut considérer que le procédé mis au point au sein de Reverdia porte sur trois brevets : un procédé fermentaire, un procédé de fermentation pour obtenir l'acide succinique et un procédé de cristallisation de l'acide succinique<sup>207</sup>.

Puis, chacun des brevets cite une partie des brevets détenus par Roquette et DSM. L'exemple le plus emblématique est Jansen *et alii* (2011) qui citent les brevets qui permettent à chacune des deux firmes de se positionner sur la production d'acide succinique. Pour Roquette, il s'agit essentiellement de la maîtrise du procédé global alors que pour DSM, les brevets portent sur la maîtrise des bactéries et levures utilisées. Enfin, on note également la présence de brevets portant sur l'usage d'*E. Coli*, ce qui confirme que c'est cette bactérie qui est utilisée dans le procédé.

#### 1.2.2.2.3. *...qui témoigne de la formation d'un patrimoine productif collectif*

On a donc la formation d'un patrimoine productif partagé par Roquette et DSM, mais les relations qui se nouent sont de deux ordres. D'une part, la constitution même de Reverdia s'appuie sur une coopération entre deux acteurs, qui se partagent la propriété de la structure et qui mettent en commun un certain nombre de connaissances tacites ou codifiées. D'autre part, la mise en commun de ces ressources repose ici sur la production initiale de connaissances qui vont être codifiées et surtout privatisées – sous forme de brevets – pour 1) justifier sa place dans la *joint-venture* et 2) maîtriser autant que possible le compromis formé par la mise en commun des ressources. C'est cette tension fondamentale dans la construction de la *joint-venture*, qui s'apparente à une lutte de pouvoir, pour la domination du compromis. Dans le cas de Bioamber, la tension n'a pas été soutenable et visiblement, le compromis a fini par être dominé par DNP avec l'acquisition de Bioamber.

#### 1.2.2.2.4. *Qui domine le compromis formé par Reverdia ?*

Après la création de la *joint-venture* en 2010, a été annoncée la création d'une unité de production d'une capacité de 10kt/an sur le site de Cassano (Italie) de Roquette. Durant la période de construction de l'usine, Reverdia a travaillé à la démonstration de son acide succinique (le Biosuccinum) sur le site historique de Lestrem détenu par Roquette. On pourrait donc supposer que le compromis est ici dominé par Roquette, mais la présentation de Wubbolts (2014) responsable technologie de DSM montre que la participation dans Reverdia est une des branches du portefeuille d'activités de DSM. C'est-à-dire que la prise en charge par Roquette sur ses sites de production pourrait être interprétée comme le moyen pour DSM de développer son portefeuille d'activités – dans la droite ligne de la réorganisation de ses activités – tout en externalisant une partie du risque. De plus, Festel

---

<sup>206</sup> Principalement auprès des bureaux européens, américains, canadiens et mondiaux.

<sup>207</sup> C'est-à-dire pour obtenir de l'acide succinique à l'état solide.

(2015) rappelle que DSM est un des acteurs dominants dans l'offre d'enzymes pour les biotechnologies.

#### 1.2.2.3. La formation de l'identité du produit...

Toutefois, il semble que le risque soit partagé par les deux acteurs. En effet, en 2012, peu de temps avant le lancement de l'unité de production, ont été annoncé l'usage du Biosuccinium pour la production par Proviron de diméthyl succinate qui est utilisé comme additif alimentaire, c'est-à-dire un usage du type que Roquette et DSM maîtrisent. Toutefois, il fut annoncé cette même année que Helm allait être le distributeur exclusif du Biosuccinium en Europe. La superposition de ces deux annonces montre que l'identité du produit n'est pas stabilisée et que, de fait, les firmes se livrent à un travail de construction de ces débouchés, tout en explorant des mondes de production différents.

En effet, la troisième annonce porte sur un accord avec une autre *joint-venture* : Dupont Tate & Lyle qui est spécialisée dans la production de propanediol. Le mélange d'acide succinique et de propanediol permet de produire des polyuréthanes (comme des plastiques ou des adhésifs)<sup>208</sup>. De son côté, DSM a annoncé avoir acquis une licence sur la production de butanediol produite par Genomatica dans le but de produire du PBT. Ainsi, DSM assume de verdir le PBT qu'elle produit déjà sous la marque Arnitel : « *We present test results demonstrating that BDO made with Genomatica's process technology can be used as a replacement for conventional BDO produced from fossil fuels, with no adverse impact on Arnitel performance and no changes needed in DSM Arnitel production processes or equipment. We believe that the success of Genomatica process technology in providing a renewable version of a major chemical will facilitate use (...) speeding the adoption of more environmentally-friendly ingredients in a wide range of supply chains* » (DSM, 2013).

##### 1.2.2.3.1. ... Qui passe par l'obtention du label « Bioprefered »

À l'image de l'offensive menée en Europe par Myriant (cf. plus loin), Reverdia a également mené une offensive en direction des États-Unis en obtenant le label « biobased » de l'USDA en 2014. Cette même année, Reverdia a étendu sa stratégie en annonçant accorder des licences sur son procédé. Si l'on suit Festel (2015), cette stratégie permet aux firmes 1) de diversifier leurs revenus – qui sont majoritairement constitués par la vente des produits – et 2) de participer à la diffusion du procédé technique. Ce faisant, dans le cas de l'acide succinique, la raison première pourrait être la seconde. En effet, les firmes pourraient assez rapidement se retrouver dans une situation de surproduction : quatre unités de production d'une capacité de 10kt/an sont en construction alors que les débouchés de l'acide succinique ne sont pas assurés, aussi les firmes ont intérêt à diffuser le plus largement possible leur technologie pour permettre de l'intégrer dans la production de débouchés (comme le BDO, le PBS, etc.).

##### 1.2.2.3.2. Et la diffusion de son produit dans un projet de recherche

C'est, de notre point de vue, le sens du développement du projet Biosuccinnovate porté par Reverdia. Ce projet européen regroupe des organismes de recherche néerlandais (l'Université de Wageningen notamment), britanniques (le London Imperial College), français (l'INRA) – c'est-à-dire les

---

<sup>208</sup> Nous verrons plus loin que Dupont Tate & Lyle a également réalisé cette opération en Europe avec la firme américaine Myriant, pour développer un procédé industrialisé par Piedmont Chemical.

grands organismes de recherche présents dans la grande majorité des projets européens – ainsi que deux firmes d’analyses technico-économiques et d’analyses de cycle de vie. Mais le projet compte également CIMV qui est spécialisé dans la lignine (cf. analyse du projet Biocore dans la deuxième partie de cette thèse).

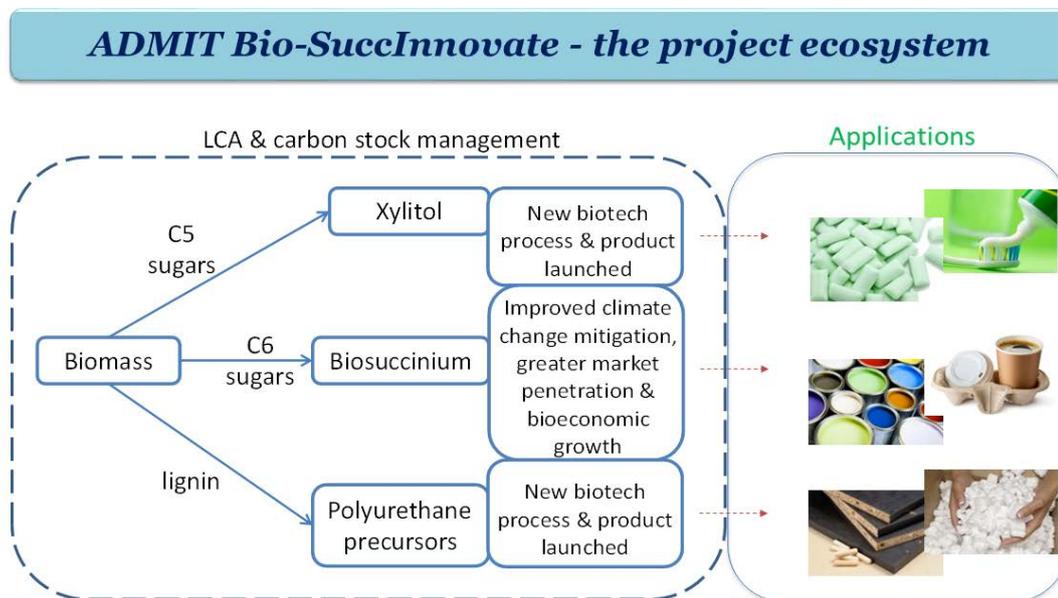


Figure 131 : Présentation du projet Bio-SucInnovate (d’après le site internet de Bio-Succinnovate)

L’objectif est bien, ici, de construire des débouchés pour le Biosuccinium, qui est le « polyurethane precursor » : Reverdia a annoncé un accord de codéveloppement sur le polyuréthane avec Covestro en 2015.

#### 1.2.2.4. Conclusion : la stratégie de Reverdia

La construction de Reverdia s’est appuyée sur la mise en commun de brevets que maîtrisaient les deux firmes. Bien qu’elles aient breveté des procédés, elles ont bien constitué des *pools* de ressources (au sens de Mangolte, 2006). Les ressources, mises en commun, et qui construisent le patrimoine productif de la firme structurent la dynamique de Reverdia avec la tension que nous avons décrite. Dans le même temps, la *joint-venture* constitue également une diversification du portefeuille d’activité de DSM et lui permet de descendre vers l’aval de la filière. En quelque sorte, en plus de produire des enzymes, DSM en produit les débouchés. Cependant, Reverdia a son existence propre dans laquelle la firme essaie de construire ses débouchés, notamment dans les polyuréthanes. L’affirmation de ce débouché, qui n’est pas une molécule de commodité comme le 1.4 BDO de Bioamber, vise donc à construire ou ancrer le Biosuccinium dans un monde de production du produit chimique des polymères de spécialité. Dès lors, nous voyons déjà deux stratégies.

La première, celle de Bioamber, vise les grands marchés de commodités et passe des accords notamment pour offrir l’acide succinique nécessaire à une probable usine de PBS en Thaïlande. La deuxième, celle de Reverdia, vise à produire un produit qui pourrait supporter un *green premium price* par exemple. Reverdia, pour l’instant, est doté du label « *biobased* » américain, qui, certes lui donne

accès aux appels d'offre des administrations américaines, mais surtout, garanti, à la lumière de la norme d'évaluation américaine, l'origine biosourcée du produit. DSM utilise l'argument de l'acide succinique biosourcé pour construire l'identité de son PBT produit avec le *process* de Genomatica. De même, la firme néerlandaise cherche à construire un portefeuille d'activités à forte valeur ajoutée, d'où son passage de la chimie « traditionnelle » aux biotechnologies. Contrairement à la stratégie d'hégémonie dans la *joint-venture* à l'image de Bioamber, on a ici un ensemble de tensions et de complémentarités qui résultent de la construction collective de filières à destination de produits à moyenne et forte valeur ajoutée.

### 1.2.3. Myriant, une stratégie à visée hégémonique par la diffusion en « open-innovation »

Myriant est une firme américaine qui a été fondée en 2005. Aucune information n'est disponible sur son existence avant 2009. Nous avons pu consulter une version archivée de son site internet en date du 02/08/2009. A cette époque, Myriant se présentait comme une « *privately-held science and technology company leading the development and commercialization of next generation biorefineries for the production of high-value bio-based chemicals from renewable feedstock, through the use of its proprietary biocatalyst technology* »<sup>209</sup> dans la perspective développée par H. Ford : « *In 1934, Henry Ford predicted that biochemistry would unite agriculture and industry. At Myriant Technologies, we have realized this vision - next-generation biorefineries where a pound of sugar can replace a barrel of crude* »<sup>210</sup>.

#### 1.2.3.1. L'exploration de la plateforme E. Coli

Myriant s'est positionnée sur deux molécules : l'acide lactique et l'acide succinique. L'annonce de la production d'échantillons commerciaux a été réalisée en 2009. Comme le montrent les citations suivantes, la stratégie d'entrée de Myriant repose sur l'exploration/exploitation de sa technologie de catalyse principalement à partir d'*E. Coli*. C'est ce mouvement que nous avons pu observer dans ses brevets portant sur l'acide succinique. La firme a déposé trois brevets en 2009 qui portent sur la mise au point de souches modifiées d'*E. Coli* (Gong *et alii*, 2012), sur le comportement des souches d'*E. Coli* produisant des acides organiques (donc, entre autres, de l'acide succinique) (Grabar *et alii*, 2012)<sup>211</sup> et sur une méthode de purification d'eau contenant de l'acide succinique (Geberding et Singh, 2011).

Durant la période 2009-2013, la firme a mis au point divers procédés de production d'acide succinique tout en testant le procédé de production de 1.4 BDO développé par JM Davy, qui est le même procédé que celui utilisé par Bioamber. Les brevets déposés sur cette période (Herman *et alii*, 2011 ; Baghat *et alii*, 2011 ; Yocum *et alii*, 2011 par exemple) portent tous sur l'exploration de la fermentation d'*E. Coli* et portent des revendications relativement larges sur des « acides organiques ». Cependant, chacun d'entre eux évoque la production d'acide succinique.

---

<sup>209</sup> <https://web.archive.org/web/20090802211133/http://www.myriant.com/>, consultée le 23/11/2015. Pour cela, nous avons utilisé Internet Archive. L'objectif de ce site est de réaliser des copies de l'ensemble des sites accessibles sur Internet.

<sup>210</sup> <https://web.archive.org/web/20090802211133/http://www.myriant.com/>, consultée le 23/11/2015.

<sup>211</sup> Les brevets ont été publiés en 2011-2012, mais ont bien été déposés entre novembre et décembre 2009.

### 1.2.3.2. Un premier accord avec Showa Denko sur la substitution du PBS

En juin 2012, ce sont deux accords qui ont été annoncés par Myriant. Tout d'abord, l'acide succinique de Myriant a été sélectionné pour Showa Denko pour la production de PBS. Ce faisant, Myriant réussit à devenir fournisseur d'une ancienne firme (fondée en 1939) de la chimie japonaise. Showa Denko a été la première firme à produire du PBS en 1993<sup>212</sup>. Ainsi, après avoir lancé des polymères mélangeant PBS/amidon et PBS/amidon/PLA, la firme tente de rendre son PBS lui-même biosourcé par l'acide succinique de Myriant qui serait utilisé par Natur-Tec, une firme spécialisée dans la production de films plastiques<sup>213</sup>.

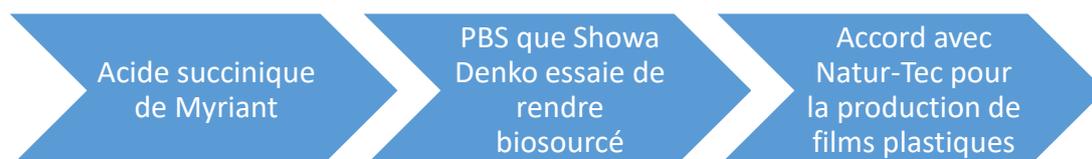


Figure 132 : segment de filière de l'acide succinique tenu par Myriant

### 1.2.3.3. Et une prise de position sur les polyols grâce à un modèle en « open innovation »

Le deuxième accord porte sur la production d'un adhésif biosourcé issu du 1.3 PDO de Dupont Tate & Lyle et l'acide succinique de Myriant par DaniMer. Mais cette opération a également été réalisée en Europe avec la firme de la chimie italienne Piedmont. À cette occasion, les firmes ont mis à disposition des producteurs de polyols la formulation : « *Under a strategic collaboration between Piedmont, DTL and Myriant, the three companies have agreed to an "open innovation" concept by which the polyol formulations will be made available to polyol producers and the urethane industry at large. This means that polyol customers will be able to purchase polyols produced from DTL's Susterra® propanediol and Myriant's Bio-Succinic Acid from Piedmont as well as from other polyol producers. Piedmont will manufacture the initial polyol product samples and will offer commercial supply of the polyol products to the market.* » (Myriant, 2013).

Après une première démonstration avec DaniMer, Dupont Tate & Lyle et Myriant se sont alliées à Piedmont pour prendre position dans l'amont de la filière des polyols, en ouvrant la formulation aux industriels en aval, c'est-à-dire aux futurs utilisateurs potentiels, auxquels Piedmont est en mesure de fournir des échantillons. Les polyols se situent très en amont des filières de la chimie et permettent de produire des mousses polyuréthanes et des polyesters, c'est-à-dire les mousses isolantes, les adhésifs et les fibres plastiques. Ainsi les firmes tentent de constituer leur formulation comme le patrimoine de l'industrie des polyols en organisant la diffusion de la formulation. Cependant, on note une évolution dans la stratégie des firmes. Myriant s'est construite comme une forme productrice d'acide succinique, mais elle a besoin de construire les débouchés et donc de descendre vers l'aval des filières, quitte à s'allier avec d'autres firmes.

<sup>212</sup> <http://www.showadenko.us/file/bionolle/Bionelle-Flyer.pdf>, consultée le 23/11/2015

<sup>213</sup> <http://greenchemicalsblog.com/2012/10/05/to-succinity-and-beyond/>, consultée le 23/11/2015

#### 1.2.3.4. Et la formation d'accords de codéveloppement et de distribution

Parallèlement, Myriant suit un mode de développement « classique ». Son usine a été mise en service en mai 2013. Elle a passé des accords de commercialisation pour le Moyen-Orient, l'Europe de l'Est et l'Afrique avec Bayegan en 2013, pour l'Autriche, l'Allemagne et la Suisse avec BCD Chemie et pour le reste de l'Europe, un accord a été passé avec Azélis en 2014. Cette même année, Myriant est également devenu le fournisseur d'acide succinique d'Oxea pour la production de ses plastiques qu'elle veut sans phtalates.

Myriant a également passé un accord de codéveloppement sur ce type de plastiques avec UPC et le chimiste japonais Sojitz. La stratégie de Myriant est donc bien double. D'une part, elle développe son acide succinique produit en Louisiane et d'autre part, elle en organise la diffusion à travers des accords de commercialisation, de codéveloppement et la diffusion de la formulation de dérivés de ses produits.

#### 1.2.4. Succinity : une autre forme de concurrence-coopération

##### 1.2.4.1. Un accord entre deux concurrents

Succinity est une *joint-venture* qui a été formée en 2012 par BASF et Corbion Purac (anciennement CSM). Ces deux firmes sont concurrentes sur la production de PLA (*cf.* section 1 sur Les PLA où nous avons détaillé ce point), mais coopèrent sur cet autre acide. Après une période de collaboration entre 2009 et 2012, les deux firmes ont annoncé leur alliance et l'adaptation d'un site de production détenu par Corbion Purac en Espagne. Ce site a été mis en service en 2014 et a une capacité annoncée de 10 kt/an.

##### 1.2.4.2. Les brevets des deux entreprises

Les brevets de Corbion Purac sur l'acide succinique portent essentiellement sur la production de produits de boulangerie, c'est-à-dire le cœur de son patrimoine productif. En revanche, le cas de BASF est plus complexe. Une première recherche des brevets de la firme sur l'acide succinique renvoie 8 970 résultats. Nous avons donc affiné notre recherche en utilisant la recherche suivante : « inassignee:"basf" AND "succinic acid" AND "biobased" ». C'est-à-dire que nous avons limité le champ des brevets sur l'acide succinique à ceux portant sur la possibilité de produire de l'acide succinique biosourcé ou de produire des dérivés de cet acide. Les résultats de cette recherche permettent de mieux saisir la stratégie de BASF. L'ensemble des brevets identifiés (*cf.* Annexe 22) portent sur la production de dérivés d'acide succinique, principalement le 1.4 BDO, le GBL et le THF, les polyesters et les polyols. Les premiers usages du butadiène (ou du 1.4 BDO) ont été développés par BASF pendant la Seconde Guerre mondiale dans le but de produire des caoutchoucs synthétiques. Un brevet de BASF (Broecker et Schwarzmann, 1977) est cité 45 fois par Genomatica dans ses brevets. Genomatica est une *start-up* qui a mis au point un procédé de production de 1.4 BDO qu'elle a licencié à Novamont et BASF. Les citations de ce brevet par Genomatica s'étalent sur la période 2011-2015, durant laquelle BASF a poursuivi sa stratégie de dépôts de brevets sur l'aval de la filière de l'acide succinique.

##### 1.2.4.3. Pour une stratégie de portefeuille d'activité

Par conséquent, BASF est bien dans une stratégie de portefeuille d'activité en lien avec son patrimoine productif. Grâce à l'accord de *joint-venture* avec CSM, elle prend place dans la filière de

l'acide succinique, tout en gardant la possibilité de se retirer de la *joint-venture* d'autant plus facilement que les investissements ont été réalisés sur un site de production de Corbion Purac, qui, rappelons-le, cherche à développer ses activités dans le non alimentaire. Mais ce faisant, elle prend position sur l'aval de la filière de l'acide succinique, que sont les polyuréthanes et polyesters, ajoutant donc des produits biosourcés de ce type à son portefeuille d'activités avec l'Ecovio par exemple. Ce polymère est utilisé, pour en faire la démonstration, dans la production de sacs plastique biodégradables. Contrairement à Myriant qui fait la démonstration de la possibilité de produire des polyols en ouvrant l'accès à la formulation du produit, mais en ne l'industrialisant pas, BASF profite de sa « puissance de feu » pour maintenir ouverte sa stratégie de portefeuilles d'activités et de gestion des segments de filière.

### Conclusion de la section : du paradoxe de la propriété intellectuelle à l'ancrage territorial

Alors qu'une première approche sur les débouchés, du point de vue des promesses de la littérature scientifique insistait soit sur le PBS, soit le 1.4 BDO, le GBL ou le THG, il s'avère que la majorité des débouchés explorés et construits par les firmes portent essentiellement sur le polyurethane ou les polyesters. C'est-à-dire que les firmes ont une gestion fine des segments de filières, contrairement à ce que pourraient laisser penser les promesses technico-économiques.

#### Des cibles différentes

##### Le 1.4 BDO

Sur le cas du 1.4 BDO, nous avons montré deux approches différentes. La première est mobilisée par Bioamber : en construisant l'industrialisation de son procédé de production d'acide succinique, elle s'est vue contrainte de proposer, ou du moins de faire la démonstration, des débouchés. Dans un autre cas, celui de Genomatica, c'est directement la production du 1.4 BDO qui est l'objet de la technologie développée et la proposition de valeur de la firme. On a donc deux gestions différentes du segment que constitue le 1.4 BDO.

##### Les polyuréthanes et les polyols

Pour les autres firmes, elles développent chacune une approche des polyuréthanes et des polyesters. C'est donc dans ce champ que se construit la concurrence, autour de stratégies hétérogènes. La première stratégie est celle de Reverdia. Elle constitue plus qu'une « trêve » temporaire entre Roquette et DSM dont la concurrence sur l'acide succinique est possible si l'on regarde la production de brevets par chacune des firmes. Néanmoins, contrairement à une vision classique des brevets fondée sur le paradoxe de la propriété intellectuelle (Foray, 2009) — celle-ci est pensée comme une incitation à l'innovation par les rentes de monopole qu'elle offre, mais bloque celle-ci en raison même de la recherche de la rente de monopole —, la thèse de C. Carpentier (1997) suggère que les brevets sont aussi des appels crédibles à collaborer.

La solution à ce paradoxe, au moins temporaire, a été la mise en commun de ressources. Cela ne signifie probablement pas que la concurrence n'existe plus entre les deux firmes – autrement dit la recherche de la domination du compromis qui prend la forme d'une *joint-venture* –, mais que celle-ci

est neutralisée dans un espace très particulier, dans laquelle les firmes se partagent probablement le travail sur l'amont de la première transformation (Roquette) et l'aval des débouchés de spécialité (DSM). Le cas de Reverdia illustre aussi une stratégie de « grands projets » appuyant des champions agro-industriels nationaux, à l'image de ce qu'a pu développer Sofiprotéol (Béfort, 2014) – même si le projet Biohub était en l'occurrence à trois champions européens, Cognis (All), DSM (NL) et Roquette (Fr).

La stratégie de Myriant, du moins dans le discours, est d'avoir construit une lente industrialisation à partir de brevets et sur la base de capitaux publics (prêts de l'USDA par exemple). Mais là encore, pour construire son implantation dans la filière, Myriant doit développer, par des accords – donc de nouveau un compromis – une trêve temporaire pour constituer une communauté d'utilisateurs en « open-innovation ».

Ces stratégies de groupes industriels internationalisés prennent place dans des espaces nationaux. Par exemple, Reverdia a été porté par Roquette, sur la base de fonds publics, tout comme Myriant aux États-Unis. La diffusion de la formulation des polyols entre Dupont Tate & Lyle, Piedmont et Myriant se fait en Europe et non aux États-Unis où la firme a été soutenue par les pouvoirs publics. À l'inverse, Reverdia annonce être éligible aux marchés publics américains. De même, Reverdia n'a pas de distributeur en Europe alors qu'elle en a pour d'autres régions du monde alors que Myriant n'en a pas pour l'Amérique, mais en a pour le reste du monde. Ces deux cas sont idéaux : chacun est très lié aux programmes publics de soutien à l'émergence d'une bioéconomie, mais qu'en est-il pour Bioamber et Succinity ?

Pour Bioamber, la firme s'est construite comme une firme nomade. D'abord fondée sur une licence exclusive de l'US DOE, la mise au point et la démonstration ont été réalisées en France, avant que la production soit délocalisée au Canada et, éventuellement, qu'une seconde usine soit construite en Thaïlande. Le flou sur la forme de cette usine, sa production, qui la possèdera, etc. témoigne de l'économie des promesses dans laquelle Bioamber est ancrée. Si les autres firmes développent également des promesses, elles construisent un rapport au territoire, ne serait-ce qu'en matière de gestion de la diffusion de leurs procédés ou produits. Dans le cas de Bioamber, on retrouve l'image de la « *start-up* victorieuse » décrite par Mangematin et Torre (2001). C'est-à-dire une firme qui « *cherche une croissance rapide et se donne pour objectif de devenir le leader mondial dans son secteur et de rentrer sur le marché boursier* » (Mangematin et Torre, 2001, p.14). Cependant, Bioamber est-elle si « victorieuse » ? D'une part, on a constaté que son modèle repose beaucoup sur des assemblages de licences, et d'autre part qu'elle a dû s'assurer de coopérations d'écoulement. Il faut comprendre ainsi l'évolution du modèle de Bioamber qui a pris la mesure des alliances nécessaires pour assurer son développement. Enfin, le cas de Succinity montre que BASF ne développe pas véritablement de rapport au territoire dans l'acide succinique en laissant la production sur le site de Purac Corbion, mais par conséquent, se mobilise sur l'aval, dans la production de plastiques qui vont être ajoutés à son portefeuille d'activités.

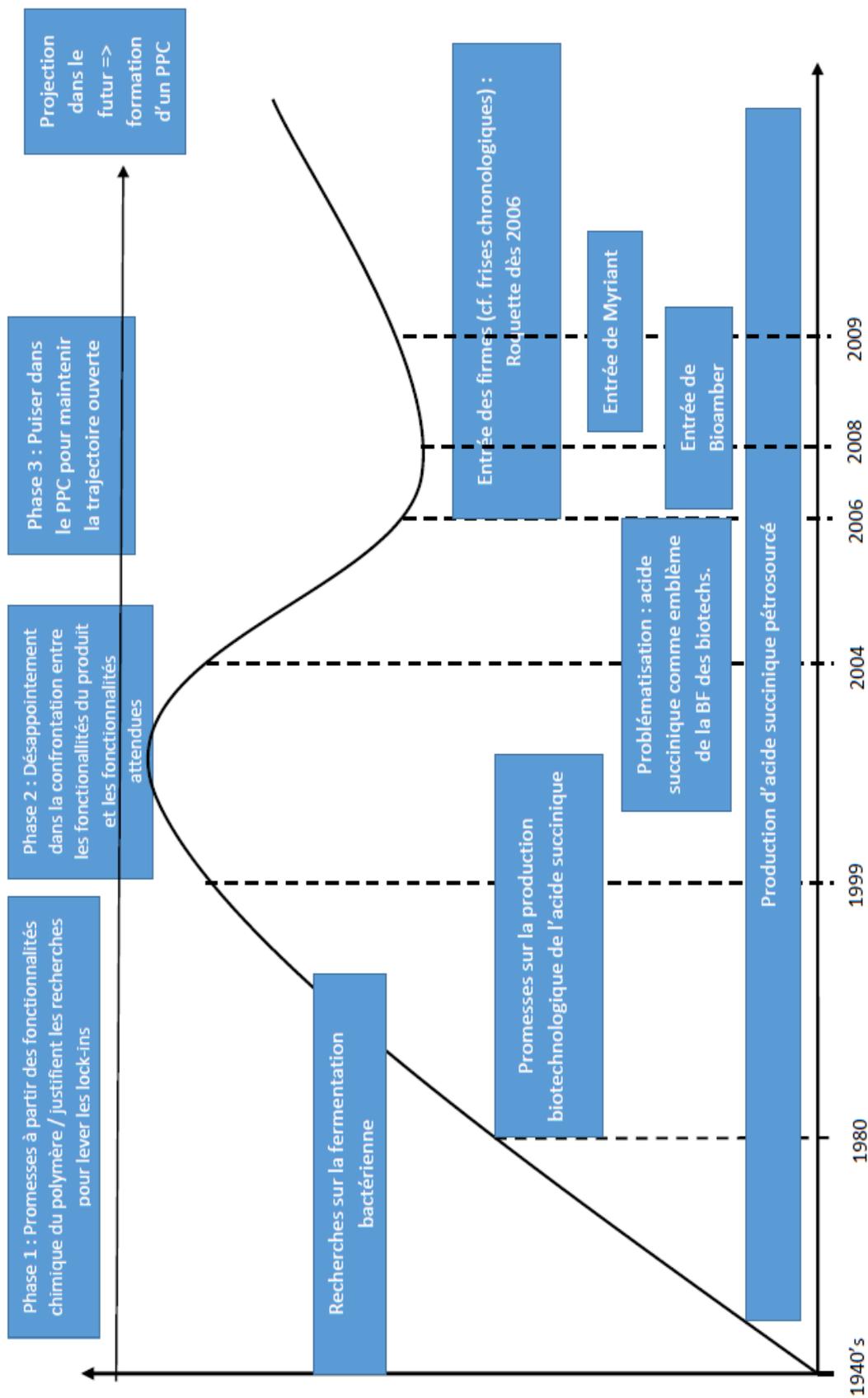


Figure 133 : La trajectoire de développement de l'acide succinique

<b><u>Fonctionnalités de l'acide succinique biosourcé</u></b>	<b><u>Fonctionnalités attendues</u></b>
<p>Acide dicarboxylique : très présents pour la production de polyamides</p> <p>Permet la production d'un autre intermédiaire, le 1.4 BDO et d'atteindre le PBS</p> <p>Possibilité de production par des procédés biotechnologiques</p>	<p>Forme à la fois de substitution du produit pétrosourcé, mais également nouveaux usages</p> <p>Plastique biosourcé, produit à haute valeur ajoutée</p>

Figure 134 : Fonctionnalités et fonctionnalités attendues de l'acide succinique

## 2. L'acide lévulinique, un produit au cœur de l'objet transitionnel bioraffinerie ?

L'acide lévulinique, comme le rappellent systématiquement et de façon un peu agaçante, tous les articles qui lui sont consacrés est un des intermédiaires retenus dans le travail américain de 2004 comme l'un des intermédiaires prometteurs du top 12, susceptible de servir de building block à un ensemble d'autres intermédiaires (en l'occurrence d'autres building blocks). Par ex., il est mentionné parmi ses (nombreuses, comme toujours) possibilités d'application, comme un matériel de départ pour produire de l'acide succinique – ce qui en fait une voie alternative aux voies biotechnologique, dont nous avons raconté les attentes et les promesses dans la section précédente.

### 2.1. La construction d'une hypothèse interprétative

Nous nous sommes interrogés sur la place à donner à l'acide lévulinique du fait du peu d'enthousiasme marqué par des chercheurs interviewés quant à sa montée sur le podium du top 12 (« *bon, je ne vois pas ce qu'il y a de nouveau sous le soleil* »). Ce sentiment a été renforcé lors d'études de marché auxquelles nous avons pu participer (« On a le *process*, mais maintenant, que peut-on faire du produit ? »). D'autre part, l'acide lévulinique apparaissait comme marginal dans l'ensemble de publications – par exemple, pour 2016 (interrogation au 25/08/2016) on dispose d'environ 10 fois moins d'items sous google scholar pour l'acide lévulinique que pour l'acide succinique, et de 15 fois moins que pour l'acide lactique.

Au point que nous nous sommes demandés, avec notre directeur de thèse, si l'acide lévulinique ne devait pas tout simplement sa place au moment de la construction institutionnelle du top 12, au soutien accordé par le gouvernement américain à un procédé, le procédé BIOFINE qui connaissait alors un développement pré-industriel. Et que l'introduction dans le top 12 de l'acide lévulinique, principale production de ce procédé, n'était pas une aide américaine plus ou moins discrète à ses producteurs, puisque le top 12 a valeur prescriptive : c'est dans cette direction qu'il faut orienter vos efforts de recherche, si vous souhaitez explorer les voies les plus prometteuses.

Puis nous nous sommes souvenus que notre objet d'étude n'est pas tant les débouchés réels, mouvants par définition, susceptibles de changer en fonction des prix relatifs du pétrole, et des transformations des marchés liés aux gaz de schiste, qui ferment des portes (baisse des prix qui rendent certains produits biosourcés *lowcosts*, ou ayant choisi de venir concurrencer des commodités pétrolières, à nouveau non compétitifs) ou en ouvrent d'autres (la panique devant le risque de manquer de butadiène pétrosourcé s'il n'est plus produit, à mesure que les gaz de schiste prennent le pas sur le pétrole, ce qui ouvre la porte au biobutadiène) que le rôle que jouent les promesses sur des molécules spécifiques dans la construction du champ de la bioéconomie.

Il faut donc concevoir la place de l'acide lévulinique, non pas tant en fonction de son poids dans les publications scientifiques – signe de fortes espérances et de fortes promesses, certes —, mais en tant qu'il contribue à construire l'espace collectif de la bioéconomie dans l'esprit des acteurs économiques et des experts. De même que le PLA a été avec les amidons modifiés, l'intermédiaire phare des années 1990 (en tant que porteur de la promesse du passage pour des polymères biosourcés

d'un statut de niche ou plutôt de « réserve indienne »<sup>214</sup> et de polymères de spécialité, à celui de polymères de commodité venant challenger la chimie traditionnelle), et que l'acide succinique a beaucoup occupé l'espace médiatique des années 2000 (en tant que produit emblématique de la capacité des biotechnologies à substituer terme à terme des voies pétrolières) pour contribuer à la construction de l'espace de la bioéconomie), quelle est la place de l'acide lévulinique ?

L'hypothèse interprétative à laquelle nous arrivons est la suivante : si l'acide lévulinique occupe une place particulière, c'est par rapport à la problématique de la bioraffinerie qui est à l'origine de la bioéconomie du troisième type. La bioraffinerie est le dispositif de transformation de la matière première agricole en « quelque chose » ; ce « quelque chose » pouvait être les biocarburants, mais ceux-ci sont discutés – ici, ce qui nous intéresse, c'est surtout le fait qu'ils soient discutés du point de vue économique, car il apparaît régulièrement qu'ils sont trop chers, et que défendre les subventions n'est pas toujours soutenable politiquement. De même, ce qui pose question dans les biocarburants, c'est l'usage de fractions alimentaires à usage non alimentaire. L'objet bioraffinerie a donc besoin d'un système de promesses plus large pour exister.

## Biofine Process – Fast Chemical Conversion

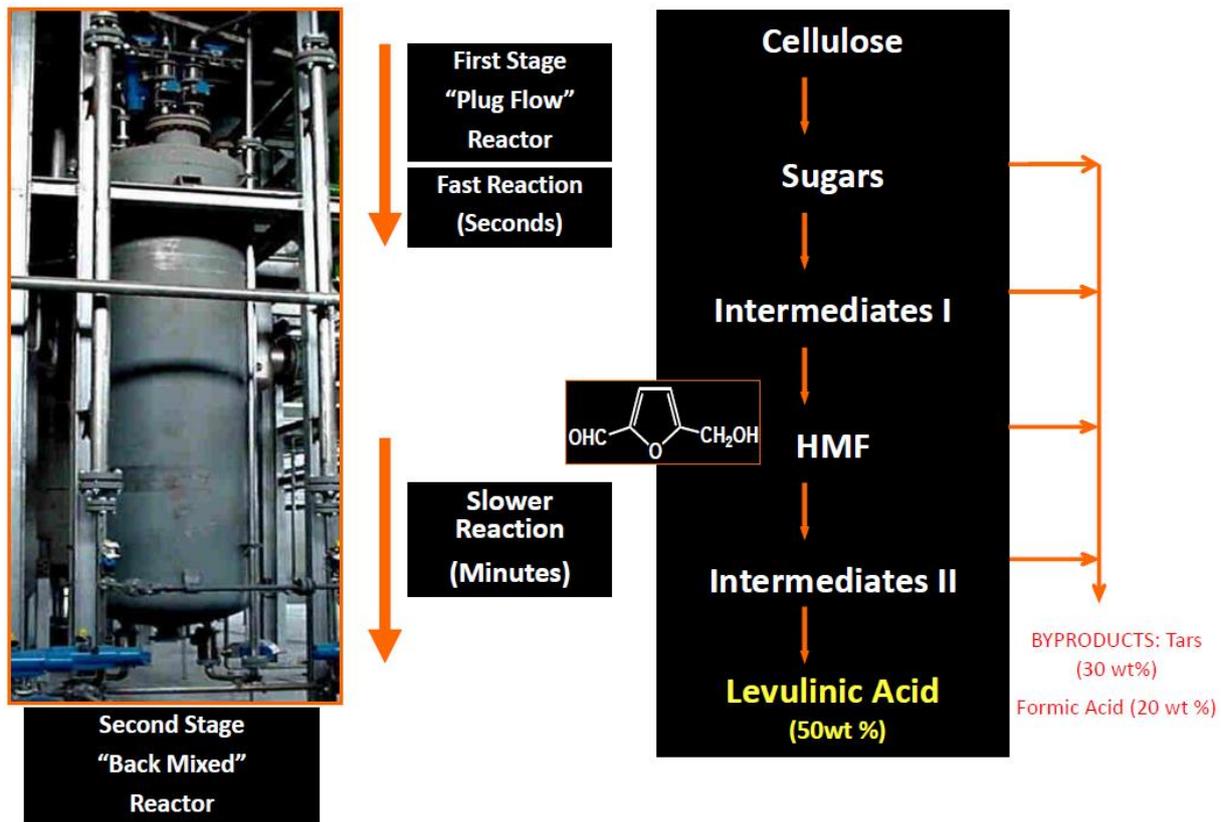


Figure 135 : Les étapes techniques de production d'acide lévuliniques par le procédé Biofine (Biofine, 2013)

Or comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus, tiré de la présentation par la société en 2013, l'acide lévulinique est le produit du cracking à haute pression, par une technologie d'acides forts,

<sup>214</sup> Au sens où il ne restait que quelques buttes-témoins qui avaient résisté, pour des raisons particulières à la substitution des produits d'origine renouvelable par des produits d'origine fossile.

des lignocelluloses utilisées comme source de matière peu coûteuse, pour rendre disponibles leurs sucres (hexoses) et provoquer la réaction de formation (il reste alors à séparer l'acide lévulinique du solvant et à le purifier). Avec son coproduit l'acide formique (qui peut être utilisé pour les formaldéhydes), il offre la possibilité d'un large spectre d'applications :

## THE BIOFINE PROCESS (THE "BIOREFINERY")

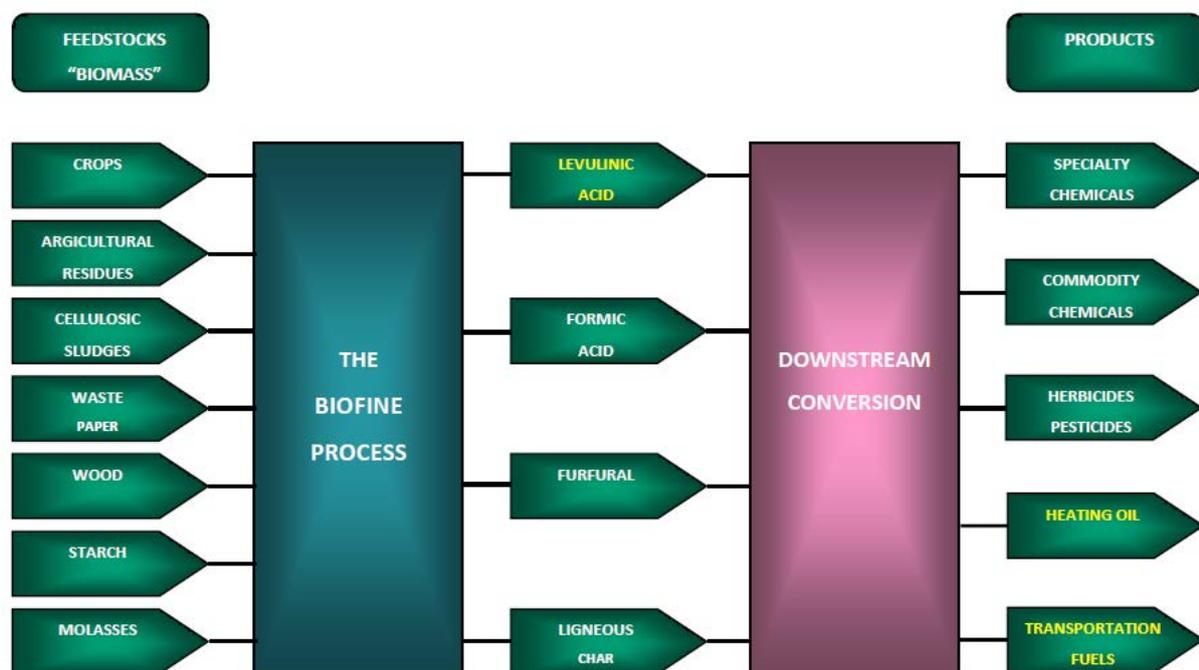


Figure 136 : Le procédé Biofine (Biofine, 2013)

L'avantage de cette représentation est qu'elle décrit tous les aspects de la promesse faite en bioéconomie par la voie acide lévulinique. On remarquera d'abord à gauche que le *process* Biofine accepterait une variété de ressources peu coûteuses ou à image environnementale (des déchets urbains, des résidus de l'industrie du bois, des déchets agricoles, etc...). On remarquera ensuite à droite la déclaration générique de faire de l'acide lévulinique le précurseur de produits de la chimie de spécialité et de commodité, de pesticides et herbicides et de carburants.

Nous avons donc cherché à vérifier cette hypothèse de la façon suivante : nous avons cherché à replacer l'acide lévulinique dans l'histoire de la chimie, pour mesurer le degré de nouveauté des promesses sur l'acide lévulinique, et identifier le contexte dans lequel ces promesses s'inscrivaient. Nous avons pour ce faire, cherché à identifier à différentes époques des review de littérature clés. La première date de 1956 et recense toutes les possibilités offertes par l'acide succinique en tant que produit chimique de base, dans *Industrial and Engineering Chemistry* (Léonard, 1956). Le papier de Veal et Wealley de 1981 critique l'idée que l'on puisse déboucher vers une substitution des carburants fossiles par l'éthanol rapidement, et conclut, après en avoir inventorié les possibles usages, ainsi « *a good starting point might be to reexamine somme of the work on the levulinic acid wich was done 30-40 years ago* » (Veal et Wealley, 1981, p.56). Le papier de Bozell *et alii* de 2000 refait l'inventaire des possibilités de l'acide lévulinique en tant que plateforme chimique et expose le procédé Biofine – une entreprise créée en 1987 sur la base de portefeuilles de brevets sur l'acide lévulinique qui dans le cadre d'un projet avec le NREL ouvert en 1996 explore les applications de l'acide lévulinique issu de son procédé) ; c'est ce papier qui est mobilisé dans l'exercice de prospective américain de 2004. Nous disposons également d'un papier de Hayes *et alii* (2006) qui va être publié dans l'encyclopédie sur les bioraffineries (**CHAPTER 7. THE BIOFINE PROCESS – PRODUCTION OF LEVULINIC ACID, FURFURAL, AND FORMIC ACID FROM LIGNOCELLULOSIC FEEDSTOCKS**). Celui-ci, un plaidoyer pour la voie thermo-chimique et le procédé Biofine contient d'énergiques notations sur les difficultés que rencontrent les voies biotechnologiques – et par conséquent les avantages apportés par la « promesse acide lévulinique ». Enfin, la revue ChemSusChem (2016/9) vient de publier une nouvelle synthèse par Pileidis et Titirici au titre évocateur si l'on suit notre hypothèse : « **LEVULINIC ACID BIREFINERIES : NEW CHALLENGES FOR EFFICIENT UTILIZATION OF BIOMASS** »)

#### 2.1.1. La trajectoire historique de l'acide lévulinique : une histoire américaine

La production industrielle s'est développée à partir des années 40-50 notamment sous l'impulsion de Staley, comme en témoigne l'ouvrage qui fait office de revue de littérature publié par la firme en 1943. Cette firme était d'abord une entreprise agricole du soja et du blé, qui a développé par la suite, entre autre, la production d'acide lévulinique. Celui est transformé par un procédé thermo-chimique appliqué notamment à l'amidon (Moyer, 1942 ; Meyer, 1945). Quaker Oats, entreprise agroalimentaire américaine fondée en 1901, fut aussi l'une des premières à développer une unité de production d'un précurseur de l'acide lévulinique, le furfural, dès 1922 pour des résines phénol-furfural (qu'on peut donc classer dans la grande famille des formaldéhydes). Et la firme utilise ses résidus agricoles – ses coques de graines d'avoine, réalisant ainsi la bioraffinerie sur résidus agricoles rêvée dans les années 2000, bien avant la lettre. Elle dépose également un brevet sur la production d'acide lévulinique en 1953 (Dunlop et Wells, 1953).

Cette période des années 1940-50 est un tournant dans la production d'acide lévulinique. La contribution de Leonard (1956) prend la suite de l'ouvrage de Staley (1943) en faisant l'inventaire des productions à partir d'acide lévulinique : esthers d'acide lévulinique comme plastifiant, préparation d'intermédiaires chimiques actifs (dans le prolongement de Meyer, 1945), émulsifiants, pesticides et compléments alimentaires. Ce même article, ainsi que les brevets cités précédemment vont être considérés par Schraufnagel et Rase (1975) comme étant à l'origine de la trajectoire technologique de la production d'acide lévulinique : « *Commercial production using an autoclave began in the United*

States in 1940 by A. E. Staley Co. Using dextrose as feed and HCl as the acid (Meyer, 1945) » (Schraufnagel et Rase, 1975, p.40).

Il faut donc bien relire les papiers de 1981 puis de 2000, à l'aune de qui a déjà été inventorié comme voies dans les brevets et publications de la période 1940-1950 : la réponse est relativement simple. Ce sont les mêmes voies d'usage de l'acide lévulinique qui sont envisagées, et les promesses sont présentées de la même façon : l'acide lévulinique comme « versatile platform chemical ».

### 2.1.2. La famille de brevets de Biofine

C'est donc ce contexte qu'il faut considérer le soutien du gouvernement américain à la société Biofine (Hayes *et alii*, 2006). Ainsi, on trouve des premiers brevets déposés par Biofine pour la production d'acide lévulinique à partir de lignocellulose dès 1990. Par exemple, Fitzpatrick (1990) précise un procédé de production de furfural et d'acide lévulinique à partir de lignocellulose par un procédé thermochimique. Il faut bien avoir conscience qu'il s'inscrit en réalité dans une lignée technologique, comme le montrent les références de brevets antérieurs relevées par l'examineur de son brevet, et celles de brevets citant le brevet 1990, s'il faut rajouter une preuve à notre démonstration (*cf.* figure 138). Le relevé de citation du brevet Biofine de 1990 confirme (*cf.* Annexe 24) confirme l'existence d'une puissante trajectoire dans laquelle est prise ce procédé.

<u>Brevet cité</u>	<u>Date de publication</u>	<u>Déposant</u>	<u>Titre</u>
<a href="#">US3258481</a>	1966	Crown Zellerbach Corp	Preparation of levulinic acid from hexose-containing material
<a href="#">US3701789</a>	1972	Commw Of Puerto Rico	Process for jointly producing furfural and levulinic acid from bagasse and other lignocellulosic materials
<a href="#">US4237226</a>	1980	Trustees Of Dartmouth College	Process for pretreating cellulosic substrates and for producing sugar therefrom
<a href="#">US4469524</a>	1984	St. Lawrence Technologies Limited	Continuous process and apparatus for modifying carbohydrate material
<a href="#">US4497896</a>	1985	St. Lawrence Technologies Limited	Fermentation of glucose with recycle of non-fermented components
<a href="#">US4578353</a>	1986	St. Lawrence Reactors Limited	Fermentation of glucose with recycle of non-fermented components

Figure 137 : La lignée des brevets cités dans le brevet Biofine de 1990 (Fitzpatrick, 1990)

On note, dès cette époque, que l'enjeu est bien d'inscrire ce procédé dans les usages traditionnels de l'acide lévulinique : « Furfural is used primarily in lubricating oil manufacture and in making resins. Levulinic acid is also used to make resins, and, in addition, plasticizers, fragrance products, and pharmaceuticals. » (Fitzpatrick, 1990, p.1). Soit exactement les possibilités imaginées, et les produits réalisés 50 ans plus tôt si l'on suit la compilation sur l'acide succinique de l'ouvrage du service de la R et D de la Staley Manufacturing compagny datant (probablement) de 1942 et qui fait mention de la mise en œuvre de son – déjà – nouveau *process* de production à grande échelle d'acide lévulinique.

## 2.2. Le soutien institutionnel au développement de l'identité d'un *process*

### 2.2.1. Le soutien institutionnel sur projet

Le soutien du gouvernement américain est d'abord passé par la mise en place d'un projet visant à accompagner l'industrialisation du procédé BIOFINE dès 1995 comme l'établit le rapport rédigé par Biometrics (2002). Cette firme d'ingénierie a géré la construction et la collecte de données sur l'unité de production mettant en place le procédé de Biofine. Le projet comprenait également la participation de Great Lake Chemical Corporation et du département à l'Énergie de l'État de New York qui était impliqué dans le soutien à Biofine. La construction du site de démonstration et de production a débuté en 1996 et les tests ont été menés à partir de 1997. Dans le discours, l'objectif est d'utiliser de la lignocellulose issue de la biomasse : « *the Biofine process allows the possibility of using biomass as a feed to a bio-refinery. Using the process, the biomass feed can be fractionated into levulinic acid, formic acid, furfural, and a hydrophobic (bone dry) char which is suitable for gasification to synthesis gas* » (Metrics, 2002, p.13).

### PROCESS CHEMISTRY

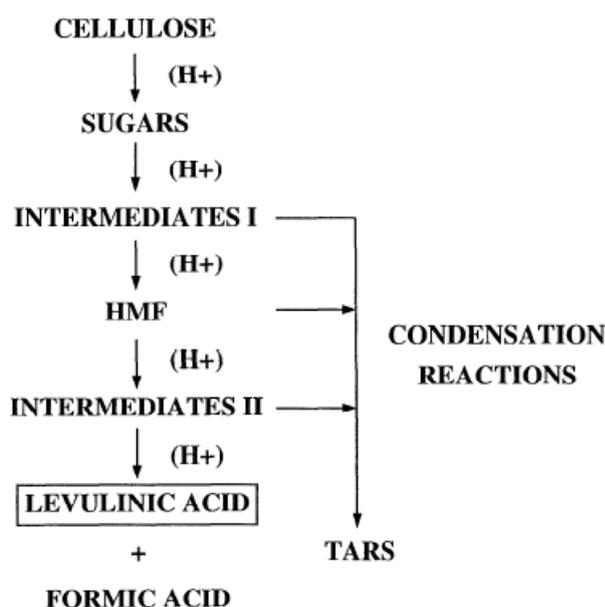


Figure 138 : process Biofine pour la production d'acide lévulinique à partir de cellulose

Plus loin dans le rapport, il est précisé que la lignocellulose utilisée vient principalement de pâte à papier et de déchets de production de papiers, puis de déchets municipaux et enfin de résidus de l'exploitation forestière.

Le deuxième intérêt de ce rapport est qu'il précise quelles sont les proportions pour chacun des produits obtenus d'une façon qui montre que la lecture de la situation est dominée par l'acide lévulinique et pas par les autres coproduits, qui sont précisément considérés comme coproduits alors qu'on pourrait faire le raisonnement inverse ; en effet, la production d'acide lévulinique permet également la production de furfural, qui fait également partie de la liste du Top 10 (Bozell, 2004).

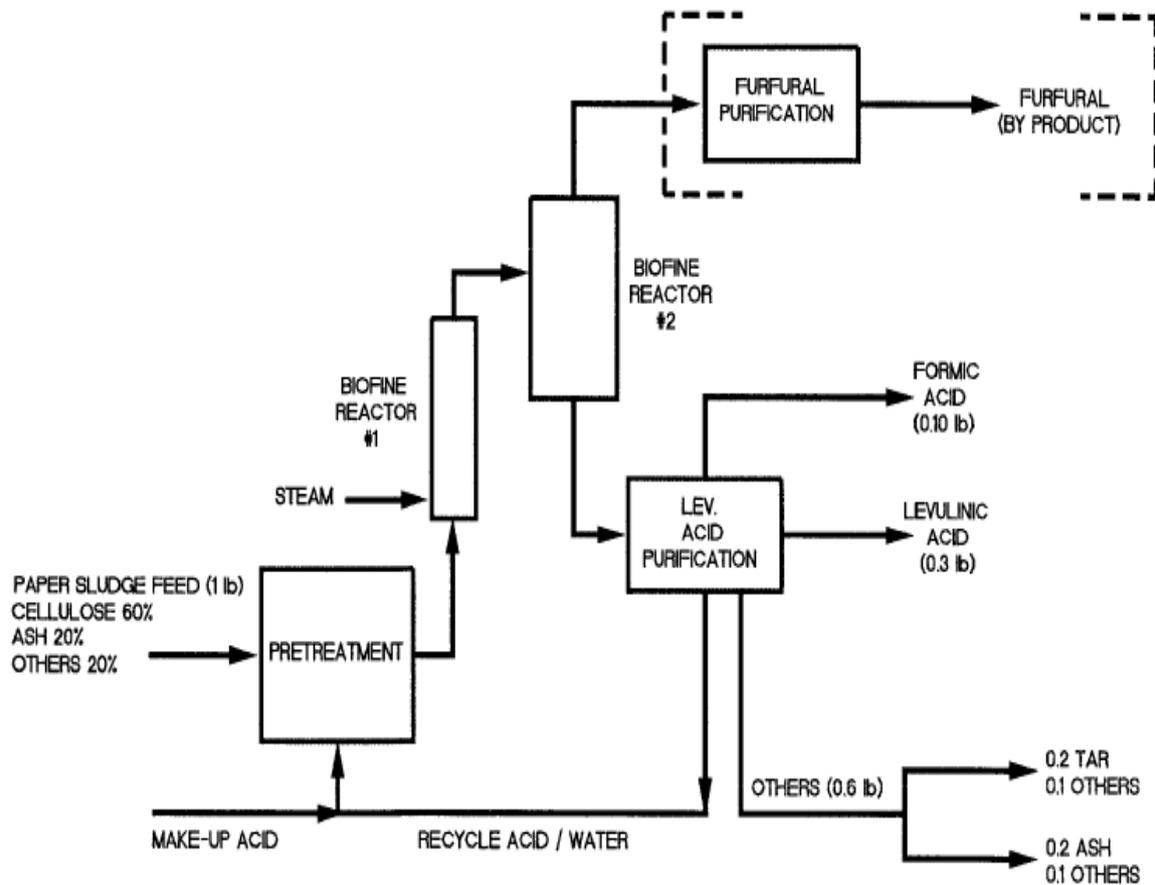


Figure 139 : Répartition des coproduits de la production d'acide lévulinique (Metrics, 2002, p.32)

#### 2.2.1.1. Le soutien du Green Chemistry Presidential Award et la formulation de promesses

Durant le projet, la firme a également été soutenue par le gouvernement américain en recevant le Green Chemistry Presidential Award en 1999. Puis, Bozell et al publient en 2000 l'étude sur l'acide lévulinique, défendant de fait le procédé Biofine dans la revue « Resources, Conservation and Recycling » (Bozell *et alii*, 2000).

Dans cette contribution, les auteurs défendent l'acide lévulinique comme un additif pour les carburants permettant de les rendre partiellement biosourcés grâce au MTHF qui est un dérivé de l'acide lévulinique. Cet usage est défendu en raison de la possibilité de le mélanger directement sur le site de raffinage, à la différence de l'éthanol : « *because it is miscible with gasoline at all proportions and hydrophobic, MTHF could be blended at the refinery and transported by pipeline. In contrast, ethanol must be added later in the distribution process because contamination with water can cause phase separation* » (Bozell et alii, 2000, p.232). Concernant l'application dans les DALA, c'est-à-dire les herbicides, les auteurs estiment que « *DALA is completely biodegradable with a broad spectrum of activity rivaling and possibly exceeding that of Monsanto's Roundup* » (Bozell et alii, 2010, p.232). Enfin, l'acide lévulinique est également décrit comme pouvant rentrer dans la composition des acides diphenoliques, c'est-à-dire une grande famille d'acides aux applications très larges, qui avait été supplantés par le bisphénol A en raison de son coût plus faible, dans les polycarbonates.

Cet inventaire d'usages, y compris des biocarburants, ne dépasse pas ce qui avait déjà été écrit dans les années 50.

#### 2.2.1.2. ... Qui relèvent d'une stratégie d'entretien sur longue période des espérances technologiques

Ceci prouve donc qu'il s'agit de l'entretien d'une promesse. La construction du discours visant à démontrer l'intérêt du *process* Biofine inscrit bien le potentiel de la bioraffinerie dans celui de l'acide lévulinique. Dit autrement, le succès de la bioraffinerie dépend, si l'on suit le plaidoyer de Hayes et alii (2006), de cette filière de l'acide lévulinique d'où l'importance accordée à ses débouchés. Biofine met en scène la bioraffinerie lignocellulosique en l'inscrivant dans la possibilité de sortir la bioraffinerie du piège de la concurrence alimentaire - non alimentaire sur la ressource.

Ce débat contemporain ne doit pas masquer que la technologie s'inscrit dans le temps long voire très long de la technologie d'hydrolyse acide à haute température : « *research and development efforts and attempts to commercialize biomass hydrolysis technology began in the early 1900s. (...) The Quaker Oats Company began production of furfural in the United States in the 1920s and until recently was the major world produced from agricultural sources including corncobs, oat hulls, rice hulls, cereal grasses, and sugar cane bagasse* » (Katzen et Schell, 2006, pp.129-133).

D'ailleurs, après avoir insisté sur la nouveauté du *process* ( « *the process involves high-temperature acid-hydrolysis in two reactors and one of the most advanced and commercially viable lignocellulosic-fractionating technologies currently available* » (Hayes et alii, 2008, p.139) les acteurs de la firme avancement aujourd'hui sa rusticité, la possibilité de l'ancrer sur des sites sous-utilisés et, détail amusant si l'on se souvient de la violence de la crise identitaire de la chimie, le fait que le procédé soit chimique et pas biotechnologique ! (« *chemical not biological* » du *slide* ci-dessous utilisé dans la présentation de 2014 de Biofine, qui ne se trouvait pas dans les communications des années précédentes).

## VALUE PROPOSITION

- SIMPLE, ROBUST, COMPACT ECONOMICAL, ESTABLISHED
- CHEMICAL NOT BIOLOGICAL
- RENEWABLE SOURCE FOR BOTH CHEMICALS AND FUELS
- UTILIZES FORESTRY OUTPUT AND CELLULOSIC WASTES
- BENEFICIAL ADDITIVE FOR BIODIESEL, HEATING OIL, & GASOLINE
- REDUCE LOCAL AND NATIONAL PETROLEUM DEPENDENCE
- REDUCES GREENHOUSE GAS INTENSITY OF LIQUID FUELS
- BENEFICIAL USE OF EXISTING UNDERUTILIZED INDUSTRIAL SITES



Figure 140 : Les promesses technico-économiques de Biofine (2014)

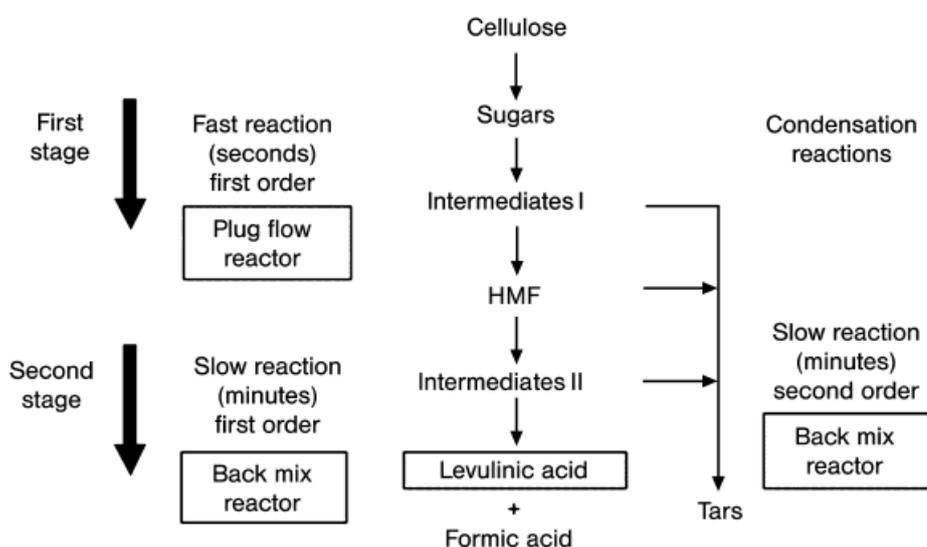


Figure 141 : Les étapes de production de l'acide lévulinique à partir du procédé Biofine (Hayes *et alii*, 2008, p.144)

Nous l'avons montré précédemment, c'est le *process* qui permet d'accéder à l'acide lévulinique qui est offert plutôt que la molécule en tant que telle. C'est ainsi que le schéma précédent construit la modularité du *process* avec deux réactions, maîtrisables et qui permettent d'atteindre des intermédiaires précis. Cette hypothèse est confirmée par la citation suivante : « *In a complete Biofine*

*plant, additional processing may then occur, depending on the final products required*<sup>215</sup>. For example, syngas production from the Biofine char (a dry, powdery material of calorific value comparable with that of bituminous coal, and composed of the residual materials in the Biofine Process which has value as a fuel and as a soil additive) can be conducted in a gasification unit or the LA can be esterified with ethanol to produce ethyl levulinate. » (Hayes et alii, 2008, p.145). Le produit est donc construit comme pouvant être intégré sur des sites de production existants ou participer à l'organisation de la rentabilité d'un site industriel en réutilisant certains flux.

### 2.2.2. L'industrialisation du procédé en Italie

Le procédé a été industrialisé à partir du milieu des années 2000. Ainsi, Hayes et alii (2006) précisent qu'un site industriel situé à Caserta en Italie devait industrialiser le procédé. Une étude de marché<sup>216</sup> que nous avons réalisée en juin 2014 lors de notre séjour au Nova-institut a montré qu'une firme italienne nommée Green Future produisait depuis 2008 de l'acide lévulinique, mais ne communiquait pas à ce propos. Cette même firme, Green Future, était également localisée à Caserta. En novembre 2015, une firme italienne, GF Biochemicals, affirme avoir développé un procédé permettant de produire de l'acide lévulinique directement depuis de la biomasse : « *GF Biochemicals is the only company to produce levulinic acid at commercial scale directly from biomass.* »<sup>217</sup>. Ce niveau de production (8kt/an) aurait été atteint après avoir été à l'état de démonstration industrielle depuis 2008. Dans la communication de la firme, il n'est pas question de Green Future, ni même d'un éventuel changement de nom. Cependant, la localisation de Green Future et la localisation de l'unité de production de GF Biochemicals à Caserta (*Via delle Industrie, Caserta*) laisse penser qu'il s'agit de la même firme. La seconde question qui vient à propos de la production de GF Biochemicals est de savoir si elle a, comme elle l'affirme, développé un procédé, ou si elle utilise le procédé Biofine sous licence. Nos recherches de brevets à partir de Green Future ou de GF Biochemicals n'ont renvoyé aucun résultat sur des brevets déposés. En revanche, certains de ses personnels (R. Parton, B. Engendahl et A. de Rijke) travaillaient auparavant chez DSM et ont déposé quelques brevets sur l'acide lévulinique (Jacobs et alii, 1997 ; Parton et alii, 2013 ; Parton et alii, 2014 ; Rijke et alii, 2014). Ainsi, GF Biochemicals aurait industrialisé le procédé Biofine sur son site de production en Italie. Il s'agit donc de la deuxième unité de production (après l'unité de démonstration de Biofine à South Glen Falls dans l'État de New York) utilisant ce procédé.

Nous aurions bien sûr pu nous passer de ce détour sur GF Biochemicals puisque l'entreprise ne semble pas modifier significativement le paysage. Néanmoins, le fait qu'elle ait eu une place significative dans les médias est le témoin du fait que les acteurs, pour faire exister le champ en tant qu'espace de mobilisation, ont besoin de ces promesses renouvelées et de ses prédécesseurs depuis Leonard (1956). Alors que ce qui qualifie l'acide lévulinique, c'est bien son inscription dans les

---

<sup>215</sup> Surligné par nous.

<sup>216</sup> Cette étude de marché étant confidentielle, il ne nous est pas possible d'en diffuser ici les résultats.

<sup>217</sup> <http://www.gfbiochemicals.com/company/#about-us>, consultée le 14/12/2015.

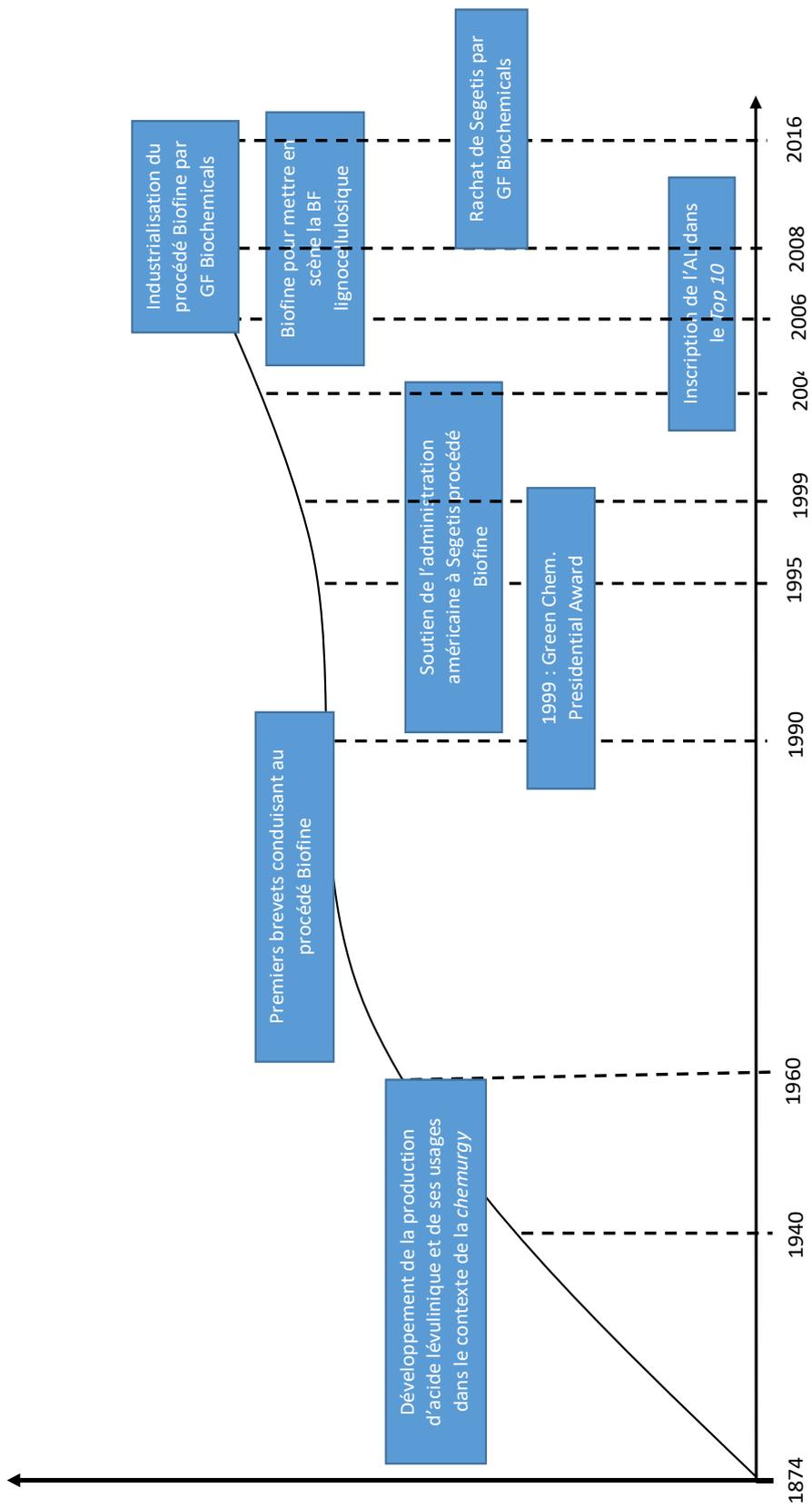
différentes listes d'inventaire des « molécules d'avenir » puis sa présence dans l'ouvrage de Kamm *et alii* (2006), et donc dans le champ de la bioraffinerie contemporaine.

Le fait est que l'on retrouve dans le vaste review de 2016 dans ChemSusChem, l'ensemble de ces débouchés avec une focale particulière sur l'obtention d'acide succinique à partir de l'acide lévulinique – c'est-à-dire par une voie « non biotechnologique », attire l'attention sur un point particulier. La bioéconomie du troisième type se construit comme un champ où s'affrontent les acteurs des voies biochimiques et thermochimiques tout en collaborant pour faire exister des dispositifs institutionnels qui leur soient favorables et qui contribuent à la clôture du champ. Dans cet espace, l'insistance sur l'acide lévulinique est un marqueur du champ utilisé dans des dispositifs de légitimation et de crédibilisation variables : (1) pour indiquer la possibilité d'une « bio-based economy » puisqu'elle a déjà existé ; (2) pour indiquer qu'il est possible de vaincre la récalcitrance de la biomasse, puisque le *process* Biofine est là – en l'occurrence pour traiter des fractions non alimentaires de la biomasse ; (3) pour indiquer qu'il existe une molécule plateforme suffisamment versatile pour couvrir un ensemble de besoins à partir d'un procédé suffisamment rustique, (4) et last but not least, pour éviter de faire de l'ingénierie génétique.

### Conclusion de la section et du chapitre

Le cas de l'acide lévulinique montre si besoin était, la profonde inscription de la bioraffinerie dans des patrimoines productifs hérités puisqu'en réalité on trouve dès les années 20 une activité significative autour la problématique de l'hydrolyse acide permettant de le produire.

L'ouvrage publié par la Staley manufacturing compagny (prob. en 1942) montre qu'on se trouve dans le même type de dynamique récurrente. Il y a installation d'une capacité de production industrielle de la molécule plateforme en 1940 ; il faut donc lui assurer la focalisation autour d'elle d'une communauté d'usage. Le service R et D de l'entreprise produit donc cet ouvrage qui est un document documentant tous les usages possibles et invitant à des collaborations. On a pu noter à cet égard la remarquable stabilité dans les promesses autour des débouchés qu'offre la versatile molécule plateforme comme le montre la comparaison entre Bozell *et alii* (2000) et Leonard (1956).



## CONCLUSION DE LA PARTIE 3

### La proposition d'une méthodologie pour analyser la formation des filières de la chimie doublement verte

Trois études de cas ont été menées. Celles-ci sont parties des produits pour saisir le mode d'organisation des filières de la chimie doublement verte. Pour cela, nous avons choisi de retenir l'acide polylactique, l'acide succinique et l'acide lévulinique. Les produits chimiques sont pensés par rapport à leurs fonctionnalités chimiques et pour les fonctionnalités que celles-ci peuvent remplir. Nous avons donc proposé d'étudier l'identité des produits comme le compromis entre les fonctionnalités chimiques, les fonctionnalités attendues et le patrimoine productif des acteurs. Pour étudier la formation de l'identité des produits, nous avons mobilisé une approche en termes d'économie des promesses. Pour chacun des acides, nous avons dressé en synchronie et en diachronie, les trajectoires des promesses technico-économiques autour des différents produits.

#### Des fonctionnalités économiques hétérogènes

Ces trajectoires de promesses permettent de révéler les dynamiques de formation des filières. De notre point de vue, le premier résultat porte sur la distinction des fonctionnalités attendues. Elles recouvrent deux aspects, comme le montrent les cas de l'acide polylactique et de l'acide lévulinique.

Dans le cas de l'acide polylactique, cette production est confrontée à l'aval des filières ; les fonctionnalités attendues touchent le « consommateur final » : résistance à la chaleur, gestion de la fin de vie du produit par exemple.

Dans le cas de l'acide lévulinique, l'objet de la construction de l'acide lévulinique dans la bioraffinerie est de donner au produit une identité de produit intermédiaire versatile. On retrouve, parfois par l'inventaire des débouchés industriels, une forme de construction de l'identité du produit lointaine par rapport au consommateur final : la mise en avant d'un intérêt supposé pour l'origine biosourcée du produit par exemple mais c'est tout à fait rare.

L'analyse de la formation des promesses sur les fonctionnalités des produits s'appuie sur la mise en évidence de la structuration des bases de connaissances des acteurs. Ainsi, nous avons constitué des corpus de publications scientifiques et de brevets portant sur les molécules étudiées. Ce sont donc ces trois dimensions (fonctionnalités, promesses technico-économiques et formation de la base de connaissance) qui nous permet de décrire les stratégies d'entrée dans les filières.

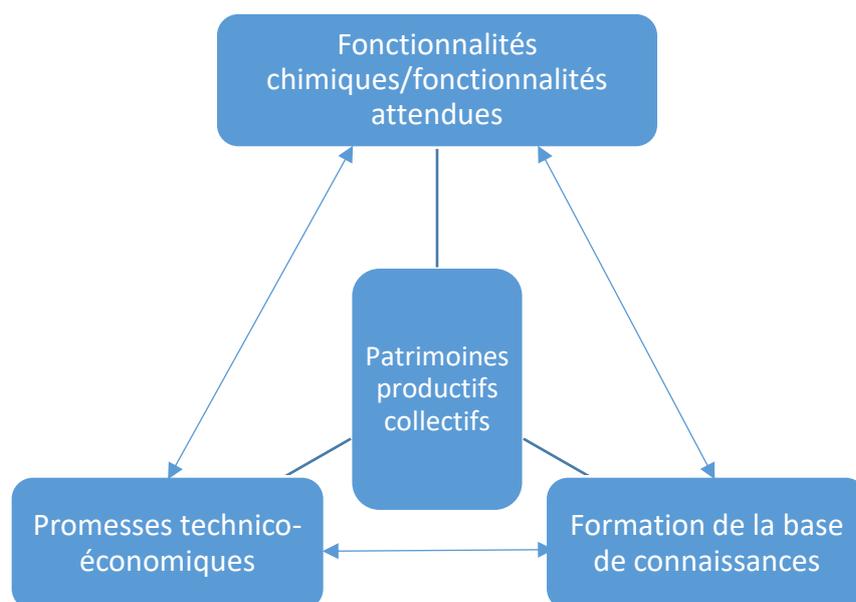


Figure 142 : notre triptyque méthodologique

## Les stratégies d'exploration comme entrées dans les filières de la C2V

L'ensemble des stratégies que nous avons décrites dans ce chapitre relèvent toutes de l'exploration soit de l'usage d'une matière première particulière (la lignocellulose par exemple), soit d'un ou plusieurs *process* qui vont être assemblés pour produire une molécule (comme le fait Bioamber) soit d'applications pour le produit (comme le montre le cas du PLA). Ainsi, nous pouvons identifier la combinaison de trois stratégies d'exploration transversales aux cas étudiés.

Stratégie d'exploration 1 : la constitution d'opportunités à partir d'un verrou technico-économique

La première tient en l'exploration par des macro-acteurs, de la chimie (DSM ou BASF) et des agro-industries (Cargill, Roquette), d'applications de matières premières ou de précurseurs dont les autres usages sont maîtrisés. Dans le cas de DSM, l'intérêt pour l'acide succinique ne vient pas de la production de débouchés de l'acide succinique mais de la maîtrise de la fermentation bactérienne et de la propriété de procédés de production à partir de souches pouvant elle-même être brevetées. Dans ce cas, comme pour BASF avec sa souche de production d'acide succinique, il s'agit donc de la maîtrise de ce qui est considéré comme un verrou technologique dans l'industrie des biotechnologies qui devient une opportunité pour prendre position dans de nouvelles filières.

Dans les cas de Cargill et Roquette, on assiste également à la création d'opportunités à partir des portefeuilles de brevets de ces deux firmes. Cargill, après avoir exploré une variété d'usages non alimentaires du végétal durant les années 80 a développé une trajectoire dans Les PLA qui a été marqué par la création de la *joint-venture* NatureWorks. A propos de la création de cette organisation, on peut s'interroger sur son identité. En effet, nous avons montré que la liste de ses propriétaires a évolué au cours des années ce qui interroge le rôle que tient la propriété des actifs de la firme.

Au sein de NatureWorks c'est la trajectoire du PLA qui est explorée dans ses différentes dimensions : PLA seul, mélanges PLA/PHA etc. L'exploration est donc à la fois « large » mais également guidée par le *process* mis au point par la firme. Encore une fois, c'est la maîtrise d'une partie d'un segment de filières qui permet à ces firmes d'organiser leur exploration de segments de filières.

Stratégie d'exploration 2 : La formation d'accords et de joint-ventures comme outil d'assemblage de connaissances et de développement de portefeuilles d'activités

Si l'entrée des firmes dans les filières de la C2V s'appuie sur des connaissances dont elles disposent, il est incontestable que ces acteurs développent des connaissances nouvelles. Cependant, pour les cas de l'acide lactique et succinique, nous avons pu constater la présence de plusieurs *joint-ventures* (Bioamber, Reverdia, Succinity, NatureWork, Futerro...). Deux stratégies de constitution et donc de mise en place de la production se dégagent.

Le premier est celui du *pure-player* comme Bioamber. Cette dernière s'est constituée sur la base d'une licence exclusive de brevet sur la production d'acide succinique, mais le développement du procédé et son optimisation a été réalisé en collaboration avec ARD. Puis la firme a cherché à industrialiser son procédé en nouant de nouveaux accords qui portaient essentiellement sur la production de 1.4 BDO avec un *process* dont elle a acquis une licence.

L'accord se fait ici pour 1) la capacité – du moins la promesse - de mettre en forme un assemblage de connaissances qui peut prendre place dans des filières industrielles, 2) permet d'externaliser une partie du risque lié à l'exploration technologique à la fois pour Bioamber mais également pour les firmes avec lesquelles elle passe des accords (comme PTT Chemicals par exemple) et 3) de participer à la diffusion du procédé ou du produit. La gestion du risque, ou l'exploration « pour voir », est soulignée par Festel (2015, cf. figure ci-dessous) qui pointe l'ampleur des phénomènes de désinvestissements (comme en 2006 et 2008).

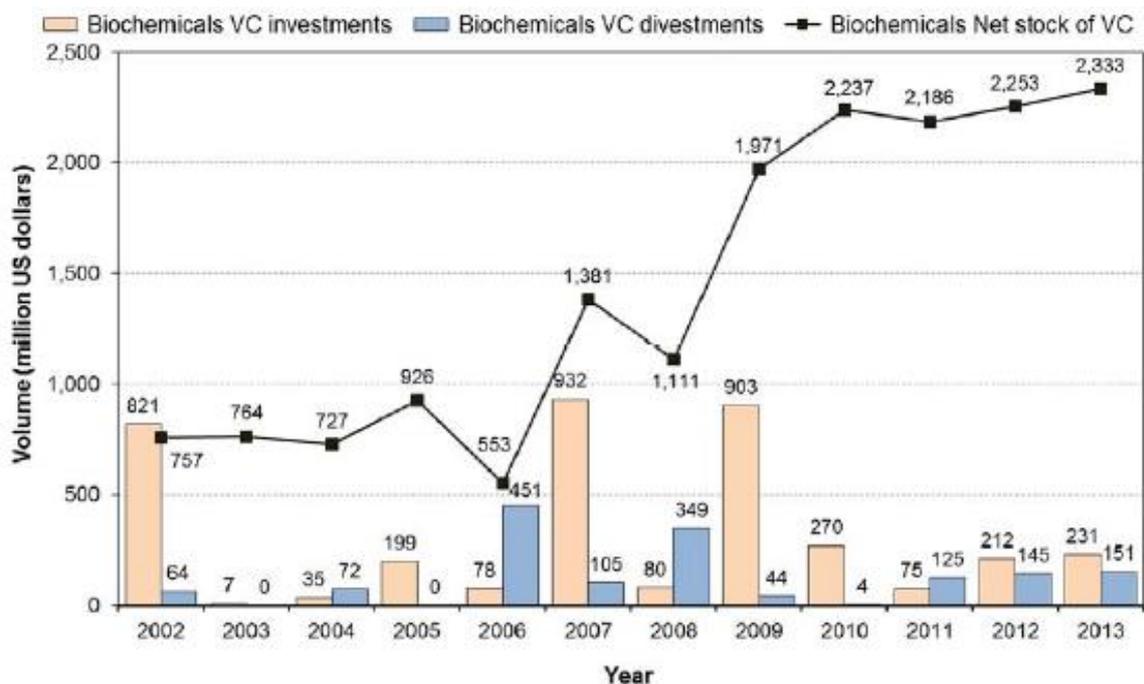


Figure 143 : les phénomènes d'investissement et de désinvestissement dans la bioéconomie des biotechnologies (Festel, 2015, p.21)

Il semble que les acteurs des biotechnologies, dont il est question en partie dans les cas de l'acide polylactique et de l'acide succinique, gèrent ainsi le risque. Ce phénomène nous a été confirmé par des témoignages de l'intérieur de syndicalistes de la chimie : selon eux, pour les macro-acteurs (comme Solvay ou BASF), les investissements dans des *joint-ventures*, des *start-ups* des biotechnologies ou des projets de recherche collectifs ne sont « *qu'une goutte d'eau* »<sup>218</sup>, et les programmes liés à la bioéconomie en définitive peu visibles.

Ce partage du risque participe également de la diffusion de l'innovation. La constitution de communautés d'usage apparaît clairement comme une condition de réalisation des explorations sur les plateformes versatiles. C'est la possibilité d'adopter ou non une technologie (le « *go-no go* » utilisé par certains acteurs) qui est ainsi construite (Hall, 2005). Ce même auteur insiste également sur le fait que la constitution de ces réseaux d'acteurs permet d'organiser la « *trialability* » et l'« *observability* » des technologies développées<sup>219</sup>. Ces deux dimensions permettent également de saisir la stratégie de Myriant qui consiste à révéler ses formulations de polyols biosourcés.

La formation d'accords, parce qu'elle organise l'assemblage de connaissances permet également de compléter ou réexplorer des segments de portefeuilles d'activités. Dans le cas de Roquette par exemple, il apparaît clairement que l'alliance avec DSM permet d'en organiser l'industrialisation et donc compléter les portefeuilles d'activités des deux firmes. On retrouve cette dimension dans l'accord entre Bioamber et PTT Chemicals : cet accord permet à la firme thaïlandaise d'ajouter l'acide succinique à son portefeuille d'activités en ouvrant ainsi un débouché pour Bioamber.

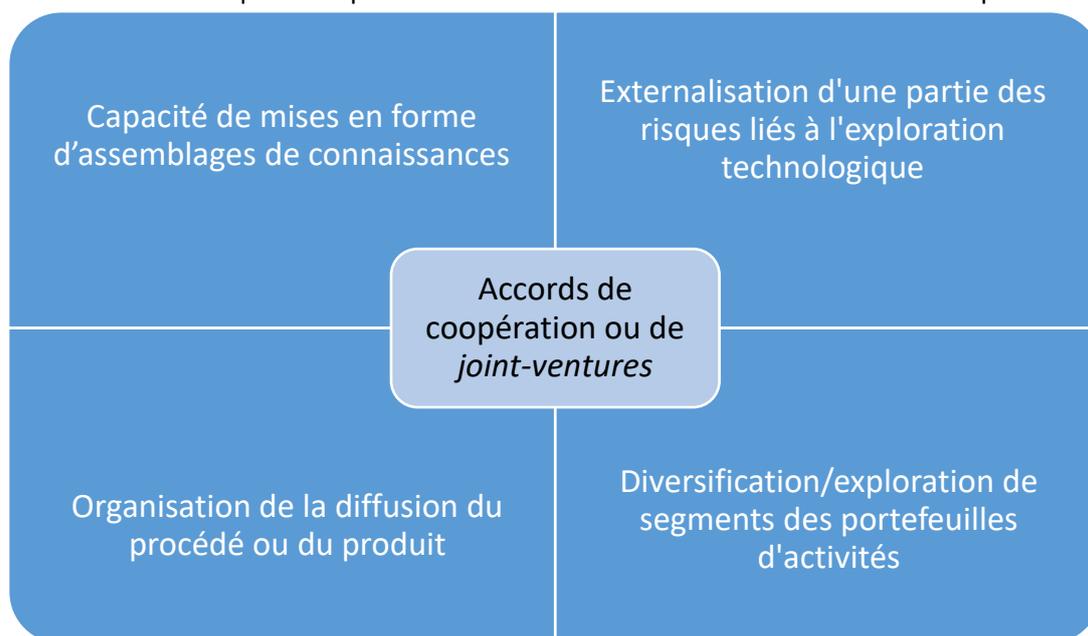


Figure 144 : Les quatre dimensions de la constitution d'accords

Ainsi ce peut être la possibilité d'assembler des connaissances, des procédés et des technologies qui peut être l'objet de l'offre d'échange entre acteurs et pas seulement les produits. Nous avons montré que dans les cas de Bioamber ou de Biofine, c'était la possibilité d'assembler des

<sup>218</sup> Nous reprenons ici l'expression, répétée, par nos différents interlocuteurs.

<sup>219</sup> Le « *trialability* » est défini comme « *the ease with which the innovation can be tested by a potential adopter* » et l'« *observability* » comme « *the ease with which the innovation can be evaluated after a trial* » (Hall, 2005, p.461).

technologies qui était vendue, la production de connaissances est donc bien guidée par la nécessité d'en organiser l'assemblage dans des processus de production.

Stratégie d'exploration 3 : La coordination par les modèles économiques, les promesses technico-économiques et les normes

La méthodologie que nous avons mobilisée dans nos études de cas repose sur l'identification de ces promesses, et en ce sens, elles participent de la stratégie d'entrée des acteurs. Mais ces promesses constituent également une problématisation de l'espace par les firmes. Les promesses technico-économiques sont formées sur la base verrous technologiques que les firmes identifient comme étant les « obstacles » à lever (les *lock-ins*) sur un sentier possible. Les acteurs, ce faisant, construisent donc des visions du futur qui permettent de coordonner la division du travail. Dans le chapitre portant sur les dispositifs institutionnels de la bioéconomie, nous avons proposé le concept de « modèles économiques de filières ». Dans le cadre des dispositifs institutionnels mettant en jeu le financement d'outil de démonstration industrielle, ces modèles étaient traduits institutionnellement (dans des exercices de restitution par exemple). Dans les cas que nous avons traités, il s'agissait d'étudier la formation des compromis de produits et des stratégies d'exploration et d'entrée. Toutefois, cette question s'intéresse aux modes de coordination des acteurs. On peut donc lire la production des promesses technico-économiques comme des modes d'organisation entre différents acteurs des filières (de l'amont ou de l'aval). Les annonces des accords de commercialisation ou de co-développement font toujours état de promesses de développement (que nous avons listées pour les trois produits étudiés) qui permettent d'entretenir, malgré les désappointements, la dynamique de la trajectoire.

Au rang de la stratégie des promesses et de la construction de l'identité des produits, ajoutons la stratégie de « qualification ». Cette stratégie de qualification joue également sur la promesse formulée sur les produits : elle permet d'afficher l'identité biosourcée d'un produit. Nous avons pu en pointer deux dans nos études de cas.

La première porte sur la certification des produits. Par exemple, Reverdia a communiqué largement autour de l'attribution du label de l'USDA qui qualifie le Biosuccinum pour accéder aux marchés publics américains. L'Union Européenne (ou ses Etats membres) n'ayant pas adopté de définition de label sur l'origine biosourcée des produits, le label américain est de fait la référence.

La seconde stratégie de qualification tient en la présence du produit ou de la molécule dans les listes comme le Top 10 américain ou l'ouvrage de Kamm *et alii*. (2006). L'acide lévulinique illustre parfaitement cette stratégie. C'est une molécule biosourcée, produite depuis les années 50, que les acteurs maîtrisent, et pourtant elle réussit à « monter dans les listes de nouveautés ».



## CONCLUSION GENERALE



## QUESTIONS THEORIQUES ET EMPIRIQUES, REPONSES EMPIRIQUES ET THEORIQUES

L'hypothèse standard formulée par le *transition management* (STRN) sur la dynamique de régulation du changement dans les transitions est qu'à une première période d'exploration succède une phase de sélection d'un *dominant design* technologique, autour duquel s'articulent des dispositifs institutionnels comme des normes de consommation ou des infrastructures permettant le déploiement des technologies (par exemple, les routes dans le cas de l'automobile). Le principe de sélection ici à l'œuvre, importé de la littérature évolutionniste sur les innovations environnementales, est l'identification *a priori* d'un double bénéfice économique et environnemental lié à l'existence de rendements croissants d'adoption (Cecere *et alii*, 2014). C'est ce processus de sélection qui fait office de principe de régulation du changement<sup>220</sup>.

Nous avons retenu de cette représentation des dynamiques de transition le fait que la séquence d'exploration porte sur des *compromis de produits* et non sur la convergence vers l'exploitation de la technologie la plus efficace. Les acteurs explorent leurs propres compromis de produits dans des boucles exploration-exploitation. Comme le montre Nieddu *et alii* (2014), il faut entrer dans l'exploitation au moins sous forme de projets démonstratifs pour découvrir les problèmes d'assemblages de technologies qui dépassent la simple technologie unitaire explorée dans des niches. Mais surtout, nous avons discuté l'hypothèse du STRN de convergence vers un régime sociotechnique unique en prenant appui sur Nieddu *et alii* (2010, 2012, 2014). Ces derniers montrent, avec le cas de la bioraffinerie, que l'insistance de l'approche STRN, dans un esprit schumpétérien, sur l'activité des niches d'innovation ne rend pas compte du fait que ces niches sont fortement articulées à des patrimoines productifs collectifs existants, et donc à des stratégies de reproduction de ces derniers. Et ce, y compris lorsque de la R et D de très haut niveau (en catalyse, sur les liquides ioniques, etc.), aboutissant à des start-ups « prometteuses », est mobilisée. De fait, ces recherches et innovations visent à rendre soutenable économiquement la valorisation de biomasses particulières.

---

<sup>220</sup> Les auteurs évolutionnistes reconnaissent en revanche que la technologie sélectionnée n'est finalement pas nécessairement la plus efficace économiquement, et la question se pose pour ses performances environnementales.

Cela nous a amenés à introduire la notion de *régimes de production de connaissances et d'activités économiques*, pour penser la régulation du changement. Les régimes de production de connaissances et d'activités peuvent être définis comme des régimes vérifiant deux caractéristiques : (1) d'une part, la production de connaissances est orientée par des principes-guides (par exemple, tous les exercices d'exploration de la réactivité phénol + aldéhydes pour obtenir des matériaux, ou ceux consistant à chercher la molécule plateforme ouvrant la chimie des petites molécules). (2) D'autre part, la production d'activités économiques se fait en lien avec des espérances de débouchés particuliers qui orientent la recherche. Cette production d'activités économiques doit alors être caractérisée. Par exemple, dans le domaine étudié, c'est la *joint-venture* qui est la figure dominante de la forme entrepreneuriale : la production d'activités économiques passe par les démonstrateurs industriels.

Le premier chapitre de ce travail a porté sur la discussion du principe de sélection des technologies à partir d'une lecture des rapports Science - Industrie. Le principal résultat sur lequel nous souhaitons insister est que, de notre point de vue, il faut déplacer le regard sur la notion de *lock-in*. En effet, les acteurs se choisissent des « obstacles à lever » sur des trajectoires technologiques. Et le *lock-in* ne peut être alors perçu que comme le choix stratégique de « défendre » une trajectoire, comportant bien sûr des difficultés et une incertitude quant à la réalisation du projet de lever les verrous. Ce sont donc les espérances de rendements d'échelle croissants et non les rendements eux-mêmes qui guident les acteurs au moment de leurs choix. Ce faisant le *lock-in* est le produit endogène d'une trajectoire technologique que les acteurs cherchent à maintenir ouverte en mobilisant une variété de ressources. Or, comme un élément central de la mise en mouvement de rendements d'échelle croissants est l'agglomération d'acteurs autour de la technologie proposée, il y a un enjeu pour ces derniers à construire des *visions du futur* sur lesquels attirer les autres acteurs. D'où l'importance que nous avons attachée aux opérations de problématisation du champ, aux grandes revues de littérature balisant un champ et décrivant des grappes d'espérances technologiques et aux projets de développement économique dont on découvre souvent qu'il s'agit, au-delà des effets d'annonce sur des capacités de production, de projets démonstratifs.

La perspective a donc été déplacée de l'étude du processus de convergence vers un *dominant design* à celle du maintien, dans la régulation même du changement, de trajectoires hétérogènes, sous l'hypothèse que cette hétérogénéité ne va pas disparaître, mais se maintenir. En revanche, on assiste à la formation de larges « champs » mésoéconomiques au sein desquels se déploient ces trajectoires. La bioéconomie est de notre point de vue un de ces champs formés dans l'action collective pour désigner un espace d'inscription d'actions collectives dans lequel des acteurs se reconnaissent et se confrontent. Il s'agit donc d'un espace multidimensionnel avec des constructions de dispositifs institutionnels, des dispositifs de reconnaissance des acteurs comme légitimes et crédibles à agir dans le champ, des règles d'action, etc.

Ceci nous amène pour cette conclusion à développer plus particulièrement deux résultats de la thèse. Tout d'abord, la théorisation du champ par les acteurs eux-mêmes compte : ce n'est pas le chercheur qui constitue le champ, même s'il peut avoir un rôle performatif dans ce domaine – moment où il faut bien le compter parmi les acteurs (1. sur la théorisation du champ et 2. sur le rôle des produits dans la structuration du champ). Ensuite, on peut dresser une « grammaire » de ces espaces mésoéconomiques, mobilisant à la fois les notions de compromis de produits, de régimes de production de connaissances et d'activités économiques et de « visions pour le futur » (3.).

# 1. La théorisation du champ par les acteurs eux-mêmes : la bioéconomie comme champ de conflit et de coopération aux frontières multiples

Dans la deuxième partie, nous nous sommes particulièrement intéressé à la théorisation du champ de la bioéconomie par les acteurs. En effet, celles-ci ont contribué, sinon à forger le terme, du moins à s'en emparer pour donner une direction à des actions collectives à un moment donné. Comme nous étions confronté à un discours de nouveauté et de modernité, avec des innovations de rupture (les biotechnologies), nous avons été particulièrement attentif à réintroduire dans l'histoire longue, parfois très longue, les mouvements contemporains.

Nous avons montré que la représentation dominante de la bioéconomie qui s'est construite en Europe ces dernières années ne se forme pas à partir des *process* (l'utilisation de *process* issus de la révolution biotechnologique et fondée sur les promesses économiques des sciences biologiques) comme dans la version préconisée par l'OCDE (2009). Mais c'est à partir de la matière première (la biomasse), construite comme un objet unique<sup>221</sup>, que la Commission européenne construit l'espace de la bioéconomie : « *The Bioeconomy refers to the sustainable production, and conversion of biomass into a range of food, health, fibre and industrial products and energy. Renewable biomass encompasses any biological material (agriculture, forestry and animal-based including fish)* » (BECOTEPS, p.4)<sup>222</sup>.

La bioéconomie naît donc comme un espace au sein duquel les acteurs se posent la question des « nouveaux usages des biomasses » pour reprendre le titre d'un article dédié à la bioéconomie des responsables en charge de la bioéconomie à l'INRA (Colonna *et alii*, 2015). L'espace de la bioéconomie est parfois réduit par les acteurs politiques et économiques aux seuls usages non alimentaires pour les matériaux, la chimie et l'énergie (Mc Cormick *et alii*, 2013). La « biologisation » des procédés industriels – pour reprendre une expression de Colonna *et alii* (*op. cit.*) ou le rapport américain « industrialization of biology » (NRC, 2015) – au sens de progrès dans les biosciences fondées sur le génie génétique est seconde, à l'image de la question écologique dans les intentions des acteurs les plus importants. Ceux-ci ont à l'origine été portés dans leurs efforts par les problèmes d'excédents agricoles (Garnier, 2012), même si les chocs pétroliers et le discours sur le peak-oil leur ont ouvert des opportunités d'action.

La théorisation du champ par les acteurs emprunte bien sûr à ces deux registres (révolution biotech et développement durable). Mais, elle invite à aller au-delà des arguments actuellement mobilisés pour la légitimer. Il ne s'agit pas du premier exercice de théorisation de ce type : nous avons décrit deux moments de problématisation, celles de la *chemurgy* des années 1930 et des « bio-industries » du début des années 1980, qui invitent à prêter attention aux constructions collectives des espaces de régulation.

En effet, les acteurs mobilisent collectivement une série d'outils de coordination pour construire l'espace économique : les états de l'art orientés, les plateformes de démonstration

---

<sup>221</sup> Ce que nous pouvons considérer comme la réfraction dans une vision dominante de l'action d'acteurs multiples.

<sup>222</sup> <http://www.epsoweb.org/file/560>, relevé le 9 sept. 2009.

technologiques, les projets de recherche, les normes sur l'identité des produits et surtout, les exercices de *backcasting*.

Nous avons montré que le mouvement vers l'appellation « bioéconomie » ne peut pas être séparé de celui qui l'a généré à partir d'une autre construction matérielle, mais aussi sémantique et conceptuelle. À partir de la deuxième partie des années 1990, c'est un récit de la bioraffinerie qui a commencé à délimiter l'espace ainsi construit, à partir d'exercices visant à décalquer les usages non alimentaires de la biomasse des chaînes de valeur des molécules fossiles. Cela a conditionné le développement de l'exploration des usages des biomasses autour de la chimie des petites molécules sur la base de sucres. La chimie des sucres vient fusionner avec cette chimie des petites molécules pour fournir du carbone biosourcé pour les mêmes usages que le carbone fossile<sup>223</sup>. Par exemple, les états de l'art américains sur des grandes molécules ont tenté d'inscrire ces produits dans le fonctionnement de la chimie pétrochimique sur la base de la promesse de fonctionnalités qu'ils pourraient atteindre (cf. notamment le top 12 de Werpy et Petersen, 2004).

L'intensité de la construction institutionnelle de cet espace, qui va se traduire en termes de feuilles de route pour les chercheurs appelés à lever les verrous technologiques sur cette trajectoire ne peut être ni niée ni négligée. Dans le cas européen, nous avons montré qu'elle s'est faite notamment travers le soutien de la Commission européenne à des projets explicitement dédiés à la formation des bases de connaissances nécessaires à la réflexion stratégique d'acteurs privés de la bioraffinerie, et à leurs actions d'influence tels que les Specific Support Action du FP6 (Biorefinery Euroview et Biopol)<sup>224</sup>. Néanmoins, il ne faut pas les réduire à de simples actions de lobbying politique, car ces actions ne sont qu'une conséquence de la problématique des acteurs. Elles visent à construire le cadre institutionnel permettant de reproduire et de projeter des patrimoines productifs nécessairement collectifs dans le futur, en les enrichissant de nouveaux attributs.

De même, cela ne doit pas conduire à oblitérer, dans la problématisation de la bioéconomie par les acteurs, les deux autres conceptions de la bioéconomie (qui ont été présentées dans la deuxième partie) : (1) comme problématique de tensions entre les hommes et les systèmes naturels, (2) comme économie fondée sur l'utilisation de procédés biotechnologiques et adossée à une

---

<sup>223</sup> L'ANR AEPRC2V a documenté d'autres voies. Il s'agit donc bien d'une trajectoire dominante, mais non unique.

<sup>224</sup> Action d'influence y compris sur la Commission elle-même. Il n'est pas donné à tous de pouvoir faire financer par la Commission elle-même les actions de lobbying auprès d'elle. Néanmoins, il semble bien que ce soit le cas d'EuropaBio (association européenne représentant les industries des biotechnologies, santé, agriculture, industrie, si l'on suit l'association Corporate European Observatory, une ONG bruxelloise (<http://corporateeurope.org/news/transformation-needed-transparency-looking-towards-lobby-register-review>)). Entre 2005 et 2012, EuropaBio s'est investie dans plusieurs projets de recherche financés par le FP7-KBBE, avec Clever Consult, une société de conseil sur la bioéconomie créée par son directeur du département des biotechnologies industrielles ; elle a ainsi pu fournir à la Commission des rapports, des matériaux de communications et les habituels récits de « success stories » d'entreprises qui ont alimenté la communication de la Commission européenne de 2012 citée en introduction générale. Nous devons donc retenir l'implication très active des industriels dans la définition des priorités de recherche européenne, en particulier de ses plateformes technologiques. Cela ne va pas sans conflits avec les agendas de recherche portant des visions antagonistes de la bioéconomie, qui n'obtiendront que des parts très minimes du financement européen, tels que le projet FP7-CREPE, (2008-2010). Schmid *et alii* (2012) rendent compte de ces fortes tensions dans les relations entre ce qu'ils appellent le *technoscientific paradigm* et la société civile.

L'influence des agroindustries et de l'industrie des biotechnologies dans le processus d'institutionnalisation de la bioéconomie par la Commission européenne est donc documentée de façon robuste.

architecture institutionnelle ancrée dans la propriété intellectuelle. Si la problématisation de la bioéconomie comme fondée sur l'objet « bioraffinerie » domine les deux autres dans les compromis institutionnalisés, celles-ci n'en sont pas pour autant effacées ou recyclées dans cette bioéconomie au nom de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ou de la valorisation de déchets urbains ou agricoles (Gravitis et Suzuki, 1999). On ne peut donc concevoir la constitution et la dynamique de l'espace comme le produit d'un seul type de stratégie linéaire, mais comme un processus d'apprentissage où des acteurs cherchent à compléter les bases de leurs ressources cognitives, institutionnelles et matérielles.

On ne peut pas non plus considérer que cet espace ait « un centre » même si nous pensons que la biomasse et ses utilisations sont structurantes. Nous avons montré que les acteurs présents dans le champ pensent leurs chaînes de valeur en fonction de leurs positions respectives. Un acteur porteur d'un type de biomasse cherche les procédés qui permettent de le valoriser et les produits qui permettent de l'écouler ; mais un acteur des procédés ou des intermédiaires chimiques est indifférent aux biomasses d'origine qu'il cherche à mettre en concurrence. De même, des fabricants de produits soumis à des réglementations comme les fabricants de panneaux de bois observent le portefeuille de solutions dont ils peuvent disposer pour substituer les formaldéhydes. D'où notre intérêt pour les décompositions de chaînes de valeur que les acteurs cherchent à théoriser, sur lesquelles nous revenons dans la sous-section suivante, pour l'analyse concrète des configurations nouant matière première, procédés et produits, ainsi que des discours destinés à les rendre légitimes et crédibles dans le champ.

Au niveau national, il est possible d'expliquer les différences de définitions des modèles de bioéconomie en fonction des industries dominantes qui ont contrôlé la définition des feuilles de route nationales. On observe donc que les acteurs sont dominés et orientés par des dispositifs institutionnels, mais que dans le même temps, ils cherchent à investir les dispositifs existants et à en produire de nouveaux. Les modèles de filières développés dans des projets démonstratifs visant à les construire comme Eurobioref, Biocore ou Suprabio (cf. chapitre 5) forment des compromis localisés. Ceux-ci inscrivent des modes de régulation du fonctionnement et de changement concrets dans un champ reliant des produits, des acteurs et des procédures (les *guiding principles* du deuxième chapitre). C'est, par exemple, cette méthode du « modèle économique de filière » qui est retenue par la Commission européenne dans la mise en place d'un PPP avec les acteurs de la bioéconomie, dont elle a laissé la direction à l'ancien directeur du lobby EUROPABIO des biotechnologies à Bruxelles, évoqué dans la note précédente. Ainsi, au-delà des différents modèles développés, la bataille est celle de l'institutionnalisation des dispositifs de sélection des principes d'évaluation et de jugement : ceux-ci vont édicter quels sont les acteurs, produits et organisations crédibles et légitimes à faire partie du champ de la bioéconomie.

On obtient donc un premier schéma qui retrace l'évolution des rapports entre agriculture et industrie jusqu'à l'émergence d'une problématisation de la bioéconomie. La partie basse du schéma ne doit pas laisser penser que l'agriculture devient l'unique fournisseur de la chimie, mais que l'usage de ressources renouvelables se développe dans la chimie. La figure 2 en « prend la suite » en rendant compte de la bioéconomie comme d'un espace dans lequel viennent se superposer des problématiques différentes.

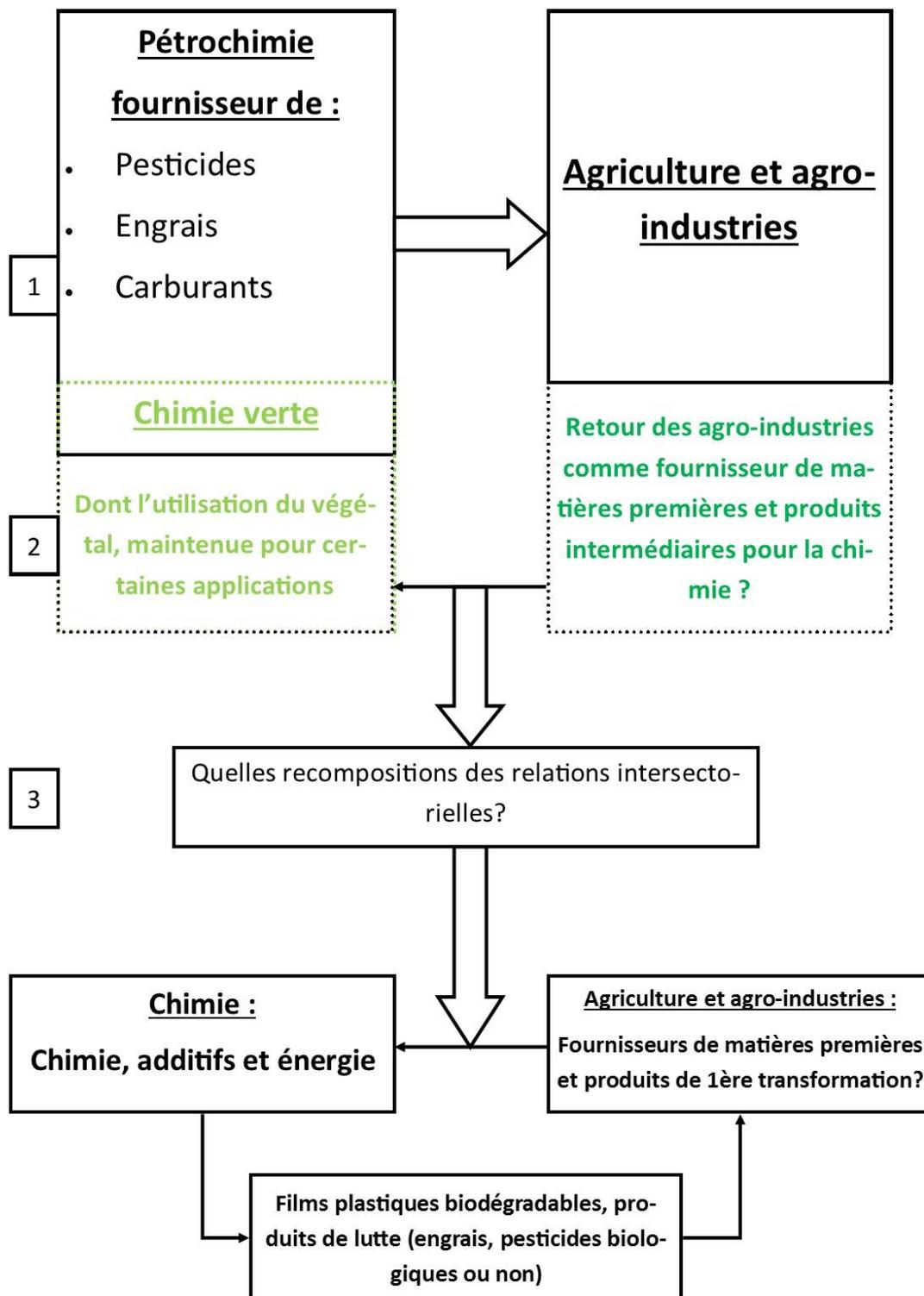


Figure 145 : L'évolution schématisée des rapports entre agriculture et pétrochimie

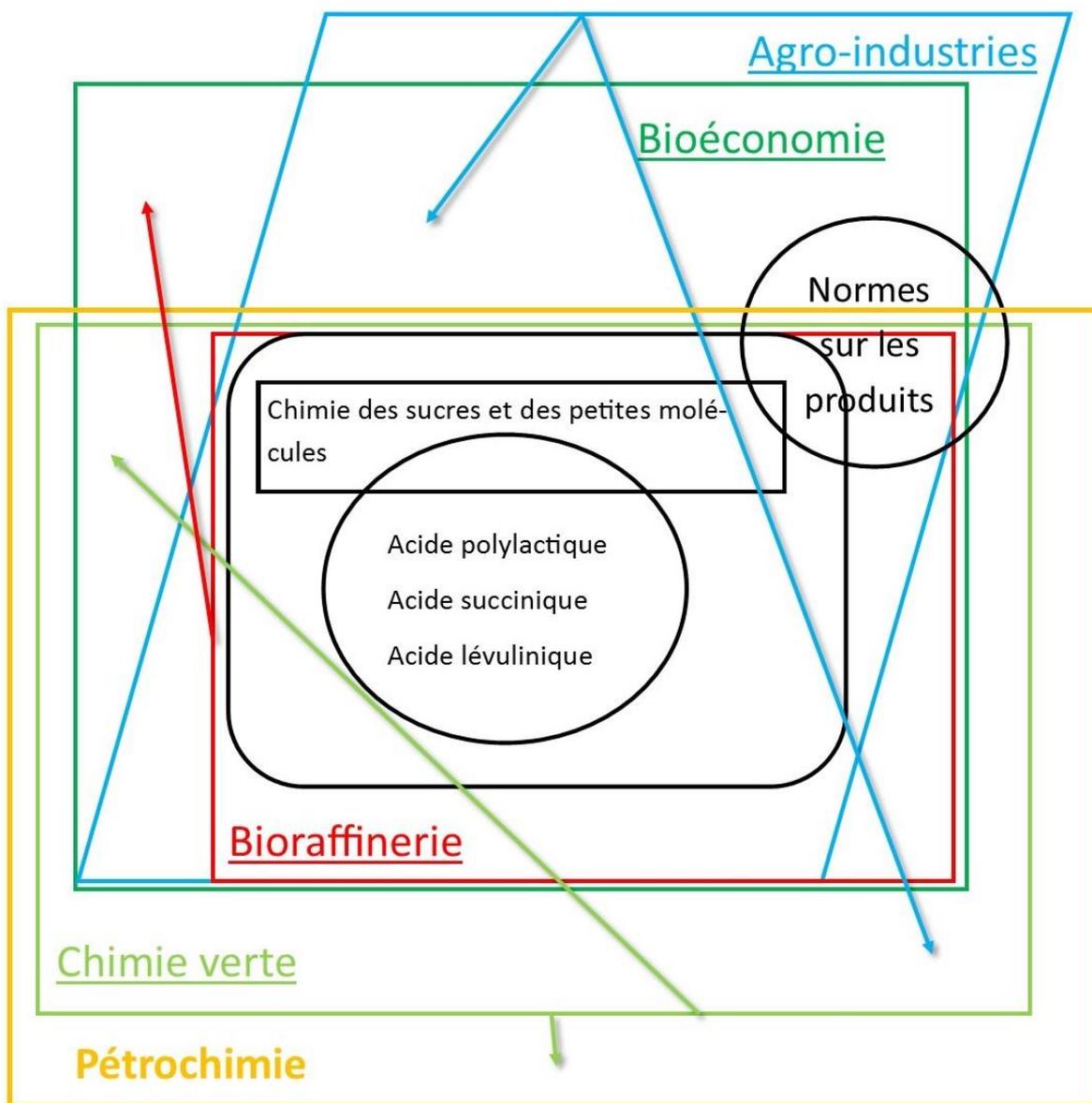


Figure 146 : une représentation statique de l'enchevêtrement des thématiques créant l'espace de la bioéconomie

## 2. La structuration du champ par les produits intermédiaires

On a vu que les acteurs engagent des ressources matérielles, cognitives et institutionnelles dans l'exploration de compromis de produits (des molécules, des matériaux ou des technologies), mais que c'est *la conversion de biomasses en produits intermédiaires-clés* qui structure le champ de la bioéconomie. De ce point de vue, la bioéconomie se donne à voir, à travers sa problématisation par les acteurs, plus encore que la chimie, comme une « industrie des industries » (Vo Van Quin, 2015, p. 5). Ses frontières en aval sont en fait délimitées par le fait que la bioéconomie se propose de livrer ces produits intermédiaires à la chimie de spécialité, aux fabricants de matériaux ou aux fournisseurs d'énergie. C'est la raison pour laquelle nous avons sélectionné, dans la troisième partie, trois grands intermédiaires porteurs de promesses qui ont été (et sont toujours) particulièrement fortes. Il s'agissait de resituer ces produits dans leur rôle moteur pour la constitution et la dynamique du champ de la bioéconomie. En effet, ce sont les récits sur ces grands intermédiaires qui se sont relayés pour désenclaver la bioéconomie du piège et de la crise de légitimité des biocarburants. Il faut se souvenir que les biocarburants avaient été classés par des auteurs historiques de l'économie écologique comme un exemple emblématique de l'innovation environnementale (Faucheux et Nicolai, 1998)<sup>225</sup>.

Il a bien fallu que les acteurs trouvent une forme de réponse aux critiques sur les *biofuels* présentant la bioéconomie de la bioraffinerie sous un autre jour que celui des agrocarburants. Nous avons isolé trois grands intermédiaires obtenus à partir de biomasse, pour les promesses et le rôle de « passeurs » vers la bioéconomie que les acteurs eux-mêmes leur ont attribué. Il est nécessaire d'avoir à l'esprit que l'étude de ces intermédiaires doit se méfier des effets médiatiques, raison pour laquelle une telle étude s'inscrit dans le champ plus vaste étudié par l'ANR AEPRC2V. De ce point de vue, ces grands intermédiaires sont en concurrence entre eux en tant que candidats à être des précurseurs dans les réactions chimiques. Mais ils sont également en concurrence en tant que voies d'exploration de filières avec d'autres stratégies qui évitent l'étape du fractionnement (*cracking* de la bioraffinerie) pour les produire. C'est donc sous le seul aspect du rôle dans la constitution du champ que nous les avons mobilisés ici. Après un retour sur les enseignements spécifiques des trois études de cas de la troisième partie quant à leur rôle dans la structuration du champ, nous exposons ce

### 2.1. Un retour sur les fonctions des produits dans le champ

Les acides polylactiques (PLA) sont une des grandes familles de polymères, qui à partir de la fin des années 1990 sont présentés comme la « voie royale » du développement de l'usage de la biomasse. Les acteurs ont découvert que les technologies d'application étaient nécessairement un domaine complexe, dans lequel il était nécessaire de réaliser, au-delà des promesses, des combinaisons de technologies, et des compromis entre fonctionnalités pour obtenir des produits

---

<sup>225</sup> Dans « existe-t-il réellement un paradigme de la chimie Verte ? » Nieddu *et alii* (2014, p.112) remarquent, citant ces auteurs : « Ainsi, à la fin des années 1990, Faucheux et Nicolai (1998, p. 132) notaient que « [l]a plupart des technologies environnementales [...] appartiennent à la catégorie des innovations incrémentales en ce sens qu'elles n'apportent que des perfectionnements aux produits ou aux techniques de production de manière continue au fil du temps. Peu d'entre elles relèvent des innovations radicales qui constituent des ruptures dans l'évolution des procédés ou des produits suscitant une transformation des méthodes de production ou de commercialisation ». Ces auteurs pointaient alors l'existence d'« innovations radicales répondant à des objectifs environnementaux », en citant « la chimie sans chlore, les biocarburants, l'énergie photovoltaïque »... »

viables. Nous nous sommes donc interrogé sur les raisons pour lesquelles ils occupaient une place importante dans le champ.

Revisiter l'histoire de longue période du produit a été particulièrement précieux pour libérer le chercheur en économie de la pression des discours de promesses — parfois portés par des collègues chimistes extrêmement légitimes dans leurs champs respectifs. Nous avons montré que le développement du PLA était le résultat d'une dynamique de longue période. Issu d'acide lactique, ce produit est bien connu depuis le début du XXe siècle. Une base de connaissances en fermentation de l'amidon pour obtenir de l'acide lactique s'est donc formée très tôt. La modification de ce précurseur en vue d'obtenir des fibres plastiques a été réalisée dès les années 1930 dans le contexte d'exploration généralisée des macromolécules. Après avoir été utilisé comme additif dans des matières plastiques, le PLA a été utilisé pour la production de matériels médicaux à partir des années 1960.

Quel est donc le rôle du PLA dans le champ de la bioéconomie ? C'est à partir des années 1980 que des acteurs cherchent à problématiser pour les biomasses qui avaient résisté à « l'ère du pétrole peu coûteux » (*cheap oil era* comme disent les anglo-saxons) par le retour d'une chimie de spécialité à une chimie de commodités (les plastiques de grande consommation). En effet, le PLA était positionné, comme d'autres produits issus de la biomasse sur des niches très spécialisées – ici des matériaux médicaux biocompatibles<sup>226</sup>.

Pour cela, les acteurs ont cherché à démontrer que le PLA était utilisable seul, c'est-à-dire qu'il était possible de s'affranchir des techniques d'hybridation qui avait été utilisées durant les années 1930-1940. Les apprentissages des acteurs sur la période 1986 - 2015 ont alors été orientés par trois enjeux : produire les PLA en continu, atteindre des coûts de production permettant d'atteindre les niveaux de prix des polymères de commodités et de gérer la concurrence avec d'autres candidats aux plastiques biosourcés. Le PLA va donc être le produit de référence pour les acteurs du domaine des agro-industries à la recherche de solutions d'écoulement d'excédents agricoles de masse – le premier d'entre eux étant le négociant en céréales et oléagineux Cargill qui a occupé dans les années 1980 le premier rang mondial des sociétés de l'agroalimentaire. Il s'agissait en effet pour eux de plaider que, grâce à ce produit, il était possible de faire de la chimie de commodités avec des produits d'origine agricole.

Notre étude de cas sur l'acide succinique a permis de vérifier ce rôle des grands intermédiaires comme modèle pour un développement spécifique. L'acide succinique était produit industriellement par voie fossile, à partir de dérivés du pétrole (acétylène et formaldéhyde). Ses débouchés industriels existaient déjà. Alors, la promesse de l'acide succinique se développa dans la bioéconomie lorsque les chercheurs explorèrent des procédés biotechnologiques pour substituer l'acide succinique pétrosourcé par de l'acide succinique biosourcé obtenu par voie biotechnologique<sup>227</sup>. La ruée vers l'acide succinique s'explique par trois raisons. (1) Tout d'abord, l'acide succinique biosourcé par voie biotechnologique atteint très vite des prix de production très proches de ceux issus du pétrole – voire

---

<sup>226</sup> La famille des polyamides d'Arkema à base d'huile de ricin est un exemple à plus grande taille de ces niches qui se sont maintenues durant l'ère du pétrole peu coûteux.

<sup>227</sup> Rappelons, puisque c'est un exemple régional qui a été à l'origine de notre projet de thèse, que les champenois revendiquent dès 2008 le premier pilote industriel (installé en 2007 dans la bioraffinerie de Pomacle-Bazancourt, près de Reims, disposant d'une capacité de production de 2000 t/an) ayant pu en produire à partir de sucres et résidus lignocellulosiques fermentés par *Escherichia coli*, modifiés par un procédé breveté, ce, en atmosphère enrichie en CO<sub>2</sub>.

directement compétitifs sous des conditions de pureté particulières. Il s'agit donc d'une molécule plateforme, qui pourrait prétendre à valider la stratégie de substitution des produits pétrosourcés qui est au cœur de la constitution du champ de la bioéconomie. (2) Puis, le procédé de production, à base de bactéries modifiées brevetées, est emblématique de la bioéconomie sur base biotechnologique, dont l'OCDE assurait la promotion. Il s'agissait d'être présent dans la guerre des brevets sensés assurer un avantage compétitif immédiat dans les biotechnologies. Les grands acteurs des agro-industries françaises se sont d'ailleurs fait cette guerre par rachats de licences sur des droits de propriété intellectuelle américains concurrents, le champ de la brevetabilité sur des petites variantes dans les manipulations génétiques ou enzymatiques étant très extensible. (3) Enfin, l'acide succinique étant un précurseur possible – d'un point de vue théorique – de toute une série d'autres intermédiaires chimiques, les grandes firmes chimiques installées chacune dans des positions d'oligopole dominant sur un ou quelques produits<sup>228</sup> font face à la question du contournement possible des brevets du concurrent dominant sur un produit, en utilisant une voie (biotechnologique) nouvelle pour atteindre son grand intermédiaire clé. La régulation du changement obéit donc à cette logique d'exploration des jeux de substitution. Et l'importance prise par l'acide succinique obtenu par voie biotechnologique dans la construction de la bioéconomie doit être comprise comme celle de la mise en récit de la capacité de la bioéconomie fondée sur la biomasse et la bioraffinerie à intégrer le jeu des promesses de la révolution biotechnologique, et par là même capter les subventions publiques liées à la préparation de la « 3<sup>e</sup> révolution industrielle ».

Pour finir, le cas de l'acide lévulinique nous a permis d'identifier le fait que les produits intermédiaires ne sont pas simplement des objets de dynamiques de recherche et d'innovation, mais aussi des « points focaux » autour desquels se construit la problématisation de la bioéconomie. En effet, nous avons pu constater que l'acide lévulinique était lié à la constitution de la bioraffinerie, qui peinait à prouver sa potentielle viabilité économique à partir des seuls biocarburants. L'acide lévulinique occupe dans la période 1985-1995 la place de la molécule plateforme clé dans laquelle peuvent se projeter les apprentissages à réaliser, à partir de la thermochimie<sup>229</sup>. Pourquoi ? Parce qu'en réalité la versatilité de cette molécule plateforme est reconnue dès le début des années 1940, et qu'elle est redécouverte à chaque vague d'intérêt pour les biomasses – comme le montrent les publications du début des années 1980, où le terme bioraffinerie émerge pour la première fois. L'acide lévulinique prouve donc la crédibilité de la bioraffinerie à des moments où celle-ci traverse des périodes de désappointement. Il n'est donc pas étonnant, après l'avoir vu tenir la vedette à la fin des années 1990 (la bioraffinerie sur process BIOFINE) de le voir réapparaître dans un grand état de l'art de la revue *Green Chemistry*, au moment même de la fin de notre thèse en septembre 2016 (Lima *et alii*, 2016), réaffirmant toutes les promesses de l'acide lévulinique. Sa dernière partie est consacrée aux process permettant d'obtenir... de l'acide succinique à partir d'acide lévulinique, preuve s'il en est que la bioéconomie ne peut être confondue avec la voie biotechnologique.

---

<sup>228</sup> Solvay dominant sur l'éphychoridrine par exemple.

<sup>229</sup> Nous rappelons que la bioraffinerie est dans une certaine mesure comme l'automobile (avec le diesel et l'essence) pilotée par deux types de procédés, les uns thermochimiques (le procédé Fischer-Tropsch utilisé par les Allemands lors de la 2<sup>e</sup> guerre mondiale ou les Sud-Africains pour faire face aux effets de boycott lié à l'apartheid, les autres reposant sur la fermentation où les enzymes industriels peuvent être déployés – le plus souvent d'ailleurs issus de biotechnologies classiques, mais pour d'autres issus des travaux de la révolution du génie génétique. Évidemment les acteurs de chacune des deux voies promettent d'être plus efficaces que l'autre, ce qui n'est à chaque fois vrai que localement sur des combinaisons de matières premières, de process et de produits

## 2.2. Dynamiques de promesses et structuration du champ

L'étude de ces engagements dans des ressources matérielles a montré deux impacts sur la construction du champ. Le premier concerne la question du choix technologique que nous avons cherché à endogénéiser. C'est-à-dire que le choix technologique et son corollaire les *lock-ins* peuvent être lus comme le produit de dynamiques endogènes de trajectoires technologiques existantes. Par exemple, l'existence d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques de la Bakélite (cf. chapitre 1) guide l'exploration de nouveaux compromis de produits. Or une technologie ou un produit intermédiaire n'ont pas de sens en eux-mêmes. Une technologie unitaire ne prend sens dans l'activité économique que si elle peut « remplir les 3C » (c'est-à-dire montrer qu'elle peut être combinatoire, complémentaire et cumulative par rapport à d'autres technologies) (Gonod, 1991). Les verrous technologiques n'existent donc pas de manière absolue, mais sont construits au cours de l'action des acteurs comme des verrous *sur leurs trajectoires*. Ainsi la régulation du changement peut être lue dans des trajectoires qui sont des régimes, c'est-à-dire des façons stables d'aborder la question de la production des connaissances nécessaires pour l'action, et en particulier pour la création d'activités nouvelles. Ainsi, c'est le mode de développement des connaissances qui fait identifier aux acteurs les verrous qui les intéressent dans le déploiement de leurs activités productives. Et c'est ce qui les conduit à former des promesses sur la levée de ces verrous pour attirer des détenteurs d'autres technologies dans les actions de coopération nécessaires à la mise au point des produits. C'est la raison pour laquelle les firmes annoncent régulièrement la formation d'accords de codéveloppement avec un utilisateur d'aval emblématique : c'est une condition de la construction de la crédibilité de leurs choix technologiques<sup>230</sup>. La sélection des technologies procède alors de la construction de critères d'estimation des rendements croissants d'adoption des technologies, dont on a vu qu'ils étaient liés (notamment dans le cas du PLA) à l'histoire et au monde de production dans lesquels le produit est projeté. L'analyse de la régulation du changement repose sur l'étude de la formation des promesses technico-économiques. Elle invite à comprendre les processus d'innovation et de changement technologique comme des processus cycliques d'espérances et désappointements (Borup *et alii*, 2006) que les acteurs essaient de gérer (comme le montre le chapitre 4 par exemple). Dans la première phase, les promesses technico-économiques portent sur la levée des verrous technologiques identifiés dans cette même promesse. Ces promesses justifient alors d'orienter les apprentissages sur cette trajectoire. Typiquement, les promesses de la fin des années 1980 problématisent le développement d'un polymère biosourcé à même de concurrencer dans la chimie des commodités les polymères d'origine fossile. La deuxième phase est celle d'un désappointement issu de l'échec à lever les verrous identifiés et donc à réussir l'épreuve de la confrontation entre les fonctionnalités chimiques du produit et les fonctionnalités attendues. Cette période correspond, dans le cas du PLA, au moment où les acteurs vont être obligés de reconnaître que le polymère résiste mal à la chaleur et que la gestion de sa fin de vie nécessite la mise en place de structures industrielles, invalidant la promesse d'un plastique jetable dans le compost ménager. La phase de désappointement laisse alors place à la réexploration des patrimoines productifs collectifs et à l'exploration de nouvelles hybridations de produits qui conduisent à la formation de nouvelles promesses.

---

spécifiques.

<sup>230</sup> C'est le cas lorsque Avantium annonce être capable de remplacer le PET par du polyéthylène biosourcé, et qu'elle collabore avec des firmes telles que Coca-cola au développement d'emballages en plastiques biosourcés. Ainsi, début septembre 2016, la firme de la chimie et du pétrole Neste, qui cherche à développer des plastiques

La formulation de ces promesses engage le changement, car elle vise à rendre crédible et légitime des projets productifs. Par conséquent, le champ existe en tant qu'inclusion des acteurs, mais aussi parce que ses représentations sont incarnées dans des objets matériels portés par les projets productifs. Ainsi, le fait que des projets soient contestés ou soutenus rend légitime leur existence, mais légitime également l'existence de ce champ en tant qu'espace pertinent pour l'action. Néanmoins, les *narratives* de promesses sont aussi des histoires de patrimoines que l'on identifie quand on les replace dans leur historicité. L'enjeu que l'on identifie ici pour les acteurs est finalement celui de leur identité productive, ce qui justifie, de leur point de vue, de maintenir ouvertes leurs propres trajectoires technologiques malgré les déceptions.

---

biosourcés à partir de son procédé de bioraffinerie thermo-chimique, a annoncé avoir formé un accord avec Ikea en vue de remplacer ses produits plastiques. Le fait que les deux scandinaves, Neste et Ikea, annoncent ce partenariat stratégique visant à unir leurs forces dans le domaine des matériaux renouvelables, c'est-à-dire des matériaux biosourcés et recyclés, offrent à ces deux firmes une voie d'entrée sur un domaine considéré comme une priorité politique de leurs pays.

### 3. Une « grammaire » pour l'analyse mésoéconomique du changement

#### 3.1. Quelques points de départ pour une méthode

De notre point de vue, ces résultats empiriques permettent de tirer des enseignements pour constituer une « grammaire » pour l'analyse mésoéconomique fondée sur la dialectique structure - stratégies. Cette analyse, reprenant ici Bourdieu ou les régulationnistes, a pour point de départ la considération de l'analyse mésoéconomique comme une approche structurale : le champ constitué a une structure qu'il est nécessaire d'identifier. Mais dans un deuxième temps, il est nécessaire de considérer que cette structure est donnée par les interactions entre acteurs. De ce point de vue, les stratégies d'acteurs disposent de degrés de liberté dont ils usent dans la structure du champ. Et les stratégies ne sont jamais de strictes stratégies de reproduction, car ce sont également des stratégies de changement, lesquelles doivent d'ailleurs être considérées en retour comme des stratégies de reproduction. Ces deux rapports dialectiques (structure-stratégie et reproduction-changement) permettent donc de décrire les stratégies d'innovation et de production de nouveauté comme des stratégies de reproduction qui vont engager des modifications du champ : la production de mousses de tanins suit des procédés certes nouveaux, mais qui sont inscrits dans des régimes anciens.

Le deuxième point de départ pour une analyse mésoéconomique réside dans la nécessité de prêter une valeur, dans l'analyse économique, à la fois aux représentations et aux dimensions matérielles. Avant d'aller plus avant, précisons que si leur exposé est séparé, il est évident qu'en réalité les dimensions matérielles et de représentations sont liées entre elles et certains objets peuvent avoir ces deux dimensions à la fois. Par exemple, l'artefact « bioraffinerie » renvoie à la fois à un objet technique, matériel comme des unités de production (qui sont bien souvent des unités de démonstration en réalité) et illustre la possibilité d'organiser la substitution du pétrole par le végétal comme une substitution terme-à-terme de carbone fossile par du carbone d'origine renouvelable (Nieddu et Vivien, 2015). C'est le fait qu'il y ait des rapports qui soient produits (et donc des objets matériels) qui nous permet d'identifier que des documents de construction de « visions pour le futur » jouent un rôle dans le champ en tant que production d'acteurs ayant des intérêts à chercher à orienter la structure du champ. Or, pour orienter cette structure, ils ont besoin d'objectiver leurs visions du fonctionnement du champ et de ce futur.

Les représentations renvoient ici à la façon dont les acteurs se représentent le fonctionnement de l'espace de régulation : quels sont les produits qualifiés pour appartenir à l'espace ? Quels sont les dispositifs qui permettent d'identifier ces produits (cf. la controverse sur la définition de la norme technique d'évaluation du contenu biosourcé du produit) ? Quelles sont les matières premières à utiliser ? Quelles sont les technologies ? Etc. Or ces problématisations sont portées par des communautés d'acteurs aux intérêts divergents. Le champ est donc formé par des représentations et des engagements d'acteurs qui s'enchevêtrent et dont le résultat est un espace aux frontières multiples.

Les dimensions matérielles désignent les unités de production, les plateformes technologiques, les produits, les technologies, etc. Cet ensemble d'artefacts permet l'exploration de nouvelles technologies et nouveaux produits. Il est nécessaire, pour étudier de ces dimensions,

d'ouvrir la boîte noire des technologies : celles-ci sont le fruit de positionnements stratégiques d'acteurs et doivent donc être étudiées en tant que tel. Cela nécessite donc une investigation poussée dans la technoscience afin d'identifier les régimes de production de connaissances dans lesquels sont prises les technologies<sup>231</sup>. De même, dans la régulation du changement, les objets ne doivent pas être considérés comme figés, c'est tout l'avantage de la notion de compromis de produits de Brouillat *et alii* (2013). Les produits sont des objets en construction. Les acteurs explorent les façons de réaliser les compromis et ce sont les régularités dans ces explorations que nous proposons d'observer. Cette démarche revendique donc la production d'une théorisation ancrée. C'est-à-dire que l'élaboration des concepts dans l'analyse mésoéconomique part des régularités observées et de ce qu'expriment les acteurs à propos de ces régularités.

### 3.2. Frontières et diversité au sein des espaces économiques

#### 3.2.1. Frontières et instabilité des espaces économiques

Les dimensions matérielles et symboliques sont développées dans des champs définis par les relations que les acteurs entretiennent : construction collective de projets démonstratifs, accords de *joint-venture*, etc. Cependant, il ne s'agit pas de relations pacifiées, mais bien de relations de pouvoir qui déterminent la structure du champ dans le temps. Ainsi, les projets Eurobioref, Biocore et Suprabio ont répondu à l'injonction de la Commission européenne de développer le passage à des « TRL », des niveaux de maturité proches du développement industriel. En étant retenus, ces projets déterminent des formes dominantes dans la structure du champ. Ce faisant, ils influencent également la forme à venir du champ : la nouvelle structure formée au moment de la sélection des projets et de leurs développements impacte la façon d'organiser la production. C'est ainsi que des membres de ces projets nous ont expliqué que le but n'était pas simplement de faire la démonstration de leurs projets, mais également de préparer le terrain pour la mise en place du PPP Biobased Industry. Ces projets se traduisent donc en dispositifs institutionnels « macro-sectoriels » qui orientent le changement et reproduisent des contradictions, c'est-à-dire, qui régulent le changement. Mais ce ne sont pas les dispositifs eux-mêmes qui régulent. En effet, la partie 2 a montré que ces dispositifs institutionnels formaient des compromis localisés, c'est-à-dire que le conflit d'acteurs est stabilisé à un endroit et à un moment précis dans la dynamique d'ensemble du champ. De fait, ce sont ici les conflits et leur suspension qui régulent le changement.

---

<sup>231</sup> Dans ce cadre, les collaborations interdisciplinaires permettent d'enrichir l'analyse par la construction d'outils de production de connaissances en économie par l'observation des pratiques des acteurs au sens que lui donne Wilber et Harrison (1978).

En tant que champ, l'espace économique est donc constitué par la structure des relations nouées ou non entre les acteurs qui se matérialisent dans des dispositifs institutionnels localisés. Ces dispositifs vont alors traduire des représentations du fonctionnement adoptées par des groupes d'acteurs liés entre eux. Pour autant, tous ne sont pas reliés : c'est pourquoi il y a des frontières multiples telles que représentées dans le deuxième schéma de cette conclusion. Les frontières du champ sont le résultat d'un processus de construction de la légitimité de l'appartenance au champ par l'investissement dans des dispositifs institutionnels. La conséquence porte bien entendu sur l'enjeu de maîtrise et de prise en charge d'une partie du champ que les acteurs peuvent construire à partir de leurs patrimoines et contrôler. Ce contrôle va donc porter sur l'attribution de subventions, la définition de politiques publiques favorables, etc. Si l'on en revient à l'ordre institutionnel du champ, dont le but est de décrire les règles de fonctionnement, sa stabilité, si l'on suit Jullien et Smith (2012), ne pourrait être qu'une exception à des situations communes d'instabilité et de contestation de l'ordre de l'espace.

### 3.2.2. Analyser les dynamiques productives dans le changement

Les frontières de l'espace économique ne sont pas définies que par les dispositifs institutionnels. Elles le sont également par les activités de production ou l'exploration de nouvelles technologies et de produits. La difficulté posée par l'étude empirique de telles dynamiques en cours de transition réside dans l'objet même, c'est-à-dire le changement. Cette difficulté peut être maîtrisée en prenant comme point de départ les stratégies de reproduction dans le changement. C'est-à-dire que l'on considère que l'exploration technologique est guidée par des patrimoines productifs collectifs qu'il est nécessaire d'identifier à partir des activités d'exploration technologique – ce qui, rappelons-le, nécessite de mener une investigation en profondeur, notamment dans la technique.

La formation de la structure productive et ses transformations sont structurées par deux influences, que les acteurs lient entre elles : les choix technologiques et les choix organisationnels. La question des choix technologiques renvoie à l'inscription des acteurs dans des patrimoines productifs collectifs. Les patrimoines permettent aux acteurs d'identifier les verrous technologiques qu'ils peuvent lever et les *guiding principles* qui orientent la façon dont ils produisent de la connaissance. Concernant les choix organisationnels, il s'agit pour les acteurs de réussir à nouer des compromis internes dans leurs *business models*, mais aussi des compromis externes avec soit des fournisseurs amont, soit des fournisseurs aval. Mais ces choix organisationnels, comme le montre la conclusion de la troisième partie, ne sont pas uniques et dépendent des stratégies des acteurs et de leurs positionnements. Hernandez *et alii* (2014) insistent sur le fait que les acteurs peuvent soit chercher à se constituer en macro-acteurs capables d'influencer le champ (comme les grandes firmes des agro-industries), soit chercher à organiser l'exploration autour de leurs technologies. Ces stratégies peuvent alors procéder de la tentative de diffusion par des stratégies de licence, autrement dit par la focalisation sur un produit particulier. La notion de régimes de production de connaissances permet alors de rendre compte de l'articulation de ces deux choix.

Pour ce faire, il est possible d'une part d'identifier les systèmes complexes de ressources constitués et mobilisés par les acteurs (quelles sont les bases de connaissances ?) et les structures productives (quels sont les mondes de production des produits ?). D'autre part, il est possible d'identifier, à partir de ces deux premiers résultats, les cycles de promesses et de désappointements

et la gestion de ces phases par les acteurs en confrontant les fonctionnalités attendues et les fonctionnalités des produits.

Nous en sommes arrivés ainsi à une représentation des jeux stratégiques au sein du champ qui peut être traduite dans le schéma suivant :

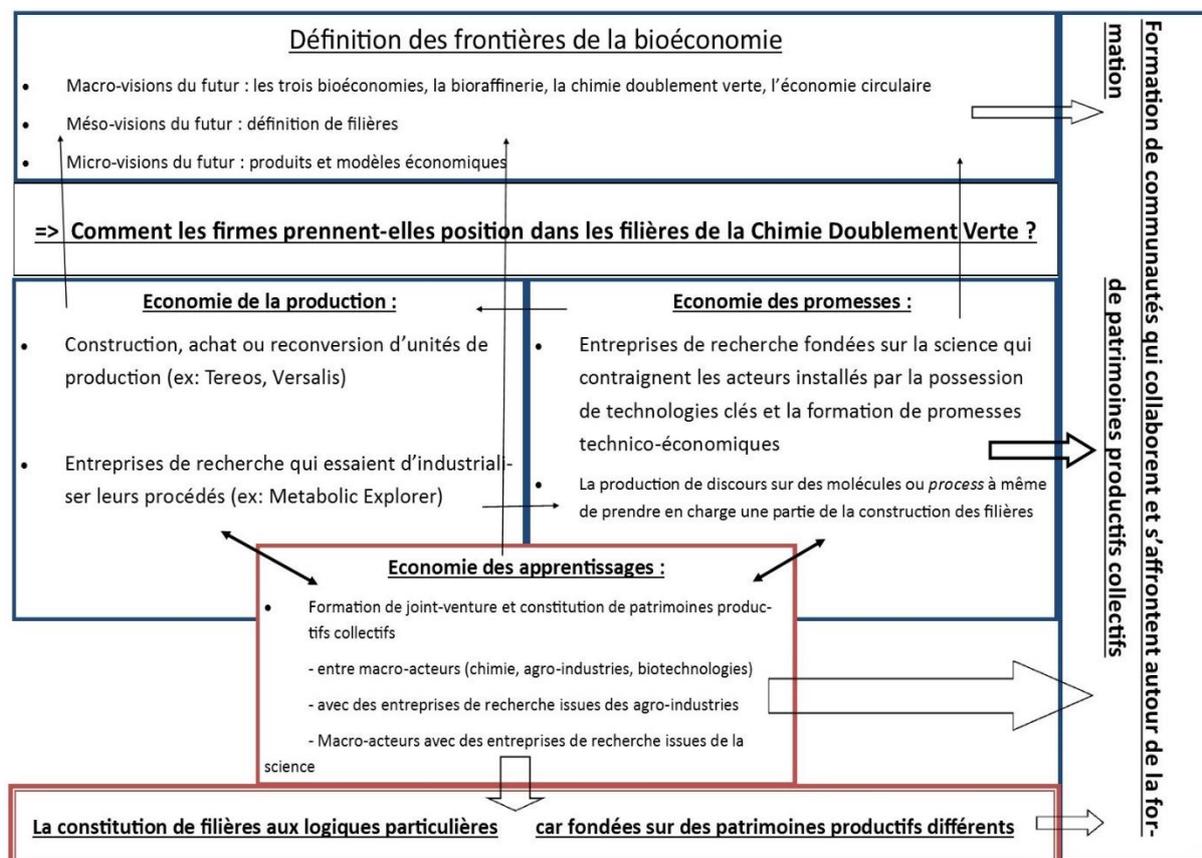


Figure 147 : des acteurs se projetant dans différents mondes économiques, à partir de représentations multiniveaux de leur espace d'action collective

Ce schéma a été élaboré à partir de documents originaux de nature hétérogène ; il nous semble que c'est un enseignement à retenir pour l'analyse méso-économique. Parce que celle-ci est dédiée à la façon dont se différencient des espaces à partir de tensions et d'enjeux dans l'action collective (Lamarche *et alii*, 2016), il nous semble nécessaire d'assumer le fait que *les acteurs aussi* pensent cette différenciation et cherchent à lui donner du sens. De ce point de vue les règles cognitives qu'ils se donnent forment des institutions (différentes des institutions légales), mais qui produisent des règles et des régularités. Scott (1995) et Geels (2004) soulignent à juste titre ce point dans leurs travaux sur les dynamiques de régimes dans les transitions vers la durabilité.

La difficulté que nous avons eu à résoudre pour décrire une économie en train de se faire a donc été de nouer ensemble des documents souvent d'origine technique, d'annonces de réalisations industrielles, de créations d'entreprises ou de *joint-venture* dans un schéma analytique qui rende compte de la régulation du changement. Nous avons donc cherché à rendre compte des dispositifs institutionnels et des logiques de production, d'échange et de consommation constitutives des régimes de fonctionnement économiques dans leur dynamique (catégories canoniques du courant de la régulation sectorielle et territoriale depuis Bartoli et Boulet, 1989). C'est pourquoi nous avons

articulé les deux notions clés que nous avons mobilisées au cours de cette thèse – les régimes de production de connaissances et d’activités économiques et les patrimoines productifs collectifs dans une démarche historicisée.

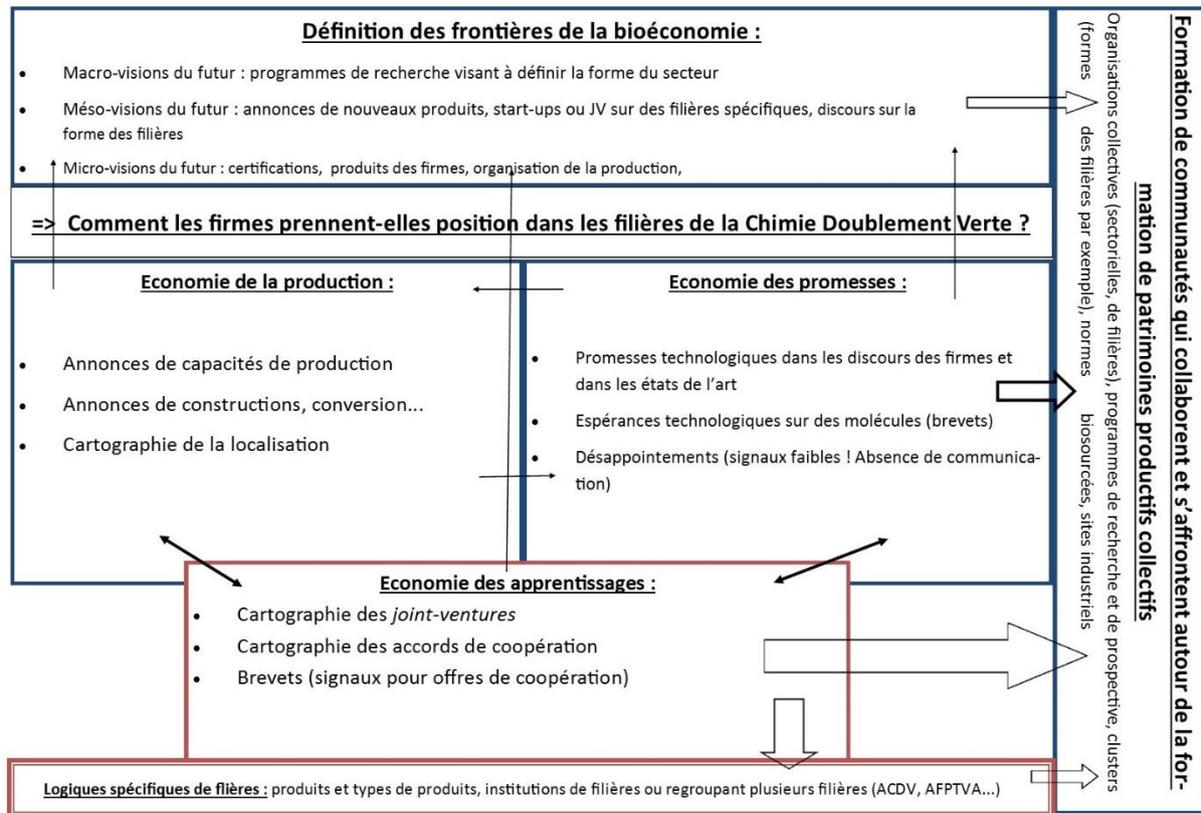


Figure 148 : les sources mobilisées pour représenter la régulation du changement

La synthèse que nous venons de présenter pourrait susciter de la part du lecteur une critique en termes d’*ad-hocité* des concepts et des démarches empiriques retenus. C’est une critique courante en économie (Cf. Carcillo et Reiffers, 2001). Or comme le montrent Wilber et Harrison (1978), il s’agit d’une des bases méthodologiques pour les *Institutional Economics*, et a fortiori pour la méso-économie : à partir des fondements portant sur la reconnaissance des dynamiques de différenciation entre espaces mésoéconomiques, génératrices de régimes spécifiques à ces espaces, il nous semble important de comprendre les « *pattern models* » spécifiques à ces espaces et de les restituer dans une démarche narrative.



## BIBLIOGRAPHIE

### Bibliographie générale

- Abbott, A., 1984. Event Sequence and Event Duration: Colligation and Measurement. *Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History*, 17(4), p.192-204.
- Abrams, D., 2008. *George Washington Carver: scientist and educator*, New York: Chelsea House.
- de Abreu Dessimoni, A.L. et al., 2016. Preparation of wood adhesives based on tannins and glycerol esters (triacetate). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(9), p.71-80.
- ACDV, 2013. ACDV Approbation Guidelines: Voluntary labeling system for the bio-based content of products and materials.
- Achilladelis, B., Schwarzkopf, A. & Cines, M., 1990. The dynamics of technological innovation: The case of the chemical industry. *Research Policy*, 19(1), p.1-34.
- Acquier, A., 2009. Développement durable : sept idées reçues à réviser. *L'Expansion Management Review*, N° 132(1), p.110-117.
- Aftalion, F., 2001. *A history of the international chemical industry* 2nd ed., Philadelphia, PA: Chemical Heritage Press.
- Agency for Renewable Resources, 2012. *Biorefineries Roadmap*, Agency for Renewable Resources.
- Aglietta, M., 1976. *Régulation et crises du capitalisme*, Calmann Levy.
- Aguilar, A., Magnien, E. & Thomas, D., 2013. Thirty years of European biotechnology programmes: from biomolecular engineering to the bioeconomy. *New Biotechnology*, 30(5), p.410-425.
- Allaire, G., 2002. L'économie de la qualité, en ses secteurs, ses territoires et ses mythes. *Géographie, économie, société*, 4, p.155-180.
- Allaire, G., 2013. Les communs comme infrastructure institutionnelle de l'économie marchande. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (14). Available at: <https://regulation.revues.org/10546> [Consulté le janvier 18, 2016].
- Allaire, G. & Boyer, R., 1995. *La grande transformation de l'agriculture Lectures conventionnalistes et régulationnistes.*, Versailles: Quæ. Available at: <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3399068> [Consulté le janvier 21, 2016].
- Allaire, G. & Daviron, B., 2014. Agriculture et industrialisme. In *Renouveler les approches institutionnalistes sur l'agriculture et l'alimentation: la « grande transformation » 20 ans après*. Montpellier.
- Amable, B., 2002. La théorie de la régulation et le changement technique. In *Théorie de la régulation : l'état des savoirs*. Recherches. La Découverte, p. 236-244.
- Amable, B., Barré, R. & Boyer, R., 1997. *Les Systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Paris: Economica.
- Amable, B. & Lordon, F., 1992. La régulation et le changement technique : une analyse critique, pourquoi ? *Revue d'économie industrielle*, 60(1), p.70-82.
- Ancori, B. & Cohendet, P. éd., 1984. *La Chimie en Europe: innovations, mutations et perspectives*, Paris: Economica.

Anon, Augustus Eugene Staley. Available at: <http://www.tateandlyle.com/aboutus/history/pages/augustuseugenestaley.aspx> [Consulté le novembre 26, 2015a].

Anon, Augustus Eugene Staley. Available at: <http://www.tateandlyle.com/aboutus/history/pages/augustuseugenestaley.aspx> [Consulté le novembre 26, 2015b].

Anon, 2005a. BASF announces renewable plastic. *Chemical Engineer*, (774-775), p.6.

Anon, 2015. Bio-based chemicals on the rise in US. *Focus on Catalysts*, 2015(1), p.2.

Anon, 2014a. Bioplastiques : CorbionPurac veut entrer dans la production de PLA. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/bioplastiques-corbionpurac-veut-entrer-dans-la-production-de-pla/> [Consulté le août 18, 2015].

Anon, 2003. Cargill Dow Expands PLA Sale in Italy. *Industrial Bioprocessing*, 25(11), p.5.

Anon, 2014b. Concept of sustainability as key marketing strategy. *Focus on Powder Coatings*, 2014(12), p.7.

Anon, 2010a. Dow introduces impact modifier for polylactic acid. *Additives for Polymers*, 2010(2), p.2-3.

Anon, 2013. DuPont honoured for its commitment in advancing development of bio-based economy. *Focus on Catalysts*, 2013(7), p.4-5.

Anon, 2010b. German biotech industry hoping for greater acceptance. *Focus on Catalysts*, 2010(7), p.2.

Anon, GFBiochemicals breakthrough levulinic acid technology ready for commercialization | News & events | GFBiochemicals. Available at: <http://www.gfbiochemicals.com/news/2015/03/gfbiochemicals-breakthrough-levulinic-acid-technology-ready-for-commercialization-2/> [Consulté le novembre 26, 2015c].

Anon, 2010c. *Green Adhesives: Options for the Australian industry - summary of recent research into green adhesives from renewable materials and identification of those that are closest to commercial uptake.*, Forest & Wood Products Australia.

Anon, 2012. *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*,

Anon, KBBE\_2020\_BE\_presidency.pdf. Available at: [http://www.bio-economy.net/reports/files/KBBE\\_2020\\_BE\\_presidency.pdf](http://www.bio-economy.net/reports/files/KBBE_2020_BE_presidency.pdf) [Consulté le mai 25, 2016d].

Anon, L'industrie chimique bascule vers la bio-économie. *Reporterre*. Available at: <http://www.reporterre.net/L-industrie-chimique-bascule-vers> [Consulté le juin 24, 2015e].

Anon, Microsoft Word - PLA Impact Modification Antec 2013.docx - ANTEC-PLA\_PVC.pdf. Available at: [http://www.metabolix.com/sites/default/files/ANTEC-PLA\\_PVC.pdf](http://www.metabolix.com/sites/default/files/ANTEC-PLA_PVC.pdf) [Consulté le septembre 23, 2015f].

Anon, Opportunities for PLA/PHA Blends - PHA\_PLA-Slideshow.pdf. Available at: [http://www.metabolix.com/sites/default/files/PHA\\_PLA-Slideshow.pdf](http://www.metabolix.com/sites/default/files/PHA_PLA-Slideshow.pdf) [Consulté le septembre 23, 2015g].

Anon, Patents dancing in the spring. Available at: <http://www.european-biotechnology-news.com/people/heard-in-brussels/2012/patents-dancing-in-the-spring.html> [Consulté le mai 17, 2016h].

- Anon, Process for producing levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US2813900> [Consulté le novembre 26, 2015i].
- Anon, Recovery of levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US2684981> [Consulté le novembre 26, 2015j].
- Anon, Teijin exits JV, leaving Cargill as sole owner of NatureWorks bioplastic. *Plastics Today*, (01/07/2009). Available at: <http://www.plasticstoday.com/articles/teijin-exits-jv-leaving-cargill-sole-owner-natureworks-bioplastic> [Consulté le août 24, 2015k].
- Anon, 2011. Teijin now marketing film and sheet grades of its heat resistant bioplastic. *Plastics Today*. Available at: <http://www.plasticstoday.com/articles/teijin-now-marketing-film-and-sheet-grades-its-heat-resistant-bioplastic> [Consulté le août 24, 2015].
- Anon, 2009. Teijin raises bioplastic's hydrolytic performance. *Plastics Today*. Available at: <http://www.plasticstoday.com/articles/teijin-raises-bioplastics-hydrolytic-performance> [Consulté le août 24, 2015].
- Anon, 2005b. Uhde Inventa-Fischer to build PLA plant in China. *Pump Industry Analyst*, 2005(9), p.4.
- Aparicio, S. & Alcalde, R., 2009. The green solvent ethyl lactate: an experimental and theoretical characterization. *Green Chem.*, 11(1), p.65-78.
- Arancibia, F., 2013. Challenging the bioeconomy: The dynamics of collective action in Argentina. *Technology in Society*, 35(2), p.79-92.
- Arena, R., 1999. Un changement dans l'orientation de la revue d'économie industrielle. *Revue d'économie industrielle*, 87(1), p.7-30.
- Arena, R., Festré, A. & Lazaric, N., 2012. *Handbook of Knowledge and Economics*, Edward Elgar Publishing. Available at: <http://www.elgaronline.com/view/9781843764045.xml> [Consulté le avril 5, 2016].
- Aresta, M., Dibenedetto, A. & Dumeignil, F. éd., 2012. *Biorefinery: from biomass to chemicals and fuels*, Berlin ; Boston: [Walter] de Gruyter.
- Arora, A., Landau, R. & Rosenberg, N. éd., 1998. *Chemicals and long-term economic growth: insights from the chemical industry*, New York: Wiley.
- Arthur, B.W., 1988. Competing technologies: an overview. In G. Dosi et al., éd. *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, p. 590-607.
- Arthur, B.W., 1989. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99(394), p.116-131.
- Arthur, W.B., 2011. *The nature of technology: what it is and how it evolves* 1. Free Press pbk. ed., New York: Free Press.
- Arvanitidis, P.A., 2015. *The economics of urban property markets: an institutional economics analysis*, London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Attour, A. & Burger-Helmchen, T., 2014. Ecosystèmes et modèles d'affaires : introduction. *Revue d'Economie Industrielle*, 146, p.11-25.
- Auras, R. et al. éd., 2010. Frontmatter. In *Poly(Lactic Acid)*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., p. i-xxiii. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470649848.fmatter> [Consulté le août 6, 2015].

- Auras, R. et al. éd., 2010. *Poly(lactic acid) synthesis, structures, properties, processing, and applications*, Hoboken, N.J.: Wiley. Available at: <http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=40775> [Consulté le août 6, 2015].
- Auras, R.A. et al., 2003. Mechanical, Physical, and Barrier Properties of Poly(Lactide) Films. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 19(2), p.123-135.
- Auras, R., Harte, B. & Selke, S., 2004. An Overview of Polylactides as Packaging Materials. *Macromolecular Bioscience*, 4(9), p.835-864.
- Avadikyan, A. et al., 2014. Dynamique des modèles d'affaires et écosystèmes : le cas des synchrotrons. *Revue d'Economie Industrielle*, 146, p.153-186.
- Baekeland, L.H., 1911. Recent Developments in Bakelite. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 3(12), p.932-938.
- Baekeland, L.H., 1909. The Synthesis, Constitution, and Uses of Bakelite. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1(3), p.149-161.
- Balkcom, M., Welt, B. & Berger, K., 2002. Notes from the Packaging Laboratory: Polylactic Acid - An Exciting New Packaging Material. *IFAS Extension - University of Florida (Working Paper)*. Available at: <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/15/27/00001/AE21000.pdf> [Consulté le mai 8, 2015].
- Barlet, A., 1981. Quantifier les marchés de la bio-industrie pour mettre en évidence les priorités stratégiques. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.38-51.
- Barrère, A., 1978. Propositions pour la construction d'une méso-analyse. In *Hommage à François Perroux*. P.U.G., p. 99-119.
- Barrère, C., 1978. Matériaux pour le développement des concepts de crise et de de régulation. *Issues*, (1), p.83-141.
- Barrère, C., 1981. La régulation capitaliste en question. *Issues*, (11), p.5-26.
- Barrère, C. et al. éd., 2004. « Patrimoine - Ordres et dynamiques du capitalisme », numéro spécial de la revue Géographie, Economie, Société. *Géographie, économie, société*, 6(4), p.110.
- Barrère, C. éd., 2005. *Réinventer le patrimoine: de la culture à l'économie, une nouvelle pensée du patrimoine?*, Paris, France: L'Harmattan.
- Barrère, C., 2007. Vers une théorie économique substantiviste du patrimoine. *Economie Appliquée*, LX(3), p.7-30.
- Barrère, C., Kebabdjian, G. & Weinstein, O., 1984. L'accumulation intensive, norme de lecture du capitalisme? *Revue Economique*, 35(3), p.479-506.
- Barrère, C., Kébabdjian, G. & Weinstein, O., 1983. *Lire la crise*, Paris: Presses universitaires de France.
- Barrère, C. & Nieddu, M., 2014. La pratique de l'approche patrimoniale. *Economie Appliquée*, 67(4), p.163-200.
- Barthélemy, D. & Nieddu, M., 2003. Multifonctionnalité agricole : biens non marchands ou biens identitaires ? *Économie rurale*, 273(1), p.103-119.
- Bartoli, H., 1991. *L'économie multidimensionnelle*, Economica.,
- Bartoli, P. & Boulet, D., 1989. *Dynamique et régulation de la sphère agroalimentaire, l'exemple viticole*. Montpellier: INRA Montpellier.

- Bartoli, P. & Boulet, D., 1990. Régulation et spécificités sectorielles : la sphère viticole. *Cahiers d'économie et de sociologie rurales*, 17, p.7-38.
- BASF, 2008. Glyoxal. The Sustainable Solution for Your Business.
- Batifoulier, P. & Larquier, G. de éd., 2001. *Théorie des conventions*, Paris: Economica.
- Baudrillard, J., 1990. *Pour une critique de l'économie politique du signe*, Paris: Gallimard.
- Baudrillard, J. & Meyer, J.P., 2009. *La société de consommation: ses mythes, ses structures*, Paris: Gallimard.
- Bauer, F. & Hulteberg, C., 2013. Is there a future in glycerol as a feedstock in the production of biofuels and biochemicals? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), p.43-51.
- Bazzoli, L., 1999. *L'économie politique de John R. Commons: essai sur l'institutionnalisme en sciences sociales*, Paris: L'Harmattan.
- Beckert, J., 2013. Capitalism as a System of Expectations: Toward a Sociological Microfoundation of Political Economy. *Politics & Society*. Available at: <http://pas.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0032329213493750> [Consulté le septembre 10, 2016].
- Béfort, N. et al., 2012. De l'usage des SSI dédiés à la transition vers l'usage des ressources renouvelables : le cas de la chimie doublement verte. In *Les nouvelles dimensions des systèmes sectoriels de l'innovation*. Montpellier.
- Béfort, N., 2014. Synthesis on BIOFOAMBARK and methodological propositions.
- Béfort, N. & Nieddu, M., 2016. De la variété des stratégies d'ancrage territorial des firmes en Chimie Doublement Verte. *Géographie, économie, société, à paraître*.
- Behrens, M. et al., 2014. *Openin bio-based markets with standards, labelling and procurement: Requirements of product information list*, Open-BIO.
- Bélis-Bergouignan, M.-C. et al. éd., 2011. *Industries, innovations, institutions éléments de dynamique industrielle*, Bordeaux: Presses universitaires de Bordeaux.
- Bélis-Bergouignan, M.-C. & Lévy, R., 2010. Sharing a common resource in a sustainable development context: The cas of a wood innovation system. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7), p.1126-1138.
- Bélis-Bergouignan, M.-C., Oltra, V. & Saint Jean, M., 2004. Trajectories towards clean technology: example of volatile organic compound emission reductions. *Ecological Economics*, 48(2), p.201-220.
- Benko, G. & Lipietz, A., 2002a. De la régulation des espaces aux espaces de la régulation. In *Théorie de la régulation : l'état des savoirs*. Recherches. La Découverte, p. 293-303.
- Benko, G. & Lipietz, A., 2002b. De la régulation des espaces aux espaces de régulation. In R. Boyer & Y. Saillard, éd. *Théorie de la régulation : l'état des savoirs*. Recherches. La Découverte, p. 293-303.
- Benninga, H., 1990. *A history of lactic acid making: a chapter in the history of biotechnology*, Dordrecht [Netherlands] ; Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Bensaude-Vincent, B. & Stengers, I., 2001a. *Histoire de la chimie*, Paris: La Découverte.
- Bensaude-Vincent, B. & Stengers, I., 2001b. *Histoire de la chimie*, Paris: La Découverte.
- Benson, R.D. et al., Continuous process for the manufacture of lactide and lactide polymers. Available at: <http://www.google.com/patents/EP0893462B1> [Consulté le septembre 14, 2016].

- van den Bergh, J.C.J.M., 2007. Evolutionary thinking in environmental economics. *Journal of Evolutionary Economics*, 17(5), p.521-549.
- Berkhout, F., 2002. Technological regimes, path dependency and the environment. *Global Environmental Change*, 12(1), p.1-4.
- Berlan, J.-P., 1981. La biologie, la propriété et l'avantage. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.158-179.
- Berlan, J.-P., 1998. Main basse sur le vivant. *Le Monde*.
- Berlan, J.-P. & Rosier, B., 1989. Les nouvelles technologies agricoles comme production sociale. *Economie Rurale*, (192-193), p.23-28.
- Berta, N., 2010. Les marchés de permis négociables de SO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> : des premiers pas délicats. *Revue Française de Socio-Économie*, 5(1), p.185.
- Bhattacharya, A.K., 2014. Suprabio Project - an Overview. In Tomorrow's biorefinery. Bruxelles.
- Bidet, A., Jany-Catrice, F. & Vatin, F. éd., 2015. *Sociologie économique et économie critique*, Paris: La découverte.
- Bijker, W.E., 1995. *Of bicycles, bakelites, and bulbs: toward a theory of sociotechnical change*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Billaudot, B., 2010. La norme ISO 26 000 : une norme-définition qui a le statut d'un compromis. In M. Capron, F. Quairel - Lanoizelée, & M.-F. Turcotte, éd. *ISO 26000 : une norme « hors norme » ?* *Economica*, p. 195-214.
- Billaudot, B., 2009. Les institutions dans la théorie de la régulation : une actualisation. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (6). Available at: <http://regulation.revues.org/7632> [Consulté le avril 12, 2016].
- Billaudot, B., 2002. Patrimoines productifs, secteur et territoire. *Géographie, économie, société*, (4), p.259-303.
- Billaudot, B., 2001. *Régulation et croissance: une macroéconomie historique et institutionnelle*, Paris: Harmattan.
- Bio-based Industries Consortium, 2012. *The Bio-based Industries Vision: Accelerating Innovation and Market Uptake of Bio-based Products*, Bio-based Industries Consortium.
- Biocore, 2014. *Building Tomorrow's Biorefineries - Findings from cas studies performed in the framework of FP7 project Biocore*,
- Biofine, 2013. Bofine Technology, « Cellulosic Biodiesel ». Available at: [http://biofinetechnology.com/web\\_documents/final\\_presentation\\_for\\_aertc\\_may\\_1\\_2013.pdf](http://biofinetechnology.com/web_documents/final_presentation_for_aertc_may_1_2013.pdf) [Consulté le septembre 14, 2016].
- Biometrics, 2002. *Commercialization of the Biofine Technology for Levulinic Acid Production from Paper Sludge*, US DOE. Available at: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/771246> [Consulté le décembre 8, 2015].
- Biondi, Y., Canziani, A. & Kirat, T. éd., 2007. *The firm as an entity: implications for economics, accounting and the law*, London ; New York: Routledge.
- Bioökonomierat, 2015a. *Future Development of Mechanisms for the Support of public and private Research in Regard to the Needs of the Bio-Economy*, Bioökonomierat.

- Bioökonomierat, 2015b. *Wood in the Bioeconomy – Opportunities and Limits*, Bioökonomierat.
- Bioplastics Council, 2012. *Understanding Biobased Carbon Content*, Society of the Plastics Industry. Available at: <http://www.plasticsindustry.org/files/about/BPC/Understanding%20Biobased%20Content%20-%200212%20Date%20-%20FINAL.pdf> [Consulté le juillet 6, 2016].
- Bischoff, C.A. & Walden, P., 1893. Über das Glycolid und seine Homologen. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 26(1), p.262-265.
- Bodet, C. & Lamarche, T., 2007. La Responsabilité sociale des entreprises comme innovation institutionnelle. Une lecture régulationniste. *Revue de la Régulation*, (1). Available at: <http://regulation.revues.org/1283> [Consulté le mars 3, 2015].
- Bogaert, J.-C. & Coszach, P., 2000. Poly(lactic acids): A potential solution to plastic waste dilemma. *Macromolecular Symposium*, 153(mars), p.287-303.
- ten Bos, R. & van Dam, J.E.G., 2013. Sustainability, polysaccharide science, and bio-economy. *Carbohydrate Polymers*, 93(1), p.3-8.
- Bourdieu, P., 1997. Le champ économique. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 119(1), p.48-66.
- Bourdieu, P., 2000. *Les structures sociales de l'économie*, Paris: Éditions Points.
- Bourdieu, P., 1994. *Raisons pratiques : sur la théorie de l'action*, Paris: Éditions du Seuil.
- Bourdieu, P., Poupeau, F. & Discepolo, T., 2002. *Interventions, 1961-2001: science sociale & action politique*, Marseille] : [Montréal? Agone ; Comeau et Nadeau.
- Boyer, R., 2015. *Économie politique des capitalismes : théorie de la régulation et des crises*, Paris: la Découverte.
- Boyer, R., 2003. L'anthropologie économique de Pierre Bourdieu. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 150(5), p.65.
- Boyer, R., 1988. Technical change and the theory of régulation. In G. Dosi et al., éd. *Technological Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, p. 67-94.
- Boyer, R., 2004. *Une théorie du capitalisme est-elle possible ?*, Paris: O. Jacob.
- Boyer, R. & Freyssenet, M., 2005. *Les modèles productifs*, La Découverte - version française actualisée. Available at: [http://freyssenet.com/files/Les%20mod%C3%A8les%20productifs%20\(version%202005\).pdf](http://freyssenet.com/files/Les%20mod%C3%A8les%20productifs%20(version%202005).pdf) [Consulté le septembre 13, 2016].
- Boyer, R. & Saillard, Y. éd., 2002. *Théorie de la régulation: l'état des savoirs* Nouv. éd. complétée., Paris: Découverte.
- Bozell, J.J., 2008. Feedstocks for the Future - Biorefinery Production of Chemicals from Renewable Carbon. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 36(8), p.641-647.
- Bozell, J.J. et al., 2000. Production of levulinic acid and use as a platform chemical for derived products. *Resources, Conservation and Recycling*, 28(3-4), p.227-239.
- Brouillat, E., Oltra, V. & Saint-Jean, M., 2013. Les trajectoires de l'éco-innovation dans l'industrie. Un premier bilan des recherches. *Economie Appliquée*, LXVI(4), p.83-115.

- Brown, N., 2003. Hope Against Hype - Accountability in Biopasts, Presents and Futures. *Science Studies*, 16(2), p.3-21.
- Buchs, A., 2016. Processus de qualification et construction d'un compromis institutionnel. La gestion itnégrée de l'eau par bassin dans le Canton de Fribourg (Suisse). *Développement durable et territoires*, (à paraître).
- Buckhalt, R., 2014. Biobased Products: Creating New Markets in the U.S. and Around the World. Available at: [http://biomassboard.gov/pdfs/tac\\_q4\\_2014\\_buckhalt.pdf](http://biomassboard.gov/pdfs/tac_q4_2014_buckhalt.pdf) [Consulté le juillet 5, 2016].
- Bye, P. & Mounier, A., 1981. L'application des biotechnologies dans l'industrie agro-alimentaire : enjeux et impacts. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.192-199.
- Caillol, S., 2011. Les résines époxy biosourcées. *Techniques de l'ingénieur*, Référence IN136 v1. Available at: <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/chimie-vegetale-vers-des-produits-biosources-42570210/les-resines-epoxy-biosourcees-in136/>.
- Calmon, A. et al., 1999. Evaluation of Material Biodegradability in Real Conditions-Development of a Burial Test and an Analysis Methodology based on Numerical Vision. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 7(3), p.157-166.
- Candy, L., Nohra, B. & Mouloungui, Z., 2012. Les huiles végétales et leurs dérivés pour une application dans le domaine des polymères. In *Biomasse végétale matière première d'avenir : rêve ou réalité ?* Available at: [http://fed3g.grenoble.cnrs.fr/web/IMG/pdf/2012\\_10\\_25\\_CANDY.pdf](http://fed3g.grenoble.cnrs.fr/web/IMG/pdf/2012_10_25_CANDY.pdf) [Consulté le août 5, 2016].
- Cantacuzene, J., 1981. Les biotechnologies aux Etats-Unis. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.335-348.
- Carcillo, S. & Reiffers, V., 2001. La critique d'ad hocité en économie. L'exemple des théories de la croissance. *Louvain Economic Review*, 67(2), p.197-223.
- Caron, F., 2010. *La dynamique de l'innovation: changement technique et changement social, XVIe-XXe siècle*, Paris: Gallimard.
- Carothers, W.H., 1937. Linear Condensation Process.
- Carpentier, C., Liotard, I. & Revest, V., 2007. La promotion des firmes françaises de biotechnologie. *Revue d'Economie Industrielle [En ligne]*, (120). Available at: <https://rei.revues.org/2853#ftn11> [Consulté le avril 27, 2016].
- Carson, R., 2002. *Silent spring* 40th anniversary ed., 1st Mariner Books ed., Boston: Houghton Mifflin.
- Carus, M., Dammer, L., et al., 2014. Proposals for a Reform of the Renewable Energy Directive to a Renewable Energy and Materials Directive (REMD). *Nova Paper on bio-based economy*, (4), p.46.
- Carus, M., Dammer, L. & Essel, R., 2015. Options for Designing the Political Framework of the European Bio-based Economy. *Nova Paper on bio-based economy*, (6), p.19.
- Carus, M., Eder, A. & Beckmann, J., 2014. GreenPremium prices along the value chain of bio-based products. *Nova Paper*, (3), p.12.
- Castellacci, F., 2008. Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. *Research Policy*, 37(6-7), p.978-994.
- Cecere, G. et al., 2014. Lock-in and path dependence: an evolutionary approach to eco-innovations. *Journal of Evolutionary Economics*, 24(5), p.1037-1065.

- Champenois, C., 2007. Dynamique de constitution de l'industrie allemande de biotechnologies et diversité des modèles d'entreprise. *Revue d'Economie Industrielle [En ligne]*, (120). Available at: <https://rei.revues.org/2933#tocto1n2> [Consulté le juin 23, 2016].
- Chanteau, J.-P. et al. éd., 2002a. *Théorie de la régulation, secteurs et territoires : quels enjeux de recherche ?*, Lavoisier.
- Chanteau, J.-P. et al., 2002b. Théorie de la régulation, secteurs et territoires : quels enjeux de recherche ? *Géographie, économie, société*, 4(2), p.123-129.
- Chanteau, J.-P. et al., 2015. Trois questions à la théorie de la régulation par ceux qui ne l'ont pas fondée. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (19), p.non paginé.
- Chassagnon, V. & Le Bas, C., 2013. Avant propos - Matériaux pour l'analyse des éco-innovations. *Economie Appliquée*, LXVI(4), p.81-82.
- Chauvet, J.-M., La bioraffinerie de Bazancourt-Pomacle : un modèle d'intégration au coeur du pôle IAR. In *Procédés pour la Bioraffinerie : enjeux et avancées*.
- Cherubini, F., 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7), p.1412-1421.
- Cherubini, F. et al., 2009. Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(5), p.534-546.
- Chesnais, F., 1981. Biotechnologie et modifications des structures de l'industrie chimique : quelques points de repère. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.218-230.
- Chevènement, J.-P., 1981. La France à l'aube de l'ère bioindustrielle. *Revue d'Economie Industrielle*, 18, p.3-5.
- Chevet, P.-F., 2011. Le soutien au développement des nouvelles techniques de l'énergie (NTE), pour accompagner la transition énergétique vers une économie décarbonée, plus sûre et compétitive. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N° 61(1), p.38.
- Chiaroni, D. & Chiesa, V., 2006. Forms of creation of industrial clusters in biotechnology. *Technovation*, 26(9), p.1064-1076.
- Chollet, G. et al., 2012. Les lipides : une matière première alternative pour la synthèse de polymères de spécialités. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(1), p.39-50.
- Clark, J.H. & Deswarte, F.E.I. éd., 2008. *Introduction to chemicals from biomass*, Chichester, U.K: Wiley.
- Clements, L.D. & Van Dyne, D.L., 2005. The Lignocellulosic Biorefinery- A Strategy for Returning to a Sustainable Source of Fuels and Industrial Organic Chemicals. In B. Kamm, P. R. Gruber, & M. Kamm, éd. *Biorefineries-Industrial Processes and Products*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, p. 115-128. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/9783527619849.ch5> [Consulté le décembre 15, 2015].
- Cluster Spring, 2015. *The biobased Chemical Industry towards an Italian Strategy of Bioeconomy*, Cluster Spring.
- Coates, D. & Palgrave Connect (Online service), 2005. *Varieties of capitalism, varieties of approaches*, New York: Palgrave Macmillan. Available at: <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=268956> [Consulté le mai 2, 2016].
- Cochoy, F. & Grossetti, M., 2008. *Liens et marchés Harrison White et les nouvelles sociologies économiques*, Toulouse: Presses universitaires du Mirail.

- Cohendet, P., 1982. L'industrie chimique européenne et la crise, la nécessité des mutations technologiques. *Futuribles*, (60), p.13-31.
- Cohendet, P. & Keiling, M., 1981. L'attitude des firmes chimiques vis-à-vis de la biotechnologie. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.207-217.
- Colletis, G. & Pecqueur, B., 2005. Révélation de ressources spécifiques et coordination située. *Economie et Institutions*, (6-7), p.51-74.
- Colonna, P., Tayeb, J. & Valceschini, E., 2015. Les nouveaux usages de la biomasse. *Le Déméter 2015*, p.275-305.
- Commission Européenne, 2003. Innovation et Stratégie de Lisbonne : Communication de la Commission du 11 mars 2003. « Politique de l'innovation : mise à jour de l'approche de l'Union dans le contexte de la stratégie de Lisbonne ». Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=URISERV%3An26021> [Consulté le mai 17, 2016].
- Čop, M., Gospodarič, B., et al., 2015. Characterization of the curing process of mixed pine and spruce tannin-based foams by different methods. *European Polymer Journal*, 69, p.29-37.
- Čop, M., Lacoste, C., et al., 2015. The effect of the composition of spruce and pine tannin-based foams on their physical, morphological and compression properties. *Industrial Crops and Products*, 74, p.158-164.
- Coriat, B., 1981. L'alcool carburant et son économie. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.133-145.
- Coriat, B. & Dosi, G., 2002. Evolutionnisme et régulation : différences et convergences. In *Théorie de la régulation : l'état des savoirs*. Recherches. La Découverte, p. 500-510.
- Coriat, B. & Orsi, F., 2003. Droits de propriété intellectuelle, marchés financiers et innovation. *La Lettre de la Régulation*, (45), p.1-4.
- Coriat, B., Orsi, F. & Weinstein, O., 2003. Does Biotech Reflect a New Science-based Innovation Regime? *Industry & Innovation*, 10(3), p.231-253.
- Coriat, B. & Weinstein, O., 1995. *Les nouvelles théories de l'entreprise*, Paris: Librairie générale française.
- Correll, D., Suzuki, Y. & Martens, B.J., 2014. Logistical supply chain design for bioeconomy applications. *Biomass and Bioenergy*, 66, p.60-69.
- Crouch, C. et al., 2005. Dialogue on « Institutional complementarity and political economy ». *Socio-Economic Review*, 3(2), p.359-382.
- Cusin, F. & Benamouzig, D., 2004. *Économie et sociologie*, Paris: PUF.
- Dammer, L. et al., 2013. *Market Developments of and Opportunities for biobased products and chemicals*, Agentschap NL.
- Danielou, G. & Broun, G., 1981. Bioindustrie : de la tradition artisanale à la pratique industrielle. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.14-29.
- Dardenne, G., 1981. Agriculture et agro-industrie. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.104-109.
- Darmon, D., 1981. Protection juridique et inventions biotechnologiques. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.93-103.

- Dartee, M., Lunt, J. & Shafer, A., 2000. NatureWorks PLA: Sustainable Performance Fiber. *Chemical Fibers International*, 50(6).
- Datta, R. et al., 1992. Fermentation and Purification Process for Succinic Acid.
- Datta, R., 1992. Process for the Production of Succinic Acid by anaerobic fermentation.
- Datta, R. et al., 1995. Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives. *FEMS Microbiology Reviews*, 16(2-3), p.221-231.
- Datta, R. & Henry, M., 2006. Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies — a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 81(7), p.1119-1129.
- De Bandt, J., 1989. Approche méso-économique de la dynamique industrielle. *Revue d'économie industrielle*, 49(1), p.1-18.
- De Bandt, J., 2010. L'économie industrielle, telle qu'en elle-même. A la recherche de l'objet perdu ? *Revue d'Economie Industrielle*, (129-130), p.327-348.
- Dean, J., 2004. Dyes in mediaeval Europe. Part two: Yellow, blue, green and black. *Journal of Weavers, Spinners and Dyers*, (211), p.9-12.
- De Rosnay, J., 1981. L'Institut Pasteur et les biotechnologies. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.275-287.
- Debref, R., 2014. *Le processus d'innovation environnementale face à ses contradictions : le cas du secteur des revêtements de sol résilients*. Reims: Université de Reims Champagne Ardenne.
- Debref, R., 2016. Pour une approche systémique des innovations environnementales. *Revue d'Economie Industrielle*, (à paraître).
- Dervillé, M., 2012. *Territorialisation du secteur laitier et régimes de concurrence : le cas des montagnes françaises et de leur adaptation à l'après-quota*. AgroParisTech.
- Desmoulin-Canselier, S. & Léca, N., 2011. REACH : une réglementation durable pour la chimie. In L. Maxim, éd. *La chimie durable : au-delà des promesses*. CNRS Editions, p. 157-168.
- Dever, C., 2015. Forces et faiblesses de l'acide polylactique en plasturgie. In *Polymères biosourcés : relations structure - propriétés*. Paris, France.
- Dockès, P., 1998. La nouvelle économie institutionnelle, l'évolutionnisme et l'histoire. *Revue Européenne des Sciences Sociales*, 36(110), p.77-96.
- Domenek, S. & Ducruet, V., 2016. Characteristics and Applications of PLA. In S. Kalia & L. Avérous, éd. *Biodegradable and Biobased Polymers for Environmental and Biomedical Applications*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., p. 171-224. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781119117360.ch6> [Consulté le septembre 14, 2016].
- Doorasamy, M., 2015. Environmental management tools. *Environmental Economics*, 6(2), p.59-69.
- Dopfer, K., Foster, J. & Potts, J., 2004. Micro-meso-macro. *Journal of Evolutionary Economics*, 14(3), p.263-279.
- Dorough, G.L., 1935. Polymeric Lactide Resin.
- Dosi, G. et al. éd., 1990. *Technical change and economic theory* repr., London: Pinter.
- Drumright, R.E., Gruber, P.R. & Henton, D.E., 2000. Polylactic Acid Technology. *Advanced Materials*, 12(23), p.1841-1846.

- Du Tertre, C., 1989. *Technologie, flexibilité, emploi: une approche sectorielle du post-taylorisme*, Paris: L'Harmattan.
- Dubois, J.-L., 2012. Refinery of the Future: feedstock, processes, products. In M. Aresta, A. Dibenedetto, & F. Dumeignil, éd. *Biorefinery: from Biomass to Chemicals and Fuels*. De Gruyter, p. 20-47.
- Dubois, J.-L., 2011. Requirements for the development of a bioeconomy for chemicals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(1-2), p.11-14.
- Duden, P., 1937. Aus der Geschichte des Vereins Deutscher Chemiker 1912–1937. *Angewandte Chemie*, 50(28), p.501-504.
- Dumez, H., 2013. *Méthodologie de la recherche qualitative: les 10 questions clés de la démarche compréhensive*, Paris: Vuibert.
- Dumez, H. & Jeunemaître, A., 2005. La démarche narrative en économie. *Revue économique*, 56(4), p.983.
- Dutraive, V., 2008. Économie fondée sur la connaissance et théories récentes de la firme : une lecture veblénienne. *Revue d'Économie Industrielle*, (124). Available at: <http://rei.revues.org/3938#tocto2n1> [Consulté le avril 5, 2016].
- Eisenhardt, K.M., 1989. Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4), p.532-550.
- Eisenmann, E., 1981. Transgène : une société française de génie génétique. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.288-292.
- Elsner, W. et al., 2015. The Size Dimension of Complex Economies - Towards a Meso-Economics: The Size of Interaction Arenas and the Emergence of Meso-Platforms of Institutional Coordination. In W. Elsner, T. Heinrich, & H. Schwardt, éd. *The Microeconomics of Complex Economies*. Academic Press, p. 419-447.
- Elsner, W., Heinrich, T. & Schwardt, H., 2015. *The microeconomics of complex economies: evolutionary, institutional, neoclassical, and complexity perspectives*, Amsterdam ; Boston: Academic Press.
- Emblem, A., 2012. Plastics properties for packaging materials. In *Packaging Technology*. Elsevier, p. 287-309. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845696658500135> [Consulté le juillet 30, 2015].
- van den Ende, J. & Kemp, R., 1999. Technological transformations in history: how the computer regime grew out of existing computing regimes. *Research Policy*, 28(8), p.833-851.
- Epicoco, M., Oltra, V. & Saint Jean, M., 2014. Knowledge dynamics and sources of eco-innovation: Mapping the Green Chemistry community. *Technological Forecasting and Social Change*, 81, p.388-402.
- Eurobioref, 2014. *Public Booklet - February 2014*,
- European Chemicals Agency, 2012. Response to comments document (RCOM) to the Opinion proposing harmonised classifications and labelling at EU level of Formaldehyde.
- Farhi, R., Morel, C. & Chéron, J., 2006. *Matières plastiques & adjuvants hygiène et sécurité*,
- Faucher, P. & De Bresson, C., 1991. L'école de la régulation et le changement technologique. *Revue d'économie industrielle*, 58(1), p.28-46.

- Faucheux, S. & Nicolai, I., 1998. Les firmes face au développement soutenable : changement technologique et gouvernance au sein de la dynamique industrielle. *Revue d'économie industrielle*, 83(1), p.127-146.
- Federal Ministry of Education and Research, 2010. *National Research Strategy BioEconomy 2030 - Our Route towards a biobased economy*, Federal Ministry of Education and Research.
- Ferrarezi, M.M.F. et al., 2013. Poly(Ethylene Glycol) as a Compatibilizer for Poly(Lactic Acid)/Thermoplastic Starch Blends. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(1), p.151-159.
- Finlay, M.R., 2003. Old Efforts at New Uses: A Brief History of Chemurgy and the American Search for Biobased Materials. *Journal of Industrial Ecology*, 7(3-4), p.33-46.
- Finlay, M.R., 1997. The Failure of Chemurgy in the Depression-Era South: The Case of Jesse F. Jackson and the Central of Georgia Railroad. *The Georgia Historical Quarterly*, 81(1), p.78-102.
- Fitzpatrick, S.W., 2006. The Biofine Technology: A « Bio-Refinery » Concept Based on Thermochemical Conversion of Cellulosic Biomass. In J. J. Bozell & M. K. Patel, éd. *Feedstocks for the Future*. Washington, DC: American Chemical Society, p. 271-287. Available at: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-2006-0921.ch020> [Consulté le décembre 8, 2015].
- Floyd, W.C. & North, B., 1984. Cyclic Urea/Glyoxal/Polyol condensates and their use in treating textile fabrics and paper. , p.6.
- Foray, D., 1994. Recherche et technologie - Les nouveaux paradigmes de l'apprentissage technologique. *Revue d'économie industrielle*, 69(1), p.93-104.
- Formaldehyde Council, 2005. *The Economic Benefits of Formaldehyde to the United States and Canadian Economies*, Formaldehyde Council.
- Foster, J.B., 2000. *Marx's ecology: materialism and nature*, New York: Monthly Review Press.
- Francis, G., 2012. Method of Reducing the Emission of Formaldehyde from Formaldehyde Laden Wood Products.
- Freudenberg, K., 1967. The Beginnings of my Work on Lignin. *Wood Science and Technology*, 1, p.161-190.
- Frölander, A. & Rodsrud, G., 2011. Conversion of Cellulose, Hemicellulose and Lignin into Platform Molecules: Biotechnological Approach. In EuroBioRef Summer School. Lecce, Italy. Available at: [http://www.eurobioref.org/Summer\\_School/Lectures\\_Slides/day3/Lectures/L06\\_A.Frolander.pdf](http://www.eurobioref.org/Summer_School/Lectures_Slides/day3/Lectures/L06_A.Frolander.pdf) [Consulté le juillet 20, 2015].
- Futuribles, 1982. *L'industrie chimique, révélateur des mutations industrielles*,
- Galambos, L., Hikino, T. & Zamagni, V. éd., 2007. *The global chemical industry in the age of the petrochemical revolution*, Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Galbraith, J.K., 1989. *Le nouvel état industriel: essai sur le système économique américain*, Paris: Gallimard.
- Galleti, A. et al., 2012. Levulinic Acid Production from Waste Biomass. *Bioresources*, 7(2), p.1824-1835.
- Gallois, F., 2012. *Une approche régulationniste des mutations de la configuration institutionnelle française des services à la personne*. Reims: Université de Reims Champagne Ardenne.
- Ganapini, W. éd., 2014a. *Les bioplastiques : étude de cas de la bioéconomie en Italie*, Edizioni Ambiente.

- Ganapini, W., 2014b. *Les bioplastiques : études de cas de la bioéconomie en Italie*, Edizioni Ambiente.
- García, D.E. et al., 2013. Hydroxypropyl tannin derivatives from *Pinus pinaster* (Ait.) bark. *Industrial Crops and Products*, 49, p.730-739.
- García, D.E. et al., 2015. Hydroxypropyl tannin from *Pinus pinaster* bark as polyol source in urethane chemistry. *European Polymer Journal*, 67, p.152-165.
- García, D.E. et al., 2014. Polyphenolic resins prepared with maritime pine bark tannin and bulky-aldehydes. *Industrial Crops and Products*, 62, p.84-93.
- García Marrero, D.E. et al., 2014. Substitution pattern elucidation of hydroxypropyl *Pinus pinaster* (Ait.) bark polyflavonoid derivatives by ESI(-)-MS/MS: Substitution pattern elucidation. *Journal of Mass Spectrometry*, 49(10), p.1050-1058.
- Garlotta, D., 2001. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), p.63-84.
- Garnier, E. & Debref, R., 2014. Les divergences au sein de la composante technico-scientifique du nouveau système sectoriel d'innovation de la chimie doublement verte. *Innovations*, 43(1), p.39.
- Gaudillière, J.-P. & Joly, P.-B., 2006. Appropriation et régulation des innovations biotechnologiques : pour une comparaison transatlantique. *Sociologie du Travail*, 48(3), p.330-349.
- Gay, B. & Dupuy, C., 2009. Clusters et réseaux complexes multi-niveaux : le cas des réseaux mondiaux de capital-risque et d'entreprises de biotechnologies. *Revue d'Economie Industrielle*, (128), p.53-76.
- Geels, F. & Raven, R., 2006. Non-linearity and Expectations in Niche-Development Trajectories: Ups and Downs in Dutch Biogas Development (1973–2003). *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), p.375-392.
- Geels, F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. *Research Policy*, 33(6-7), p.897-920.
- Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study. *Research Policy*, 31, p.1257-1274.
- Geels, F.W., 2006. The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840–1930): The dynamics of regime transformation. *Research Policy*, 35(7), p.1069-1082.
- Geels, F.W., 2011a. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), p.24-40.
- Geels, F.W., 2011b. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), p.24-40.
- Geels, F.W., 2007. Transformations of Large Technical Systems: A Multilevel Analysis of the Dutch Highway System (1950-2000). *Science, Technology & Human Values*, 32(2), p.123-149.
- Geels, F.W. & Raven, R.P.J.M., 2007. Socio-cognitive evolution and co-evolution in competing technical trajectories: Biogas development in Denmark (1970–2002). *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(1), p.63-77.
- Genus, A. & Coles, A.-M., 2008. Rethinking the multi-level perspective of technological transitions. *Research Policy*, 37(9), p.1436-1445.
- Gillard, L., 1975. Premier bilan d'une recherche économique sur la méso-analyse. *Revue économique*, 26(3), p.478-516.

- Glasser, D. & Datta, R., 1992. Process for the Production and Purification of Succinic Acid.
- Goergescu-Roegen, N., 1979. Energy Analysis and Economic Valuation. *Souther Economic Journal*, 45(4), p.1023-1058.
- Golden, J.S. & Handfield, B., 2014. *Why Biobased ? Opportunities in the Emerging Bioeconomy*, US Department of Agriculture.
- Golembiewski, B., Sick, N. & Bröring, S., 2015. The emerging research landscape on bioeconomy: What has been done so far and what is essential from a technology and innovation management perspective? *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, p.308-317.
- González-García, S., Moreira, M.T., et al., 2014. Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of forest operations in Europe: environmental and energy profiles. *Journal of Cleaner Production*, 66, p.188-198.
- González-García, S., Krowas, I., et al., 2013. Cradle-to-gate life cycle inventory and environmental performance of Douglas-fir roundwood production in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 54, p.244-252.
- González-García, S., Dias, A.C., et al., 2014. Divergences on the environmental impact associated to the production of maritime pine wood in Europe: French and Portuguese case studies. *Science of The Total Environment*, 472, p.324-337.
- González-García, S., Bonnesoeur, V., et al., 2013. The influence of forest management systems on the environmental impacts for Douglas-fir production in France. *Science of The Total Environment*, 461-462, p.681-692.
- Goodman, S.H. éd., 1998. *Handbook of thermoset plastics* 2nd ed., Westwood, N.J: Noyes Publications.
- Graupner, N., 2009. Improvement of the Mechanical Properties of Biodegradable Hemp Fiber Reinforced Poly(lactic acid) (PLA) Composites by the Admixture of Man-made Cellulose Fibers. *Journal of Composite Materials*, 43(6), p.689-702.
- Gravitis, J. & Suzuki, M., 1999. Biomass Refinery - A Way to Produce Value Added Products and Base for Agriculture Zero Emissions System. In International Conference on Agricultural Engineering. Pékin, p. 14. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.202.7106&rep=rep1&type=pdf> [Consulté le septembre 16, 2016].
- Gross, R.A. & Kalra, B., 2002. Biodegradable Polymers for the Environment. *Science*, 297, p.803-807.
- Grote, A.F.V. & Tollens, B., 1875. Untersuchungen über Kohlenhydrate. I. Ueber die bei Einwirkung von Schwefelsäure auf Zucker entstehende Säure (Levulinsäure). *Justus Liebig's Annalen der Chemie*, 175(1-2), p.181-204.
- Grouiez, P., 2010. *Les stratégies des communautés et la régulation sectorielle et territoriale des configurations productives : le cas de l'agroalimentaire russe*. Reims: Université de Reims Champagne Ardenne.
- Grouiez, P., Lamarche, T. & Nieddu, M., 2015. Les régulations mésoéconomiques : saisir la variété des espaces de régulation. In Colloque International Recherche et Régulation 2015 : « La théorie de la régulation à l'épreuve des crises ». Paris, p. 22.
- Gruber, P.R., 2003. Cargill Dow LLC. *Journal of Industrial Ecology*, 7(3-4), p.209-213.

- Gruber, P.R. et al., 1992. Continuous process for manufacture of lactide polymers with controlled optical purity. Available at: <http://www.google.com/patents/US5142023> [Consulté le septembre 14, 2016].
- Gruber, P.R. et al., 1993. Continuous process for manufacture of lactide polymers with improved purification methods. Available at: <http://www.google.com/patents/CA2128509A1> [Consulté le septembre 14, 2016].
- Gruber, P.R. et al., 1994. Continuous process for manufacture of lactide polymers with purification by distillation. Available at: <http://www.google.com/patents/US5357035> [Consulté le septembre 14, 2016].
- Gruber, P.R., 1994. Poly(lactide) copolymer and process for manufacture thereof. Available at: <http://www.google.com/patents/US5359026> [Consulté le septembre 14, 2016].
- Guzman, D. de, Segetis starts levulinic acid pilot production. *Green Chemicals Blog*. Available at: <http://greenchemicalsblog.com/2013/10/10/segetis-starts-levulinic-acid-pilot-production/> [Consulté le novembre 24, 2015].
- Hahn-Hägerdal, B. et al., 2006. Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends in Biotechnology*, 24(12), p.549-556.
- Hale, W.J., 1934. *The Farm Chemurgic: Farmward the Star of Destiny Lights Our Way*, Stratford Company.
- Harmsen, P.F.H., Hackmann, M.M. & Bos, H.L., 2014. Green building blocks for bio-based plastics. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(3), p.306-324.
- Hassan, A., Balakrishnan, H. & Akbari, A., 2013. Polylactic Acid Based Blends, Composites and Nanocomposites. In S. Thomas, P. M. Visakh, & A. P. Mathew, éd. *Advances in Natural Polymers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 361-396. Available at: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-20940-6\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-20940-6_11) [Consulté le juillet 30, 2015].
- Haveren, J. van, Scott, E.L. & Sanders, J., 2008. Bulk chemicals from biomass. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2(1), p.41-57.
- Hayek, F.A., 1937. Economics and knowledge. *Economica*, 4, p.33-54.
- Hédoin, C., 2009. *Le rapport entre théorie et histoire dans les approches historicistes et institutionnalistes en économie : essai de reconstruction rationnelle du programme de recherche scientifique de l'institutionnalisme historique*. Université de Reims Champagne Ardenne.
- Hédoin, C., 2013. *L'institutionnalisme historique et la relation entre théorie et histoire en économie*, Paris: Classiques Garnier.
- Hervieu, B., 1991. Les trois ruptures du monde agricole. *Regards sur l'actualité*, (février), p.23-32.
- Hirano, K. & Asami, M., 2013. Phenolic resins—100years of progress and their future. *Reactive and Functional Polymers*, 73(2), p.256-269.
- Hollingsworth, J.R. éd., 1998. *Contemporary capitalism: the embeddedness of institutions* 1. paperback ed., Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Holtz, G., Brugnach, M. & Pahl-Wostl, C., 2008. Specifying « regime » — A framework for defining and describing regimes in transition research. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(5), p.623-643.

- Hu, R. & Lim, J.-K., 2007. Fabrication and Mechanical Properties of Completely Biodegradable Hemp Fiber Reinforced Polylactic Acid Composites. *Journal of Composite Materials*, 41(13), p.1655-1669.
- Huda, M.S. et al., 2006. Wood-fiber-reinforced poly(lactic acid) composites: Evaluation of the physicomechanical and morphological properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(5), p.4856-4869.
- Ibeh, C.C., 1998. Phenol-Formaldehyde Resins. In *Handbook of Thermoset Plastics*. Elsevier, p. 23-71. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780815514213500059> [Consulté le septembre 3, 2016].
- Ikada, E., Takeuchi, Y. & Ashida, M., 1992. Possibility of poly(lactic acid) as a photodegradable polymer. *Kobunshi Ronbunshu*, 49(6), p.527-533.
- Jamshidian, M. et al., 2010. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), p.552-571.
- Jašo, V. et al., 2014. Bio-plastics and elastomers from polylactic acid/thermoplastic polyurethane blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(22), p.n/a-n/a.
- Johnson, J.A., 2008. Chemistry, Engineering, and Rationalisation in Germany 1919-33. In *Neighbours and Territories: The Evolving Identity of Chemistry*. 6th International Conference on the History of Chemistry. Louvain, p. 473-484. Available at: <http://www.uv.es/comic/6ICHC/6ICHC.pdf> [Consulté le juin 20, 2016].
- Johnson, T.G. & Altman, I., 2014. Rural development opportunities in the bioeconomy. *Biomass and Bioenergy*, 63, p.341-344.
- de Jong, E. et al., 2012. Product developments in the bio-based chemicals arena. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, p.n/a-n/a.
- Jonoobi, M. et al., 2012. A Comparison of Modified and Unmodified Cellulose Nanofiber Reinforced Polylactic Acid (PLA) Prepared by Twin Screw Extrusion. *Journal of Polymers and the Environment*, 20(4), p.991-997.
- Jorgensen, U. & Sorensen, O., 2002. Arenas of Development: A Space Populated by Actors-worlds, Artefacts, and Surprises. In K. H. Sorensen & R. Williams, éd. *Shaping Technology, Guiding Policy. Concepts, Spaces and Tools*. Edward Elgar Publishing, p. 197-222.
- Jullien, B., 2011. L'analyse sectorielle institutionnaliste : projet et méthodes. In M.-C. Bélibergougnan et al., éd. *Industries, innovations, institutions : Éléments de dynamique industrielle*. Presses universitaires de Bordeaux, p. 67-127.
- Jullien, B., Lung, Y. & Midler, C., 2012a. *L'épopée Logan : nouvelles trajectoires pour l'innovation*, Paris: Dunod.
- Jullien, B. & Smith, A. éd., 2008a. *Industries and globalization: the political causality of difference*, Houndmills, Basingstoke, Hampshire [England] ; New York: Palgrave Macmillan.
- Jullien, B. & Smith, A., 2012. Le gouvernement d'une industrie: Vers une économie politique institutionnaliste renouvelée. *Gouvernement et action publique*, 1(1), p.103.
- Jullien, B. & Smith, A., 2008a. L'Union Européenne et la régulation des industries : vers une sociologie politique de l'économie. *Politique européenne*, 2(25), p.137-159.
- Kamm, B., Gruber, P.R. & Kamm, M. éd., 2006. *Biorefineries - industrial processes and products: status quo and future directions*, Weinheim: Wiley-VCH.

- Kamm, B., Gruber, P.R. & Kamm, M. éd., 2010. *Biorefineries - industrial processes and products: status quo and future directions*, Weinheim: Wiley-VCH.
- Kamm, B., Gruber, P.R. & Kamm, M. éd., 2005. *Biorefineries-Industrial Processes and Products*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/9783527619849> [Consulté le décembre 10, 2015].
- Katsnelson, A., 2005. Dow pulls out of bioplastics due to slow sector maturation. *Nature Biotechnology*, 23(6), p.638-638.
- Kemp, R., 2010. Sustainable technologies do not exist. *Ekonomiaz*, (75), p.2-17.
- Kemp, R. & Pontoglio, S., 2011. The innovation effects of environmental policy instruments — A typical case of the blind men and the elephant? *Ecological Economics*, 72, p.28-36.
- Kemppainen, K. et al., 2014. Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. *Industrial Crops and Products*, 52, p.158-168.
- Khare, A. & Deshmukh, S., 2006. Studies Toward Producing Eco-Friendly Plastics. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 22(3), p.193-211.
- Kircher, M., 2012. How to turn industrial biotechnology into reality. *New Biotechnology*, 29(2), p.243-247.
- Klitkou, A. et al., 2015. The role of lock-in mechanisms in transition processes: The case of energy for road transport. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, p.22-37.
- Kohn, F.E. et al., 1984. The Ring-Opening Polymerization of D,L-Lactide in the Melt Initiated with Tetraphentyn. *Journal of Applied Polymer Science*, 29, p.4265-4266.
- Konrad, K., 2006. The social dynamics of expectations: The interaction of collective and actor-specific expectations on electronic commerce and interactive television. *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), p.429-444.
- Konrad, K., Truffer, B. & Voß, J.-P., 2008. Multi-regime dynamics in the analysis of sectoral transformation potentials: evidence from German utility sectors. *Journal of Cleaner Production*, 16(11), p.1190-1202.
- Kossmehl, G., 2010. Bakelite Conquers the World. *Kunststoffe International*, (1), p.6-9.
- Kreysa, G. & Hirche, C., 1997. Die DEHEMA als Bindeglied zwischen Chemietechnik, Verfahrenstechnik und Biotechnologie. In *Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften - Verfahrenstechnik und Wiedervereinigung*. p. 127-143.
- Krishnaswamy, R.K. & Padwa, A.R., 2013. Impact modification of PLA using biobased, biodegradable Mirel PHB copolymers. Available at: [http://www.metabolix.com/sites/default/files/ANTEC-PLA\\_PVC.pdf](http://www.metabolix.com/sites/default/files/ANTEC-PLA_PVC.pdf) [Consulté le septembre 14, 2016].
- Lacoste, C. et al., 2015. Biobased foams from condensed tannin extracts from Norway spruce (*Picea abies*) bark. *Industrial Crops and Products*, 73, p.144-153.
- Lacoste, C., Basso, M.C., Pizzi, A., Laborie, M.-P., Garcia, D., et al., 2013. Bioresourced pine tannin/furanic foams with glyoxal and glutaraldehyde. *Industrial Crops and Products*, 45, p.401-405.
- Lacoste, C. et al., 2015. Pine (*P. pinaster*) and quebracho (*S. lorentzii*) tannin-based foams as green acoustic absorbers. *Industrial Crops and Products*, 67, p.70-73.

- Lacoste, C., Basso, M.C., Pizzi, A., Laborie, M.-P., Celzard, A., et al., 2013. Pine tannin-based rigid foams: Mechanical and thermal properties. *Industrial Crops and Products*, 43, p.245-250.
- Lacoste, C. et al., 2014. Pinus pinaster tannin/furanic foams: PART I. Formulation. *Industrial Crops and Products*, 52, p.450-456.
- Lagriffoul, A., 2013. Évaluer et gérer les substances chimiques soulevant une problématique environnementale. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 71(3), p.24.
- Lamarche, T., 2008a. Changements organisationnels et changements institutionnels en contradiction dans l'enseignement supérieur. *Economie et Sociétés*, (9), p.321-347.
- Lamarche, T., 2008b. Changements organisationnels et changements institutionnels en contradiction dans l'enseignement supérieur. *Economies et Sociétés, Série EGS*, (9), p.321-347.
- Lamarche, T., 2000. Du service public à la relation clientèle dans les services en réseau. *Politiques et management public*, 18(3), p.1-19.
- Lamarche, T. et al., 2016. Les régulations mésoéconomiques : saisir la variété des espaces de régulation. *Working paper*, (à paraître).
- Lamarche, T., 2008c. Rupture dans la trajectoire historique du système éducatif. Vers une logique sectorielle ? In C. Laurent & C. Du Tertre, éd. *Secteurs et territoire dans les régulations émergentes*. L'Harmattan, p. 99-120.
- Lambert, G. & Schaeffer, V., 2014. Innovation stratégique et mutations de l'architecture de valeur dans les modèles d'affaires. *Revue d'Economie Industrielle*, 146, p.61-84.
- Langeveld, H., Meeusen, M. & Sanders, J. éd., 2010. *The biobased economy: biofuels, materials and chemicals in the post-oil era*, London ; Washington, DC: Earthscan.
- Larson, A., Natureworks: Green Chemistry's Contribution to Biotechnology, Innovation, Commercialization, and Strategic Positioning. *Working paper - Darden Case n° UVA-ENT-0089 // American Chemical Society*, p.2009.
- Latieule, S., 2015. BASF : « Nous intégrons le biosourcé dans une stratégie globale ». *Formule Verte n°25*, p.10-11.
- Latieule, S., 2014. L'association Chimie du végétal réclame une feuille de route nationale. *Formule Verte*, p.14-15.
- Laurent, C., 1992. *L'agriculture et son territoire dans la crise. Analyse et démenti des prévisions sur la déprise des terres agricoles à partir d'observations réalisées dans le pays d'Auge*. n.d.
- Laurent, C. et al., 2009. Pourquoi s'intéresser à la notion d' « evidence-based policy » ? *Revue Tiers Monde*, 200(4), p.853.
- Laurent, C. et al., 2008. Régulations sectorielles et territoriales au coeur du nouveau régime d'accumulation : objet, problématique, posture de recherche. In *Secteurs et territoires dans les régulations émergentes*. L'Harmattan, p. 236.
- Laurent, C. & du Tertre, C. éd., 2008. *Secteurs et territoires dans les régulations émergentes*, Paris: Harmattan.
- Laurichesse, S. & Avérous, L., 2014. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 39(7), p.1266-1290.

- Le Bas, C., Latham, W. & Volodin, D., Productivité et mobilité des inventeurs prolifiques : une approche comparative des systèmes d'innovation de quatre grands pays asiatiques (Chine, Corée, Japon, Taïwan). *Revue de la Régulation*, (15). Available at: URL : <http://regulation.revues.org/10746> [Consulté le mars 3, 2015].
- Lee, S.H., Lim, S.W. & Lee, K.H., 1999. Properties of potentially biodegradable copolyesters of (succinic acid-1,4-butanediol)/(dimethyl terephthalate-1,4-butanediol). *Polymer International*, 48, p.861-867.
- Leiponen, A. & Drejer, I., 2007. What exactly are technological regimes? *Research Policy*, 36(8), p.1221-1238.
- Leonard, R.H., 1956. Levulinic Acid as a Basic Chemical Raw Material. *Industrial & Engineering Chemistry*, 48(8), p.1330-1341.
- Lettow, S., 2014. *Bioökonomie: Die Lebenswissenschaften und die Bewirtschaftung der Körper*, transcript Verlag.
- Levidow, L., 2015. European transitions towards a corporate-environmental food regime: Agroecological incorporation or contestation? *Journal of Rural Studies*, 40, p.76-89.
- Li, H. et al., 2013. PLA-Thermoplastic Lignin Blends. *Plastics Engineering*, 69(8), p.60-64.
- Liebowitz, S.J. & Margolis, S.E., 1995a. Path Dependence, Lock-in, and History. *The Journal of Law, Economics and Organization*, 11(1), p.205-226.
- Liebowitz, S.J. & Margolis, S.E., 1995b. Path Dependence, Lock-in, and History. *Preprint Journal of Law, Economics and Organization*, 11(1), p.22.
- Lima, T.M. et al., 2016. Magnetic ZSM-5 zeolite: a selective catalyst for the valorization of furfuryl alcohol to  $\gamma$ -valerolactone, alkyl levulinates or levulinic acid. *Green Chemistry*, à paraître.
- Link, M. et al., 2011. Formaldehyde-Free Tannin-Based Foams and their Use as Lightweight Panels. *Bioresources.com*, 6(4), p.4218-4228.
- Lipietz, A., 1988. La trame, la chaîne et la régulation : outils pour les sciences sociales. *Couverture Orange CEPREMAP*, (8816).
- Lipinsky, E.S. & Sinclair, R.G., 1986. Is Lactic Acid a Commodity Chemical ? *Chemical Engineering Progress*, 82(8), p.26-32.
- de Looze, M.A. et al., 1999. La bataille des brevets a commencé. *Biofutur*, (193), p.26-30.
- Lordon, F., 1997. Bruno Amable, Rémi Barré, Robert Boyer (1997), les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation, note de lecture. *L'Année de la Régulation*, (1).
- Lordon, F., 1999. Vers une théorie régulationniste de la politique. Croyances économiques et pouvoir symbolique. *L'Année de la Régulation*, 3, p.169-207.
- Luguel, C., 2015. Bioeconomy in France: situation and perspectives. In EU-Bioeconomy and HORIZON 2020 revisited AICHEMA 2015. Francfort.
- Luguel, C., 2013. The Bio-Based Industries Public Private Partnership: a new and Powerful Tool for Innovation. In Séminaire INRA Bioéconomie. Paris.
- Lundvall, B.-A., 2012. One knowledge base or many knowledge pools ? In *Handbook of Knowledge and Economics*. Edward Elgar, p. 285-312.

- Lung, Y., 2008. Modèles de firme et formes du capitalisme : Penser la diversité comme agenda de recherche pour la TR. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (2). Available at: <http://regulation.revues.org/2052>.
- Lunt, J., 1998. Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 59(1-3), p.145-152.
- Luque, R. et al., 2010. Biodiesel as feasible petrol fuel replacement: a multidisciplinary overview. *Energy & Environmental Science*, 3(11), p.1706.
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N.R. & John, R.P., 2010. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, 101(22), p.8493-8501.
- Malerba, F., 2005. Sectoral Systems: How and Why Innovation Differs across Sectors. In J. Fagerberg, D. C. Mowery, & R. R. Nelson, éd. *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press, p. 380-406.
- Malerba, F., 2002. Sectoral Systems of Innovation and Production. *Research Policy*, 31, p.247-264.
- Malerba, F. & Orsenigo, L., 1993. Technological Regimes and Firm Behavior. *Industrial and Corporate Change*, 2(1), p.45-71.
- Malerba, F. & Orsenigo, L., 1997. Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. *Industrial and Corporate Change*, 6(1), p.83-118.
- Mangematin, V. & Torre, A., 2001. Création et développement de PME dans le secteur des biotechnologies : le cas français. *Economie Rurale*, (263), p.2-15.
- Mangolte, P.-A., 2011. Patents Wars, deuxième partie. Les conséquences : la paralysie de l'industrie, le freinage de l'innovation. Available at: [http://lepouillou.pagesperso-orange.fr/PatentsWars\\_L2\\_V1.pdf](http://lepouillou.pagesperso-orange.fr/PatentsWars_L2_V1.pdf) [Consulté le août 12, 2016].
- Marcuse, H., 2001. *L'homme unidimensionnel: essai sur l'idéologie de la société avancée*, :Paris: Ed de Minuit.
- Mark, H.F., 1970. *Les polymères*, Robert Laffont Science.
- Martin, C.J., 2005. Beyond Bone Structure: Historical Institutionalism and the Style of Economic Growth. In D. Coates, éd. *Varieties of Capitalism, Varieties of Approach*. Palgrave Macmillan, p. 47-62.
- Marx, K., 2001. *Les luttes de classes en France, Le 18 brumaire de Louis Bonaparte*, Paris: Table ronde.
- Mascal, M. & Nikitin, E.B., 2010. High-yield conversion of plant biomass into the key value-added feedstocks 5-(hydroxymethyl)furfural, levulinic acid, and levulinic esters via 5-(chloromethyl)furfural. *Green Chem.*, 12(3), p.370-373.
- Maxim, L. éd., 2011. *Chimie durable: au delà des promesses*, Paris: CNRS éd.
- McCormick, K. & Kautto, N., 2013. The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, 5(6), p.2589-2608.
- Meadows, D.H. & Club of Rome éd., 1972. *The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, New York: Universe Books.
- Mecking, S., 2004. Nature or Petrochemistry?—Biologically Degradable Materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 43(9), p.1078-1085.

- Ménard, C., 2014. Embedding organizational arrangements: towards a general model. *Journal of Institutional Economics*, 10(4), p.567-589.
- Merchant Research and Consulting, 2014. *Formaldehyde : 2014 World Market Outlook and Forecast up to 2020*, Merchant Research and Consulting.
- Michel, J.-M., Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France : RVA-Progil. Le groupe Gillet. Available at: [http://www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/c\\_3\\_000\\_000.vfx2\\_sav.pdf](http://www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/c_3_000_000.vfx2_sav.pdf) [Consulté le février 20, 2015].
- Ministry of Environment, 2015. *Sustainable Growth from Bioeconomy: The Finnish Bioeconomy Strategy*, Ministry of Environment.
- Mitchell, T. & Jaquet, C., 2013. *Carbon democracy: le pouvoir politique à l'ère du pétrole*, Paris: La Découverte.
- Momentive, 2012. Formaldehyde - Product Stewardship Summary.
- Montanier, C. & O'Donohue, M.J., 2017. Les biotechnologies industrielles : plaque tournante à la croisée des IAA et de la chimie verte. *Working paper, à paraître*.
- Mouhoud, E.M. & Plihon, D., 2007. Finance et économie de la connaissance : des relations équivoques. *Innovations*, 25(1), p.9.
- Moulier Boutang, Y., 2007. *Le capitalisme cognitif: la nouvelle grande transformation*, Paris: Éditions Amsterdam.
- Müller, C., 2002. The evolution of the biotechnology industry in Germany. *Trends in Biotechnology*, 20(7), p.287-290.
- Muniesa, F. & Callon, M., 2008. La performativité des sciences économiques. *CSI Working Papers Series*, (10), p.26.
- Murdoch, J.R. & Loomis, G.L., 1988. Polylactide compositions. Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US4719246> [Consulté le septembre 10, 2015].
- Murmann, J.P. & Frenken, K., 2006. Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change. *Research Policy*, 35(7), p.925-952.
- National Research Council of the National Academies, 2015. *Industrialization of Biology: A Roadmap to Accelerate the Advanced Manufacturing of Chemicals*, National Research Council.
- NatureWorks, 2005. Ingeo Fiber, Fostering Creative Talent Today to Focus on Responsible Fashion for Tomorrow. Available at: <http://www.natureworkslc.com/News-and-Events/Press-Releases/2005/2-8-05-ITS-FOUR-Ingeo-Fiber> [Consulté le décembre 8, 2015].
- Nelson, R.R. & Winter, S.G., 1982. *An evolutionary theory of economic change* digitally reprinted., Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard Univ. Press.
- Nelson, R.R. & Winter, S.G., 1977. In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1), p.36-76.
- Nieddu, M., 2013. 3rd international conference on sustainability transitions (IST 2012) : navigating theories and challenging realities. Compte rendu du colloque. *Natures Sciences Sociétés*, 21(4), p.436-444.
- Nieddu, M., 1999. Biopolymères, une dynamique économique étouffée ? *Biofutur*, (193), p.22-26.

- Nieddu, M., 1998. « *Dynamiques de longue période dans l'agriculture productiviste et mutations du système agro-industriel français contemporain* », sous la dir. de P. Duharcourt. Reims: Université de Reims Champagne Ardenne.
- Nieddu, M., Vivien, F.-D., et al., 2014. Existe-t-il réellement un nouveau paradigme de la chimie verte ? *Natures Sciences Sociétés*, 22(2), p.103-113.
- Nieddu, M., 2007. Le patrimoine comme relation économique. *Economie Appliquée*, 60(3), p.87-104.
- Nieddu, M., 2000. Science et dynamiques économiques, le cas des biopolymères. *Sciences de la Société*, (49), p.87-104.
- Nieddu, M., 2008. Yuri Biondi, Arnaldo Canziani and Thierry Kirat (Dir.), *The firm as an Entity, Implications for economics, accounting and the law*, 2007, Routledge, London and New York, 374 p. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (3/4). Available at: <http://regulation.revues.org/4833> [Consulté le août 3, 2016].
- Nieddu, M. & Gaignette, A., 2000. Coopératives: la fin d'une forme institutionnelle? *Économie rurale*, 260(1), p.110-125.
- Nieddu, M., Garnier, E. & Bliard, C., 2010. L'émergence d'une chimie doublement verte. *Revue d'Economie Industrielle*, 4(132), p.53-84.
- Nieddu, M., Garnier, E. & Bliard, C., 2014. Patrimoines productifs collectifs versus exploration/exploitation: Le cas de la bioraffinerie. *Revue économique*, 65(6), p.957.
- Nieddu, M. & Vivien, F.-D., 2015. La chimie verte, une fausse rupture ? Les trajectoires de la transition écologique. *Revue Française de Socio-Économie*, (2), p.139-153.
- Nieddu, M. & Vivien, F.-D., 2012. La « chimie verte » : vers un ancrage sectoriel des questions de développement durable ? *Economie Appliquée, numéro spécial « Questions à Rio+20 »*, 3.
- Nieddu, M. & Vivien, F.-D., 2016. La bioéconomie : entre enjeux économiques et projets de société. *Biofutur*, (378), p.60-61.
- Niel, J.V., 2014. L'économie de fonctionnalité : principes, éléments de terminologie et proposition de typologie. *Développement durable et territoires*, (vol. 5, n°1). Available at: <http://developpementdurable.revues.org/10160> [Consulté le septembre 1, 2015].
- NIIR Project Consultancy Services & Board of Consultants & Engineers, 2007. *Phenolic resins technology handbook*, Delhi, India: NIIR Project Consultancy Services.
- nova-Institut, 2014. *Market study on Bio-based Polymers in the World. Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020*, nova-Institut.
- Octave, S. & Thomas, D., 2009. Biorefinery: Toward an industrial metabolism. *Biochimie*, 91(6), p.659-664.
- O'Donohue, M., 2014. Insight into BIOCORE's Results. In *Tomorros's Biorefineries in Europe*. Bruxelles.
- Oltra, V. & Saint Jean, M., 2009. Sectoral systems of environmental innovation: An application to the French automotive industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(4), p.567-583.
- Oltra, V. & Saint Jean, M., 2003. The dynamics of environmental innovations : three stylised trajectories of clean technologies. *Cahiers du GRES*, (2003-3), p.21.
- Oltra, V. & Saint-Jean, M., 2007. Incrementalism of environmental innovations versus paradigmatic change : a comparative study of the automotive and chemical industries. *Cahiers du GRES*, (2007-19), p.22.

- Organisation for Economic Co-operation and Development & OECD International Futures Programme éd., 2009. *The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development.
- Orléan, A., 2013. *L'empire de la valeur: refonder l'économie*, Paris: Éd. du Seuil.
- Orsenigo, L., 2001. The (failed) development of a biotechnology cluster: the case of lombardy. *Small Business Economics*, 17(1-2), p.77-92.
- Orsi, F., 2007. Recherche et innovation dans les sciences du vivant. *Revue d'Economie Industrielle [En ligne]*, (120). Available at: <https://rei.revues.org/2393#ftn1> [Consulté le avril 27, 2016].
- Pang, X. et al., 2010. Polylactic acid (PLA): Research, development and industrialization. *Biotechnology Journal*, 5(11), p.1125-1136.
- Parayil, G., 2003. Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization. *Research Policy*, 32(6), p.971-990.
- Patermann, H.C.C., 2012a. Europe on its way into a biobased economy: Perspectives for the biotechnologies. *New Biotechnology*, 29, p.S2-S3.
- Patermann, H.C.C., 2012b. Europe on its way into a biobased economy: Perspectives for the biotechnologies. *New Biotechnology*, 29, p.S2-S3.
- Penasse, L., 1981. Perspectives et contraintes de la bioindustrie. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.30-37.
- Peneder, M., 2010. Technological regimes and the variety of innovation behaviour: Creating integrated taxonomies of firms and sectors. *Research Policy*, 39(3), p.323-334.
- Pereira, C.S.M., Silva, V.M.T.M. & Rodrigues, A.E., 2011. Ethyl lactate as a solvent: Properties, applications and production processes – a review. *Green Chemistry*, 13(10), p.2658.
- Pestre, D., 2014. Du gouvernement du progrès technique et de ses effets. In D. Pestre, éd. *Le gouvernement des technosciences: gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*. Recherches. La Découverte, p. 7-30.
- Pestre, D., 1997. La production des savoirs entre académies et marché - Une relecture historique du livre : « The New Production of Knowledge », édité par M. Gibbons. *Revue d'économie industrielle*, 79(1), p.163-174.
- Pestre, D. éd., 2014. *Le gouvernement des technosciences: gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, Paris: La Découverte.
- Petit-Conil, M. & Tapin-Lingua, S., 2011. *Panneaux Verts - Développement de colles issues de ressources renouvelables et à faible impact sur la santé et l'environnement pour la fabrication des panneaux de particules et de fibres*, ADEME.
- Philp, J.C., Ritchie, R.J. & Allan, J.E.M., 2013a. Biobased chemicals: the convergence of green chemistry with industrial biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 31(4), p.219-222.
- Philp, J.C., Ritchie, R.J. & Allan, J.E.M., 2013b. Synthetic biology, the bioeconomy, and a societal quandary. *Trends in Biotechnology*, 31(5), p.269-272.
- Philp, J.C., Ritchie, R.J. & Guy, K., 2013. Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in Biotechnology*, 31(2), p.65-67.

- ten Pierick, E., van Mil, E.M. & Meeusen, M.J.G., 2010. Transition toward a biobased economy. In *The Biobased Economy : Biofuels, Materials and Chemicals in the Post-oil Era*. Earthscan, p. 18-32.
- Pierson, P., 2000. Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics. *The American Political Science Review*, 94(2), p.251.
- Piganiol, P., 1981. Biotechnologie et société. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.64-72.
- Pilato, L. éd., 2010. *Phenolic Resins: A Century of Progress*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-04714-5> [Consulté le février 17, 2015].
- Pileidis, F.D. & Titirici, M.-M., 2016. Levulinic Acid Biorefineries: New Challenges for Efficient Utilization of Biomass. *ChemSusChem*, 9(6), p.562-582.
- Pinon, J.-C. & Bernon, M., 1981. La bioindustrie aux Etats-Unis. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.349-355.
- Piore, M.J., 2006. Qualitative research: does it fit in economics? *European Management Review*, 3(1), p.17-23.
- Pipirigeanu, M. et al., 2014. Academic Entrepreneurship and Scientific Innovation in Context of Bio-economy Strategy. *Procedia Economics and Finance*, 8, p.556-562.
- Pizzi, A., 1982. Pine Tannin Adhesives for Particleboard. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 40, p.293-301.
- Pizzi, A., 2000. Tannery row - The story of some natural and synthetic wood adhesives. *Wood Science and Technology*, (34), p.277-316.
- Platt, B., 2011. What Makes a Sustainable Biomaterial? Criteria and Market-based Tools. Available at: [http://www.sustainablebiomaterials.org/documents/Platt\\_Bioplastics\\_LV\\_Feb3-2011.pdf](http://www.sustainablebiomaterials.org/documents/Platt_Bioplastics_LV_Feb3-2011.pdf) [Consulté le juillet 6, 2016].
- Poel, I. van de, 2003. The transformation of technological regimes. *Research Policy*, 32(1), p.49-68.
- Popp, D., Hafner, T. & Johnstone, N., 2011. Environmental policy vs. public pressure: Innovation and diffusion of alternative bleaching technologies in the pulp industry. *Research Policy*, 40(9), p.1253-1268.
- Popp, D., Hascic, I. & Medhi, N., 2011. Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics*, 33(4), p.648-662.
- Pursell, C.W., 1969. The Farm Chemurgic Council and the United States Department of Agriculture. *Isis*, 60(3), p.307-317.
- Putnam, S.W. & Graham, J.D., 1993. Keeping Pace with Science and Engineering. In National Research Council, éd. *Keeping Pace with Science and Engineering: Case Studies in Environmental Regulation*. Washington D.C.: The National Academies Press, p. 189-220.
- Quynh, T.M. et al., 2007. Properties of crosslinked polylactides (PLLA & PDLA) by radiation and its biodegradability. *European Polymer Journal*, 43(5), p.1779-1785.
- Rackemann, D.W. & Doherty, W.O., 2011. The conversion of lignocellulosics to levulinic acid. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(2), p.198-214.
- Raikes, P., Jensen, M.F. & Ponte, S., 2000. Global commodity chain analysis and the French filière approach: comparison and critique. *Economy and Society*, 29(3), p.390-417.

- Ramkumar, D.H.S. & Bhattacharya, M., 1998. Steady shear and dynamic properties of biodegradable polyesters. *Polymer Engineering & Science*, 38(9), p.1426-1435.
- Rasal, R.M., Janorkar, A.V. & Hirt, D.E., 2010. Poly(lactic acid) modifications. *Progress in Polymer Science*, 35(3), p.338-356.
- Raschka, A., Béfort, N. & Dommermuth, B., 2014. Techno-economic evaluation of BIOFOAMBARK. In *BiofoamBark Meeting*. Freiburg.
- Raven, R.P.J.M. & Geels, F.W., 2010. Socio-cognitive evolution in niche development: Comparative analysis of biogas development in Denmark and the Netherlands (1973–2004). *Technovation*, 30(2), p.87-99.
- Rayner, S. & Malone, E.L. éd., 1998. *Human choice and climate change*, Columbus, Ohio: Battelle Press.
- Rennings, K., Markewitz, P. & Vögele, S., 2013. How clean is clean? Incremental versus radical technological change in coal-fired power plants. *Journal of Evolutionary Economics*, 23(2), p.331-355.
- Reuss, G. et al., 2000. Formaldehyde. In Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, éd. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Available at: [http://doi.wiley.com/10.1002/14356007.a11\\_619](http://doi.wiley.com/10.1002/14356007.a11_619) [Consulté le mars 24, 2015].
- Revue d'Economie Industrielle, 1981. *Genèse et développement de la bioindustrie*,
- Rip, A. & Kemp, R., 1998. Technological Change. In S. Rayner & L. Malone, éd. *Human Choice and Climate Change*. Batelle Press, p. 327-399.
- Rittner, D. & Bailey, R.A., 2005. *Encyclopedia of chemistry*, New York, NY: Facts on File.
- Roberts, C., 1996. *The logic of historical explanation*, University Park, Pa: Pennsylvania State University Press.
- Rodrud, G. et al., 2012. Conversion of cellulose, hemicellulose, and lignin into platform molecules: biotechnological approach. In M. Aresta, A. Dibenedetto, & F. Dumeignil, éd. *Biorefinery: from Biomass to Chemicals and Fuels*. De Gruyter, p. 141-166.
- Salais, R., 1995. La pluralité des mondes possibles : des produits aux territoires. *Série de documents de travail du Groupement de Recherches « Institutions, Emploi et Politiques Economiques »*, (9601), p.30.
- Salais, R. & Storper, M., 1993. *Les mondes de production: enquête sur l'identité économique de la France*, Paris: Editions de l'Ecole des hautes études en sciences sociales.
- Salais, R. & Storper, M., 1992. The Four « Worlds » of Contemporary Industry. *Cambridge Journal of Economics*, p.169-193.
- Sanders, J. et al., 2007. Bio-Refinery as the Bio-Inspired Process to Bulk Chemicals. *Macromolecular Bioscience*, 7(2), p.105-117.
- Sawatdeenarunat, C. et al., 2016. Anaerobic biorefinery: Current status, challenges, and opportunities. *Bioresource Technology*, 215, p.304-313.
- SCAR & European Bioeconomy Panel, 2014. *Where Next for the European Bioeconomy?*, European Commission.
- Scarlat, N. et al., 2015. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 15, p.3-34.

- Schmidt, O., Padel, S. & Levidow, L., 2012. The Bio-Economy Concept and Knowledge Base in a Public Goods and Farmer Perspective. Available at: <https://doi.org/10.13128/BAE-10770> [Consulté le septembre 15, 2016].
- Schneider, A.K., 1955. Polymers of high melting lactide. Available at: <http://www.google.com/patents/US2703316> [Consulté le décembre 1, 2015].
- Schot, J. & Geels, F.W., 2008a. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 20(5), p.537-554.
- Schot, J. & Geels, F.W., 2008b. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 20(5), p.537-554.
- Schraufnagel, R.A. & Rase, H.F., 1975. Levulinic Acid from Sucrose Using Acidic Ion-Exchange Resins. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 14(1), p.40-44.
- Scott, W.R., 2014. *Institutions and organizations: ideas, interests, and identities* Fourth edition., Los Angeles: SAGE.
- Selmi, A. & Joly, P.-B., 2014. Les régimes de production des connaissances de la sélection animale. Ontologies, mesures, formes de régulation. *Sociologie du Travail*, 56(2), p.225-244.
- Semba, T. et al., 2006. The effect of crosslinking on the mechanical properties of polylactic acid/polycaprolactone blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 101(3), p.1816-1825.
- Sene, M.-L., 2008. *Etat des lieux sur l'utilisation du formaldéhyde en Aquitaine*, Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle (DRTEFP) d'Aquitaine.
- Sergent, A., 2013. *La politique forestière en mutation : une sociologie politique du rapport secteur - territoire*. Bordeaux: Université de Bordeaux 4.
- Sheppard, A.W. et al., 2011. Biosecurity as an integral part of the new bioeconomy: a path to a more sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(1-2), p.105-111.
- Sheth, M. et al., 1997. Biodegradable Polymer Blends of Poly(lactic acid) and Poly(ethylene glycol). *Journal of Applied Polymer Science*, 66(8), p.1495-1505.
- Shurtleff, W. & Aoyagi, A., 2011. *Henry Ford and his researchers: history of their work with soybeans, soyfoods and chemurgy (1928-2011) : extensively annotated bibliography and sourcebook*, Lafayette, CA: Soyinfo Center. Available at: <http://www.soyinfocenter.com/pdf/145/Ford.PDF> [Consulté le septembre 18, 2016].
- Shurtleff, W. & Aoyagi, A., 2015. *History of soybeans and soyfoods in Germany (1712-2015): extensively annotated bibliography and sourcebook*, Available at: <http://www.soyinfocenter.com/pdf/182/Germ.pdf> [Consulté le septembre 18, 2016].
- Siclet, G., 1981. Eléments d'une stratégie de développement des bioindustries. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.73-87.
- da Silva Perez, D., Tapin-Lingua, S. & Petit-Conil, M., 2010. Valorisation énergétique et (macro)moléculaire des lignines. In Pôle AXELERA - Ecosystème Bioressources - Atelier « Lignines ».
- Sin, L.T., Rahmat, A.R. & Rahman, W.A.W.A., 2012. *Polylactic acid*, Norwich, N.Y. : Oxford: William Andrew ; Elsevier Science [distributeur].

- Sinclair, R.G., 1993. Blends of polyactic acid. Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US5216050> [Consulté le septembre 10, 2015].
- Sinclair, R.G., 1996. The Case for Polylactic Acid as a Commodity Packaging Plastic. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 33(5), p.585-597.
- Sinclair, R.G. & Preston, J.R., 1990. Degradable thermoplastic from lactides. Available at: <http://www.google.com.ar/patents/WO1990001521A1> [Consulté le septembre 10, 2015].
- Sinha Ray, S. & Okamoto, M., 2003. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, 28(11), p.1539-1641.
- Sipek, K., 1981. À titre d'introduction - Genèse et développement de la bioindustrie : Considérations pour l'analyse économique. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.6-13.
- Sisto, R., van Vliet, M. & Prospero, M., 2015. Puzzling stakeholder views for long-term planning in the bio-economy: A back-casting application. *Futures*. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016328715000488> [Consulté le juin 30, 2015].
- Smith, A. & Jullien, B. éd., 2015. *The EU's government of industries: markets, institutions and politics*, Abingdon, Oxon ; New York, NY: Routledge.
- Smith, A. & Raven, R., 2012. What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. *Research Policy*, 41(6), p.1025-1036.
- Sørensen, K.H. & Williams, R. éd., 2002. *Shaping technology, guiding policy: concepts, spaces, and tools*, Cheltenham, UK ; Northampton, MA: Elgar.
- Stadler, T., 2014. Les enjeux de la bioraffinerie. In Montpellier.
- Staley Manufacturing Company, 1943. *Levulinic acid; a literature reference, compiled by Division of research development, A. E. Staley mfg. company.*, Available at: <http://catalog.hathitrust.org/Record/001764573> [Consulté le décembre 1, 2015].
- Staropoli, A. & De Kervasdoué, J., 1981. Biotechnologies et secteurs agro-alimentaires. Réflexion sur le rôle et la stratégie de l'État. *Revue d'économie industrielle*, 18(1), p.200-206.
- Steiner, P. & Vatin, F. éd., 2009. *Traité de sociologie économique* 1re éd., Paris: Presses universitaires de France.
- Sudesh, K. & Iwata, T., 2008. Sustainability of Biobased and Biodegradable Plastics. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 36(5-6), p.433-442.
- Szaky, T., 2015. Why Durable Bioplastics, Not Biodegradable, May Be the Answer. *Sustainable Brands*. Available at: [http://www.sustainablebrands.com/news\\_and\\_views/chemistry\\_materials/tom\\_szaky/why\\_durable\\_bioplastics\\_not\\_biodegradable\\_may\\_be\\_answer](http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/chemistry_materials/tom_szaky/why_durable_bioplastics_not_biodegradable_may_be_answer).
- Taib, R.M., Ghaleb, Z.A. & Mohd Ishak, Z.A., 2012. Thermal, mechanical, and morphological properties of polylactic acid toughened with an impact modifier. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(5), p.2715-2725.
- Tapin-Lingua, S., Bertaud, F. & Petit-Conil, M., 2010. Projet Panneaux Verts : Colles biosourcées pour la production de panneaux. In Pôle AXELERA - Ecosystème Bioressources - Atelier « Lignines ».
- Tapin-Lingua, S., Bertaud, F. & Petit-Conil, M., Projet Panneaux Verts : Colles biosourcées pour la production de panneaux.

- Taskila, S. & Ojamo, H., 2013. The Current Status and Future Expectations in Industrial Production of Lactic Acid by Lactic Acid Bacteria. In J. M. Kongo, éd. *Lactic Acid Bacteria - R & D for Food, Health and Livestock Purposes*. InTech. Available at: <http://www.intechopen.com/books/lactic-acid-bacteria-r-d-for-food-health-and-livestock-purposes/the-current-status-and-future-expectations-in-industrial-production-of-lactic-acid-by-lactic-acid-ba> [Consulté le août 5, 2015].
- Teece, D.J., 2010. Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, 43(2-3), p.172-194.
- Thakker, C. et al., 2012. Succinate production in Escherichia coli. *Biotechnology Journal*, 7(2), p.213-224.
- The White House, 2012. *The National Bioeconomy Blueprint*, The White House.
- Théret, B., 2000. Nouvelle économie institutionnelle, économie des conventions et théorie de la régulation : vers une synthèse institutionnaliste ? *La Lettre de la Régulation*, (35).
- Tirole, J., 1988. *The theory of industrial organization*, Cambridge, Mass: MIT Press.
- Tobiason, F.L., 1990. Phenolic Resin Adhesives. In *Handbook of Adhesives*. Springer, p. 316-340.
- Tohmé, F. & Crespo, R., 2013. Abduction in economics: a conceptual framework and its model. *Synthese*, 190(18), p.4215-4237.
- Tondi, G., 2009. *Développement de résines de polycondensation à base de tanins pour produits industriels écologiques et innovants - Mousses rigides et produits de préservation bois (sous la dir. de A. Pizzi)*. Nancy: Université Henry Poincaré Nancy I.
- Tondi, G. & Pizzi, A., 2009. Tannin-based rigid foams: Characterization and modification. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), p.356-363.
- Turton, R. éd., 2012. *Analysis, synthesis, and design of chemical processes* 4th ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Ughetto, P., 2008. De la régulation macroéconomique aux régulations sociales : une affaire d'identités. *Cahiers de recherche sociologique*, (45), p.59.
- US Department of Energy, 1998. *Plant/crop-based Renewable Resources 2020. A Vision to Enhance U.S. Economic Security Through Renewable Plant/Crop-Based Resource Use*, US Department of Energy.
- Van Laer, A., 2010. Vers une politique de recherche commune : du silence du Traité CEE au titre de l'Acte Unique. In C. Bouneau, D. Burigana, & A. Varsori, éd. *Trends in technological innovation and the European construction : the emerging of enduring dynamics ?*. P.I.E.-Peter Lang, p. 79-100.
- Van Montagu, M., 2010. Plant biotechnology as cornerstone for a knowledge-based bio-economy. *Journal of Biotechnology*, 150, p.109-109.
- Van Niel, J., Nieddu, M. & Béfot, N., 2014. Les représentations de l'économie circulaire en chimie doublement verte : une variété de modèles. In ASRDLF 2014 : Métropolisation, cohésion et performances : quels futurs pour nos territoires ? Marne-la-Vallée, p. 18.
- Vandeputte, J., 2012. Le glycérol, « building blocks » majeur de la bioraffinerie oléagineuse. *Oléagineux corps gras lipides*, (1), p.16-21.
- Vandeputte, J., 2016. Pôle de compétitivité IAR. In Assemblée Générale d'Adebiotech. Romainville.

- Vanloqueren, G. & Baret, P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 38(6), p.971-983.
- Vink, E.T.H. et al., 2003. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. *Polymer Degradation and Stability*, 80(3), p.403-419.
- Vink, E.T.H. et al., 2007. ORIGINAL RESEARCH: The eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production. *Industrial Biotechnology*, 3(1), p.58-81.
- Vink, E.T.H. et al., 2004. The Sustainability of NatureWorks™ Polylactide Polymers and Ingeo™ Polylactide Fibers: an Update of the Future. *Macromolecular Bioscience*, 4(6), p.551-564.
- Vink, E.T.H., Davies, S. & Kolstad, J.J., 2010. ORIGINAL RESEARCH: The eco-profile for current Ingeo® polylactide production. *Industrial Biotechnology*, 6(4), p.212-224.
- Vivien, F.-D., 1999. From agrarianism to entropy: Georgescu-Roegen's bioeconomics from a Malthusian viewpoint. In K. Mayumi & J. M. Gowdy, éd. *Bioeconomics and Sustainability: Essays in Honour of Nicholas Georgescu-Roegen*. Edward Elgar, p. 155-172.
- Wagner, M. & Llerena, P., 2011. Eco-Innovation Through Integration, Regulation and Cooperation: Comparative Insights from Case Studies in Three Manufacturing Sectors. *Industry & Innovation*, 18(8), p.747-764.
- Wagner, R.A. et al., 2015. Resin composition for the manufacture high gloss laminated panels.
- Walsh, W.H., 1984. *An introduction to philosophy of history*, Greenwood Press.
- Weinstein, O., 2007. The current state of the economic theory of the firm: contractual, competence-based, and beyond. In Y. Biondi, A. Canziani, & T. Kirat, éd. *The Firm as an Entity. Implications for economics, accounting and the law*. Routledge, p. 21-53.
- Werpy, T., Frye, J. & Holladay, J., 2006. Succinic Acid - A Model Building Block for Chemical Production from Renewable Resources. In B. Kamm, P. R. Gruber, & M. Kamm, éd. *Biorefineries - Industrial Processes and Products*. p. 367-379.
- Werpy, T. & Petersen, G., 2004. *Top Value Added Chemicals from Biomass*, US Department of Energy.
- White, H.C., 2008. *Identity and control: how social formations emerge* 2nd ed., Princeton: Princeton University Press.
- White, H.C., Godart, F.C. & Corona, V.P., 2008. Produire en contexte d'incertitude. La construction des identités et des liens sociaux dans les marchés. *Sciences de la Société*, (73), p.17-40.
- Wilber, C.K. & Harrison, R.S., 1978. The Methodological Basis of Institutional Economics: Pattern Model, Storytelling, and Holism. *Journal of Economic Issues*, 12(1), p.61-89.
- Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA éd., 2000. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/14356007> [Consulté le mars 24, 2015].
- Wilson, G.A. & Burton, R.J.F., 2015. 'Neo-productivist' agriculture: Spatio-temporal versus structuralist perspectives. *Journal of Rural Studies*, 38, p.52-64.

- Winter, H. & Laborie, M.-P., 2014. Biofoambark - Bark Valorization into Insulation Foams and Bioenergy. In Final Seminar of the Joint Call on sustainable forest management and optimised used of lignocellulosic resources. Hannovre.
- Winter, S.G., 1984. Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 5(3-4), p.287-320.
- Wu, C.-S. & Liao, H.-T., 2005. A new biodegradable blends prepared from polylactide and hyaluronic acid. *Polymer*, 46(23), p.10017-10026.
- Yan, Z., Lin, L. & Liu, S., 2009. Synthesis of  $\gamma$ -Valerolactone by Hydrogenation of Biomass-derived Levulinic Acid over Ru/C Catalyst. *Energy & Fuels*, 23(8), p.3853-3858.
- Yang, J., Tan, J.-N. & Gu, Y., 2012. Lactic acid as an invaluable bio-based solvent for organic reactions. *Green Chemistry*, 14(12), p.3304.
- Yin, R.K., 2014. *Case study research: design and methods* Fifth edition., Los Angeles: SAGE.
- Zanini, C. et al., 2012. Evaluation of two commercial and three home-made fixatives for the substitution of formalin: a formaldehyde-free laboratory is possible. *Environmental Health*, 11(1), p.59.
- Zeza, A. & Llambí, L., 2002. Meso-Economic Filters Along the Policy Chain: Understanding the Links Between Policy Reforms and Rural Poverty in Latin America. *World Development*, 30(11), p.1865-1884.

## Webographie spécifique au chapitre 7

Anon, Bayer MaterialScience Names BioAmber As Its Supplier For New Product Line - Bio-succinic acid forms backbone of innovative new bio-based polyurethanes for textiles - Apr 24, 2015. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2015-04-24-Bayer-MaterialScience-Names-BioAmber-As-Its-Supplier-For-New-Product-Line-Bio-succinic-acid-forms-backbone-of-innovative-new-bio-based-polyurethanes-for-textiles> [Consulté le novembre 2, 2015a].

Anon, BioAmber and CELEXION Announce Exclusive Licensing Partnership - Mar 15, 2011. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2011-03-15-BioAmber-and-CELEXION-Announce-Exclusive-Licensing-Partnership> [Consulté le octobre 31, 2015b].

Anon, Bioamber and DuPont Applied BioSciences Announce Licensing Agreement on Derivatives of Biobased Succinic Acid - Jul 8, 2010. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2010-07-08-Bioamber-and-DuPont-Applied-BioSciences-Announce-Licensing-Agreement-on-Derivatives-of-Biobased-Succinic-Acid> [Consulté le octobre 30, 2015c].

Anon, Bioamber and DuPont Applied BioSciences Announce Licensing Agreement on Derivatives of Biobased Succinic Acid - Jul 8, 2010. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2010-07-08-Bioamber-and-DuPont-Applied-BioSciences-Announce-Licensing-Agreement-on-Derivatives-of-Biobased-Succinic-Acid> [Consulté le octobre 30, 2015d].

Anon, BioAmber and IMCD Sign European Distribution Agreement for Resins & Coatings - Jun 12, 2013. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2013-06-12-BioAmber-and-IMCD-Sign-European-Distribution-Agreement-for-Resins-amp-Coatings> [Consulté le octobre 31, 2015e].

Anon, BioAmber and Mitsui & Co. to Build and Operate Plants Producing Succinic Acid and BDO | BioAmber. Available at: <http://www.bio-amber.com/bioamber/en/news/2011/bioamber-and-mitsui-co-to-build-and-operate-plants-producing-succinic-acid-and-bdo/490> [Consulté le novembre 2, 2015f].

Anon, Bioamber and Sinoven Partner for Biobased Succinic Acid - Dec 1, 2009. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2009-12-01-Bioamber-and-Sinoven-Partner-for-Biobased-Succinic-Acid> [Consulté le octobre 30, 2015g].

Anon, BioAmber Announces Biobased Succinic Acid Plant in Ontario, Canada - Aug 29, 2011. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2011-08-29-BioAmber-Announces-Biobased-Succinic-Acid-Plant-in-Ontario-Canada> [Consulté le octobre 31, 2015h].

Anon, Bioamber announces world's first bio-based succinic acid plant: helping to reduce dependence on fossil fuels - Dec 16, 2008. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2008-12-16-Bioamber-announces-world-apos-s-first-bio-based-succinic-acid-plant-helping-to-reduce-dependence-on-fossil-fuels> [Consulté le octobre 30, 2015i].

Anon, BioAmber Closes \$25 million Loan from Hercules - Jul 18, 2013. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2013-07-18-BioAmber-Closes-25-million-Loan-from-Hercules> [Consulté le octobre 31, 2015j].

Anon, BioAmber Closes \$30 Million Financing with LANXESS and Existing Investors - Feb 22, 2012. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2012-02-22-BioAmber-Closes-30-Million-Financing-with-LANXESS-and-Existing-Investors> [Consulté le octobre 31, 2015k].

Anon, Bioamber collabore avec Cargill - Info Chimie. Available at: <http://www.industrie.com/chimie/bioamber-collabore-avec-cargill,38876> [Consulté le octobre 30, 2015l].

Anon, BioAmber Commissions World's First Renewable Succinic Acid Plant - Jan 20, 2010. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2010-01-20-Bioamber-Commissions-World-apos-s-First-Renewable-Succinic-Acid-Plant> [Consulté le octobre 30, 2015m].

Anon, BioAmber Inc. Announces Admission to NYSE Euronext Paris - Jun 10, 2013. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2013-06-10-BioAmber-Inc-Announces-Admission-to-NYSE-Euronext-Paris> [Consulté le octobre 31, 2015n].

Anon, BioAmber Inc. announces pricing of \$33.6 million registered offering - Jul 16, 2014. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2014-07-16-BioAmber-Inc-announces-pricing-of-33-6-million-registered-offering> [Consulté le novembre 2, 2015o].

Anon, BioAmber Inc. - Press Releases. Available at: <http://investor.bio-amber.com/index.php?s=43&item=11> [Consulté le octobre 31, 2015p].

Anon, BioAmber Makes Final Yeast Milestone Payment to Cargill - Oct 1, 2013. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2013-10-01-BioAmber-Makes-Final-Yeast-Milestone-Payment-to-Cargill> [Consulté le octobre 31, 2015q].

Anon, BioAmber Partners with Mitsubishi Chemical in Succinic Acid - Apr 26, 2011. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2011-04-26-BioAmber-Partners-with-Mitsubishi-Chemical-in-Succinic-Acid> [Consulté le octobre 31, 2015r].

Anon, BioAmber Partners with PTTMCC Biochem for PBS production in Thailand - Sep 14, 2011. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2011-09-14-BioAmber-Partners-with-PTTMCC-Biochem-for-PBS-production-in-Thailand> [Consulté le octobre 31, 2015s].

Anon, BioAmber Produces Bio-based 1,4-Butanediol (1,4-BDO). Available at: <http://www.prnewswire.com/news-releases/bioamber-produces-bio-based-14-butanediol-14-bdo-144343495.html> [Consulté le octobre 30, 2015t].

Anon, BioAmber Produces Bio-based 1,4-Butanediol (1,4-BDO) -- MINNEAPOLIS, MN, March 27, 2012. Available at: <http://www.prnewswire.com/news-releases/bioamber-produces-bio-based-14-butanediol-14-bdo-144343495.html> [Consulté le octobre 30, 2015u].

Anon, BioAmber Sarnia Secures \$10 Million Interest Free Loan From Agriculture Canada - Feb 19, 2014. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2014-02-19-BioAmber-Sarnia-Secures-10-Million-Interest-Free-Loan-From-Agriculture-Canada> [Consulté le novembre 2, 2015v].

Anon, BioAmber Secures \$7 Million Grant From SDTC - Jul 2, 2014. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2014-07-02-BioAmber-Secures-7-Million-Grant-From-SDTC> [Consulté le novembre 2, 2015w].

Anon, BioAmber Secures Best-In-Class Technology for Planned BDO/THF Plants - Apr 8, 2015. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2015-04-08-BioAmber-Secures-Best-In-Class-Technology-for-Planned-BDO-THF-Plants> [Consulté le novembre 2, 2015x].

Anon, BioAmber Secures CAD\$20 Million Loan for Sarnia Plant - Jun 23, 2014. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2014-06-23-BioAmber-Secures-CAD-20-Million-Loan-for-Sarnia-Plant> [Consulté le novembre 2, 2015y].

Anon, BioAmber Signs BDO Take-or-Pay Contract for Planned 100,000 Ton Plant - Jan 22, 2014. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2014-01-22-BioAmber-Signs-BDO-Take-or-Pay-Contract-for-Planned-100-000-Ton-Plant> [Consulté le novembre 2, 2015z].

Anon, BioAmber Signs Its First Succinic Acid Take-or-Pay Contract - May 1, 2014. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2014-05-01-BioAmber-Signs-Its-First-Succinic-Acid-Take-or-Pay-Contract> [Consulté le novembre 2, 2015aa].

Anon, Bioplastics JV AmberWorks to sell resins at \$2-2.50/lb. Available at: <http://www.icis.com/resources/news/2012/02/16/9533080/bioplastics-jv-amberworks-to-sell-resins-at-2-2-50-lb/> [Consulté le octobre 31, 2015ab].

Anon, Building blocks/Intermédiaires : Roquette clôture le programme BioHub avec succès - Info Chimie. Available at: <http://www.industrie.com/chimie/building-blocks-intermediaires-roquette-cloture-le-programme-biohub-avec-succes,66890> [Consulté le novembre 13, 2015ac].

Anon, Chimie du végétal: fin du programme BioHub. *La France Agricole*. Available at: <http://www.lafranceagricole.fr/actualite-agricole/chimie-du-vegetal-fin-du-programme-biohub-109617.html> [Consulté le novembre 13, 2015ad].

Anon, DaniMer Releases Biobased Label Adhesive for PET Industry. *MHG Bio | The Biopolymer Company*. Available at: <http://www.mhgbio.com/danimer-scientific-announces-release-breakthrough-biobased-label-adhesive-pet-industry-leveraging-renewable-chemicals-dupont-tatyle-myriant/> [Consulté le novembre 5, 2015ae].

Anon, DNP Green Technology Acquires 100% of Bioamber JV, Changes Name to BioAmber Inc. - Nov 16, 2010. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2010-11-16-DNP-Green-Technology-Acquires-100-of-Bioamber-JV-Changes-Name-to-BioAmber-Inc> [Consulté le octobre 30, 2015af].

Anon, DNP Green Technology Acquires Sinoven Biopolymers - Feb 4, 2010. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2010-02-04-DNP-Green-Technology-Acquires-Sinoven-Biopolymers> [Consulté le octobre 30, 2015ag].

Anon, DNP Green Technology and GreenField Ethanol are Partnering to build a Biobased Succinic Acid De-icer Plant - Mar 25, 2010. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2010-03-25-DNP-Green-Technology-and-GreenField-Ethanol-are-Partnering-to-build-a-Biobased-Succinic-Acid-De-icer-Plant> [Consulté le octobre 30, 2015ah].

Anon, DNP Green Technology Raises US \$12 Million - Oct 26, 2009. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2009-10-26-DNP-Green-Technology-Raises-US-12-Million> [Consulté le octobre 30, 2015ai].

Anon, DSM and ROQUETTE Jointly Develop Bio-based Intermediate for 'Green' Performance Materials - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/dsm-and-roquette-jointly-develop-bio-based-intermediate-for-green-performance-materials/> [Consulté le novembre 3, 2015aj].

Anon, DSM and Roquette to Start Bio-based Succinic Acid Joint Venture - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/dsm-and-roquette-to-start-bio-based-succinic-acid-joint-venture/> [Consulté le novembre 3, 2015ak].

Anon, DSM approves BDO made using Genomatica's process for use in Arnitel products | Genomatica. Available at: <http://www.genomatica.com/news/press-releases/dsm-approves-bdo-made-using-genomaticas-process-for-use-in-arnitel-products/> [Consulté le novembre 17, 2015al].

Anon, DSM (PBT) | Genomatica. Available at: <http://www.genomatica.com/partners/dsm-pbt/> [Consulté le novembre 17, 2015am].

Anon, Evonik and BioAmber Partner on Catalysts for Sustainable Chemicals Made from Bio-Based Succinic Acid - Evonik Industries - Specialty Chemicals. Available at: <http://corporate.evonik.com/en/media/search/pages/news-details.aspx?newsid=28779> [Consulté le novembre 2, 2015an].

Anon, Evonik and BioAmber Partner on Catalysts for Sustainable Chemicals Made from Bio-Based Succinic Acid - Jul 24, 2012. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2012-07-24-Evonik-and-BioAmber-Partner-on-Catalysts-for-Sustainable-Chemicals-Made-from-Bio-Based-Succinic-Acid> [Consulté le octobre 31, 2015ao].

Anon, JV partners tout packaging potential of bio-based succinic acid. *FoodProductionDaily.com*. Available at: <http://www.foodproductiondaily.com/Packaging/JV-partners-tout-packaging-potential-of-bio-based-succinic-acid> [Consulté le novembre 3, 2015ap].

Anon, Metabolic Explorer Entreprise de chimie biologique. Available at: <http://www.metabolic-explorer.com/contenu.php?rub=news&id=4899> [Consulté le novembre 13, 2015aq].

Anon, Myriant and Azelis Sign European Distribution Agreement for Bio-Succinic Acid. Available at: <http://www.azelis.com/fr/marches/chemical-industries/actualites-evenements/actualites/presse/myriant-and-azelis-sign-european-distribution-agreement-for-bio-succinic-acid-305/> [Consulté le novembre 5, 2015ar].

Anon, Myriant and Bayegan Group Partner to Commercialize Renewable Chemicals. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-and-bayegan-group-partner-to-commercialize-renewable-chemicals.cfm> [Consulté le novembre 5, 2015as].

Anon, Myriant and Sojitz Form Partnership for Green Chemicals. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-and-sojitz-form-partnership-for-green-chemicals.cfm> [Consulté le novembre 9, 2015at].

Anon, Myriant: Biofuels Digest's 2014 5-Minute Guide: Biofuels Digest. Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/03/10/myriant-biofuels-digests-2014-5-minute-guide/> [Consulté le novembre 19, 2015au].

Anon, Myriant Corporation and Johnson Matthey - Davy Technologies Produce Market Grade, Bio-Based Butanediol with Superior Carbon Efficiency and Reduced Carbon Footprint at a Competitive Cost Level. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-corporation-johnson-matthey-davy-technologies-produce-bio-based-butanediol-at-competitive-cost-level.cfm> [Consulté le novembre 5, 2015av].

Anon, Myriant Produces Bio-Succinic Acid at Commercial Scale, ThyssenKrupp Uhde Readies to Provide Process and Performance Guaranty. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-produces-at-commercial-scale-thyssenkrupp-uhde-readies-to-provide-guaranty.cfm> [Consulté le novembre 5, 2015aw].

Anon, Myriant Produces Bio-Succinic Acid at Commercial Scale, ThyssenKrupp Uhde Readies to Provide Process and Performance Guaranty. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-produces-at-commercial-scale-thyssenkrupp-uhde-readies-to-provide-guaranty.cfm> [Consulté le novembre 5, 2015ax].

Anon, Myriant starts up commercial-scale biobased succinic acid plant | Biomassmagazine.com. Available at: <http://biomassmagazine.com/articles/9091/myriant-starts-up-commercial-scale-biobased-succinic-acid-plant> [Consulté le novembre 5, 2015ay].

Anon, Myriant Technologies LLC Announces Commercial Milestone for Its Renewable Succinic Acid. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-technologies-llc-announces-commercial-milestone-for-renewable-succinic-acid.cfm> [Consulté le novembre 6, 2015az].

Anon, Myriant Technologies LLC Announces US\$60 Million Strategic Equity Investment From PTT Chemical Group. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/myriant-announces-60-million-strategic-equity-investment-from-ptt-chemical-group.cfm> [Consulté le novembre 5, 2015ba].

Anon, Myriant's debt deal: A light at the end of a long, bio-based tunnel : Biofuels Digest. Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2012/06/18/myriants-debt-deal-a-light-at-the-end-of-a-long-bio-based-tunnel/> [Consulté le novembre 5, 2015bb].

Anon, NatureWorks and BioAmber Form Joint Venture to Commercialize New Bio-based Polymers - Feb 16, 2012. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2012-02-16-NatureWorks-and-BioAmber-Form-Joint-Venture-to-Commercialize-New-Bio-based-Polymers> [Consulté le octobre 31, 2015bc].

Anon, NatureWorks and BioAmber Form Joint Venture to Commercialize New Bio-based Polymers - Feb 16, 2012. Available at: <http://investor.bio-amber.com/2012-02-16-NatureWorks-and-BioAmber-Form-Joint-Venture-to-Commercialize-New-Bio-based-Polymers> [Consulté le octobre 31, 2015bd].

Anon, NatureWorks and BioAmber Form Joint Venture to Commercialize New Bio-based Polymers. Two industry-leading companies join forces to expand the range of low carbon-footprint, high-performance, bio-based polymers. | BioAmber. Available at: <http://www.bio-amber.com/bioamber/en/news/article?id=507> [Consulté le octobre 31, 2015be].

Anon, New Reverdia patents strengthen biosuccinium licensing | PlasticsToday.com. Available at: <http://www.plasticstoday.com/articles/New-Reverdia-patents-strengthen-biosuccinium-licensing-150213> [Consulté le novembre 2, 2015bf].

Anon, New Reverdia patents strengthen biosuccinium licensing | PlasticsToday.com. Available at: <http://www.plasticstoday.com/articles/New-Reverdia-patents-strengthen-biosuccinium-licensing-150213> [Consulté le novembre 2, 2015bg].

Anon, Piedmont Chemical Launches 100 Percent Renewable Polyester Polyols Leveraging Renewable Chemicals from DuPont Tate & Lyle Bio Products and Myriant Corporation. Available at: <http://www.myriant.com/media/press-releases/piedmont-chemical-launches-renewablepolyols-leveraging-renewable-chemicals-from-dupont-and-myriant.cfm> [Consulté le novembre 5, 2015bh].

Anon, Piedmont Chemical Launches 100 Percent Renewable Polyester Polyols Leveraging Renewable Chemicals from DuPont Tate & Lyle Bio Products and Myriant Corporation. *PRWeb*. Available at: <http://www.prweb.com/releases/2012/12/prweb10193537.htm> [Consulté le novembre 20, 2015bi].

Anon, Provichem® 2511 Eco Di-Methyl-Succinate Offers Unique Features for More Sustainable Applications - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/provichem-2511-eco-di-methyl-succinate-offers-unique-features-for-more-sustainable-applications/> [Consulté le novembre 3, 2015bj].

Anon, Reverdia Adds Licensing To Biosuccinium™ Portfolio. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/reverdia-adds-licensing-biosuccinium-portfolio/> [Consulté le novembre 3, 2015bk].

Anon, Reverdia and Helm Partner for Biosuccinium™ Distribution and Market Development in Europe - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/reverdia-and-helm-partner-for-biosuccinium-distribution-and-market-development-in-europe/>

helm-partner-for-biosuccinium-distribution-and-market-development-in-europe/ [Consulté le novembre 3, 2015bl].

Anon, Reverdia Joint Venture Launched - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/reverdia-joint-venture-launched/> [Consulté le novembre 3, 2015bm].

Anon, Reverdia Lead Partner In BioSucInnovate Consortium - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/reverdia-lead-partner-in-biosuccinnovate-consortium/> [Consulté le novembre 3, 2015bn].

Anon, Reverdia shows 100% bio-based succinic acid at the American Coatings Show - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/reverdia-shows-100-bio-based-succinic-acid-american-coatings-show/> [Consulté le novembre 3, 2015bo].

Anon, Reverdia with DuPont Tate & Lyle BioProducts Win Best Presentation Award at 2012 Polyurethanes Technical Conference - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at: <http://www.reverdia.com/press-releases/reverdia-with-dupont-tate-lyle-bioproducts-win-best-presentation-award-at-2012-polyurethanes-technical-conference/> [Consulté le novembre 3, 2015bp].

Anon, Reverdia-biorefinery-process-600x279.png (Image PNG, 600 × 279 pixels). Available at: <http://www.reverdia.com/wp-content/uploads/Reverdia-biorefinery-process-600x279.png> [Consulté le novembre 3, 2015bq].

Anon, SDK to Start Producing Bio-based Biodegradable Plastic | News Releases | SHOWA DENKO K.K. Available at: <http://www.sdk.co.jp/english/news/12822/12968.html> [Consulté le novembre 5, 2015br].

Anon, Showa Denko Chooses Myriant to Supply Succinic Acid for PBS Efforts | Chemical Post. Available at: <http://chemicalpost.com/archive/showa-denko-chooses-myriant-supply%C2%A0succinic-acid-pbs-efforts> [Consulté le novembre 9, 2015bs].

Anon, Succinity reaches key milestone with production of first commercial quantities of biobased succinic acid | PlasticsToday.com. Available at: <http://www.plasticstoday.com/articles/succinity-reaches-key-milestone-production-first-commercial-quantities-biobased-succinic-ac> [Consulté le novembre 3, 2015bt].

Anon, Succinity Starts Up Biobased Succinic Acid Plant in Spain. *Chemical Processing*. Available at: <http://www.chemicalprocessing.com/industrynews/2014/succinity-starts-up-biobased-succinic-acid-plant-in-spain/> [Consulté le novembre 3, 2015bu].

Anon, Toute l'information sur l'Emballage. Available at: <http://www.emballagedigest.fr/blog.php?2006/12/08/4463-les-plastiques-verts-pour-lemballage-roquette-arlema-tergal-fibres-sidel-engages-dans-le-programme-biohub> [Consulté le novembre 13, 2015bv].

Anon, UPC, Myriant and Sojitz Jointly Develop Bio-succinic Acid Based Plasticizers. Available at: [http://www.myriant.com/media/press-releases/UPC\\_Myriant\\_and\\_Sojitz\\_Jointly\\_Develop\\_Bio-succinic.cfm](http://www.myriant.com/media/press-releases/UPC_Myriant_and_Sojitz_Jointly_Develop_Bio-succinic.cfm) [Consulté le novembre 5, 2015bw].

Anon, Yeast-based Route to Succinic Acid is Best - Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™. *Reverdia - Enabling Sustainable Products with Biosuccinium™*. Available at:

<http://www.reverdia.com/press-releases/yeast-based-route-to-succinic-acid-is-best/> [Consulté le novembre 3, 2015bx].

Corpart, J.-M., 2015. Quelques développements dans le domaine de la chimie du végétal. In *Une chimie encore plus verte ?* Paris, France.

DSM, 2013. Achieving High Bio-based Content in DSM Arnitel Copolyesters. Available at: [https://www.dsm.com/content/dam/dsm/arnitel/en\\_US/documents/DSM-Paper-Bio-BDO.pdf](https://www.dsm.com/content/dam/dsm/arnitel/en_US/documents/DSM-Paper-Bio-BDO.pdf) [Consulté le novembre 17, 2015].

Flèche, G. & Huchette, M., 1986. Isosorbide. Preparation, Properties and Chemistry. *Starch - Stärke*, 38(1), p.26-30.

Fréel, A., BASF et CSM s'associent dans l'acide succinique. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/basf-et-csm-sassocient-dans-lacide-succinique/> [Consulté le novembre 3, 2015].

Guzman, D. de, BioAmber Interview at NYSE. *Green Chemicals Blog*. Available at: <http://greenchemicalsblog.com/2013/08/01/7972/> [Consulté le novembre 3, 2015a].

Guzman, D. de, Evonik, BioAmber in bio-BDO catalysts | ICIS Green Chemicals. Available at: <http://www.icis.com/blogs/green-chemicals/2012/08/evonik-bioamber-in-bio-bdo-cat/> [Consulté le novembre 2, 2015b].

Guzman, D. de, Succinity starts biobased succinic acid plant. *Green Chemicals Blog*. Available at: <http://greenchemicalsblog.com/2014/03/03/succinity-starts-biobased-succinic-acid-plant/> [Consulté le novembre 3, 2015c].

Guzman, D. de, To Succinity and Beyond! *Green Chemicals Blog*. Available at: <http://greenchemicalsblog.com/2012/10/05/to-succinity-and-beyond/> [Consulté le octobre 31, 2015d].

Guzman, D. de, To Succinity and Beyond! *Green Chemicals Blog*. Available at: <http://greenchemicalsblog.com/2012/10/05/to-succinity-and-beyond/> [Consulté le novembre 3, 2015e].

Jeannet, J.-P. & Schreuder, H., 2015. *From coal to biotech: the transformation of DSM with business school support*, Berlin: Springer.

Latieule, S., Acide biosuccinique : Azelis signe avec Myriant. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/acide-biosuccinique-azelis-signes-avec-myriant/> [Consulté le novembre 3, 2015a].

Latieule, S., Acide bio-succinique : Oxea, nouveau client de Myriant. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/acide-bio-succinique-oxea-nouveau-client-de-myriant/> [Consulté le novembre 3, 2015b].

Latieule, S., Acide succinique : Myriant démarre en Louisiane. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/acide-succinique-myriant-demarre-en-louisiane/> [Consulté le novembre 3, 2015c].

Latieule, S., Covestro est prêt à commercialiser des TPU partiellement biosourcés. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/covestro-est-pret-a-commercialiser-des-tpu-partiellement-biosources/> [Consulté le novembre 2, 2015d].

Latieule, S., Du DMS biosourcé pour des applications plus durables. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/du-dms-biosource-pour-des-applications-plus-durables/> [Consulté le novembre 2, 2015e].

Latieule, S., Helm distribuera le Biosuccinium de Reverdia. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/helm-distribuera-le-biosuccinium-de-reverdia/> [Consulté le novembre 2, 2015f].

Latieule, S., Myriant déploie ses ventes d'acide biosuccinique en Europe. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/myriant-deploie-ses-ventes-dacide-biosuccinique-en-europe/> [Consulté le novembre 3, 2015g].

Latieule, S., Myriant et Bayegan s'allient dans l'acide biosuccinique. *Formule Verte*. Available at: <http://formule-verte.com/myriant-et-bayegan-sallient-dans-lacide-biosuccinique/> [Consulté le novembre 3, 2015h].

## Bibliographie des brevets spécifiques au chapitre 7

- Anon, Lignocellulose degradation. Available at: <http://www.google.com/patents/WO1989010362A1> [Consulté le novembre 24, 2015a].
- Anon, Lignocellulose degradation to furfural and levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US4897497> [Consulté le novembre 24, 2015b].
- Anon, Production of levulinic acid from carbohydrate-containing materials. Available at: <http://www.google.com/patents/WO1996040609A1> [Consulté le novembre 24, 2015c].
- Anon, Succinic acid production in a eukaryotic cell. Available at: <http://www.google.com/patents/EP2220232B1> [Consulté le novembre 16, 2015d].
- Beishuizen, M. et al., 2012. A method for the production of a compound of interest. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2012001169A1> [Consulté le novembre 16, 2015].
- Berglund, K.A., Yedur, S. & Dunuwila, D.D., 2008. Succinic acid production and purification. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2301177C> [Consulté le décembre 17, 2015].
- Bernier, R.L. et al., 2013. Processes for purification of succinic acid via distillation. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20130150621> [Consulté le décembre 17, 2015].
- Bernier, R.L. et al., 2014. Processes for purification of succinic acid via distillation or sublimation. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2013088239A3> [Consulté le décembre 17, 2015].
- Bertsch, J.A. & Krause, A.H., 1934. Purification of succinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/US1945175> [Consulté le novembre 17, 2015].
- Bhagat, R.D. et al., 2012. Catalytic dehydration of lactic acid and lactic acid esters. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2012033845A2> [Consulté le novembre 20, 2015].
- Bovenberg, R.A.L. et al., 2012. Vector-host system. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2012123429A1> [Consulté le novembre 16, 2015].
- Brinker, E.-M. & Schmidt, K., 2006a. Method of preparing a baked or fried product from leavened dough. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2591672A1> [Consulté le novembre 23, 2015].
- Brinker, E.-M. & Schmidt, K., 2006b. Method of preparing a baked or fried product from leavened dough. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2006065134A1> [Consulté le novembre 23, 2015].
- Brinker, E.-M. & Schmidt, K., 2009. Method of preparing a baked or fried product from leavened dough. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20090098269> [Consulté le novembre 23, 2015].
- Brinker, E.-M. & Schmidt, K., 2011. Method of preparing a baked or fried product from leavened dough. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP1827115B1> [Consulté le novembre 23, 2015].
- Broecker, F.J. & Schwarzmam, M., 1977. Manufacture of butanediol and/or tetrahydrofuran from maleic and/or succinic anhydride via  $\gamma$ -butyrolactone. Available at: <http://www.google.fr/patents/US4048196> [Consulté le novembre 23, 2015].
- Bruchmann, B. et al., 2012. Polyetherester polyols. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2012062683A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Caboche, J.-J. et al., 2001. Process for the separation and purification of lactic acid from a fermentation medium. Available at: <http://www.google.co.uk/patents/US6280985> [Consulté le novembre 16, 2015].

Dole, S. et al., 2012. Method of producing succinic acid and other chemicals using sucrose-containing feedstock. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2012082720A3> [Consulté le novembre 20, 2015].

Dole, S. & Yocum, R.R., 2012. Organic acid production in microorganisms by combined reductive and oxidative tricarboxylic acid cycle pathways. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20120225461> [Consulté le novembre 20, 2015].

Dondeyne, M. et al., 2000. Composition and method for the production of planar structures, especially structures made of paper or cardboard. Available at: <http://www.google.co.uk/patents/WO2000075425A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Dondeyne, M. & Petit, J.-Y., 1999. Process for the manufacture of paper. Available at: <http://www.google.co.uk/patents/US5891305> [Consulté le novembre 16, 2015].

Dreux, J.-L., Fuertes, P. & Lambin, A., 1996. Adhesive composition for paper and method therefor. Available at: <http://www.google.co.uk/patents/WO1996035840A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

DULK, D.B., Hans, M. & Wu, L., 2012. Process to increase the production of a succinyl-coa derived compound. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2012089613A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Dunlop, A.P. & Wells, J.P.A., 1957. Process for producing levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US2813900> [Consulté le décembre 1, 2015].

Dunuwila, D. & Bernier, R.L., 2011. Deicing and heat transfer fluid compositions. Available at: <http://www.google.fr/patents/US7938981> [Consulté le décembre 17, 2015].

Eipper, A. et al., 2007. Impact-Modified Polyesters with Hyprebranched Polysters/Polycarbonates. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20070244227> [Consulté le novembre 23, 2015].

E-M·布林科 & K·斯克梅德特, 2008. Method of preparing a baked or fried product from leavened dough. Available at: <http://www.google.fr/patents/CN101102673A> [Consulté le novembre 23, 2015].

Engelmann, J. et al., 2008. Flowable Thermoplastic Materials With Halogen-Free Flame Protection. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20080194741> [Consulté le novembre 23, 2015].

Fiey, G. et al., 2013. Methode de mesure de la stabilite thermique d'un acide succinique cristallin destine a la fabrication de polymeres. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2013144471A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Filey, G. & Geurts, T.G.E., 2011a. Process for the crystallization of succinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2371802A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Filey, G. & Geurts, T.G.E., 2011b. Process for the crystallization of succinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2371802A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Finley, K.R. et al., 2013. Compositions and methods for succinate production. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20130302866> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fitzpatrick, S.W., 1990. Lignocellulose degradation to furfural and levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US4897497> [Consulté le novembre 24, 2015].

Fitzpatrick, S.W., 1997. Production of levulinic acid from carbohydrate-containing materials. Available at: <http://www.google.com/patents/US5608105> [Consulté le novembre 24, 2015].

Fitzpatrick, S.W., 2002. Production of levulinic acid from carbohydrate-containing materials. Available at: <http://www.google.com/patents/EP0873294B1> [Consulté le novembre 24, 2015].

Fruchey, O.S. et al., 2011a. Processes for producing adipic acid from fermentation broths containing diammonium adipate. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20110269993> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S., Manzer, L.E., et al., 2014a. Processes for producing butanediol (bdo), diamminobutane (dab), succinic dinitrile (sdn) and succinamide (dam). Available at: <http://www.google.fr/patents/US20140135471> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S., Manzer, L.E., et al., 2014b. Processes for producing caprolactam and derivatives thereof from fermentation broths containing diammonium adipate, monoammonium adipate and/or adipic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8703900> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S. et al., 2011b. Processes for producing diamminobutane (dab), succinic dinitrile (sdn) and succinamide (dam). Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2798335A1> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S., Manzer, L.E., Dunuwila, D., Keen, B.T., et al., 2013. Processes for producing diamminobutane (dab), succinic dinitrile (sdn) and succinamide (dam). Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2571839A1> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S., Albin, B.A., et al., 2014. Processes for producing succinic acid from fermentation broths. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2371804B1> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S. et al., 2012. Processes for producing succinic acid from fermentation broths containing diammonium succinate. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8246792> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fruchey, O.S., Manzer, L.E., Dunuwila, D., Keen, B.T., et al., 2013. Processes for the production of hydrogenated products. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8466300> [Consulté le décembre 17, 2015].

Fuertes, P., Delmotte, A.L. nee & Dreux, J.-L., 1998. Cationic polysaccharides esterified by a dicarboxylic acid anhydride substituted with a branched carbon chain. Available at: <http://www.google.co.ug/patents/US5731430> [Consulté le novembre 16, 2015].

Fuertes, P., DelMotte, A.L. nee & Dreux, J.-L., 1997. Composition and process for sizing paper. Available at: <http://www.google.co.ug/patents/US5647898> [Consulté le novembre 16, 2015].

Fuertes, P., Lambin, A. née D. & Dreux, J.-L., 1996. Composition and process for sizing paper. Available at: <http://www.google.co.ug/patents/EP0742316A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Gehringer, L. et al., 2012. Preparing polyester polyols. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20120258269> [Consulté le novembre 23, 2015].

Gerberding, S.J. & Singh, R., 2011. Purification of succinic acid from the fermentation broth containing ammonium succinate. Available at: <http://www.google.com/patents/WO2011082378A3> [Consulté le novembre 23, 2015].

GNANADESIKAN, V. et al., 2015. A process for manufacturing acrylic acid, acrylonitrile and 1,4-butanediol from 1,3-propanediol. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2015034948A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Gong, W. et al., 2012. Engineering microbes for efficient production of chemicals. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2501797A2> [Consulté le novembre 20, 2015].

Graaf, M.J.V.D. et al., 2012. Process for the crystallization of succinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20120238722> [Consulté le novembre 17, 2015].

Graaf, V.D.M.J. et al., 2011a. Procédé de cristallisation d'acide succinique. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2011064151A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Graaf, V.D.M.J. et al., 2011b. Procédé de cristallisation d'acide succinique. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2011064151A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Graaf, V.D.M.J. et al., 2011c. Process for the crystallization of succinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2011064151A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Graaf, V.D.M.J. et al., 2012. Process for the crystallization of succinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2504307A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Grabar, T., Gong, W. & Yocum, R.R., 2012. Metabolic evolution of escherchia coli strains that produce organic acids. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2501798A2> [Consulté le novembre 20, 2015].

Grutke, S. et al., 2006. Biodegradable, thermoplastic molding materials. Available at: <http://www.google.fr/patents/US7015269> [Consulté le novembre 23, 2015].

Hahn-Schmidt, K. et al., 2005. A method of preparing dough products. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2005094592A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Hermann, T. et al., 2012. Improved fermentation process for the production of organic acids. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2807102A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Huchette, M., Fleche, G. & Gosset, S., 1986. Cationic additive for the manufacture of paper. Available at: <http://www.google.co.ug/patents/US4613407> [Consulté le novembre 16, 2015].

Jacobs, P.A. et al., 1997. Chiral solid catalyst, its preparation and its use for the production of substantially enantiomerically pure products. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO1997014500A1> [Consulté le décembre 14, 2015].

JACQUEL, N. et al., 2013a. Composites à base de pbs et de silice. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2013057423A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

JACQUEL, N. et al., 2013b. Polymères, leur procédé de synthèse et compositions les comprenant. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2013144525A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Jansen, M.L.A., LOUCHART, M., et al., 2012a. Dicarboxylic acid production process. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2012038390A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Jansen, M.L.A., LOUCHART, M., et al., 2012b. Dicarboxylic acid production process. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2012038390A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Jansen, M.L.A., Segueilha, L., et al., 2012. Dicarboxylic acid production process. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2811539A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Jansen, M.L.A., Segueilha, L., Verwaal, R., et al., 2013. Dicarboxylic acid production process. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20130171704> [Consulté le novembre 17, 2015].

Jansen, M.L.A., Segueilha, L., VERWAAL, R., et al., 2013. Dicarboxylic acid production process. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2619314A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Jansen, M.L.A. et al., 2015. Fermentation process. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2015007902A1> [Consulté le novembre 17, 2015].

Jansen, M.L.A., Graaf, V.D.M.J. & VERWAAL, R., 2010. Procédé de production d'acide dicarboxylique. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2010118932A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Jansen, M.L.A., Heijnen, J.J. & VERWAAL, R., 2013. Process for preparing dicarboxylic acids employing fungal cells. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2013004670A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Jansen, M.L.A. & VERWAAL, R., 2011. Procédé de fermentation produisant un acide dicarboxylique. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2011023700A2> [Consulté le novembre 16, 2015].

Jongh, H.H.J.D. & Kusters, H.A., 2008. Modified Proteins With Altered Aggregation Properties. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20080206406> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kampf, G., 2013a. Method for producing polyurethane-rigid foams and polyisocyanurate rigid foams. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2868194A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kampf, G., 2013b. Method for producing polyurethane-rigid foams and polyisocyanurate rigid foams. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2868194A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kampf, G., 2013c. Producing rigid polyurethane foams and rigid polyisocyanurate foams. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2862774A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kampf, G., 2013d. Producing rigid polyurethane foams and rigid polyisocyanurate foams. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20130251975> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kampf, G. et al., 2014. Rigid polyurethane and polyisocyanurate foams based on fatty acid modified polyetherpolyols. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20140094531> [Consulté le novembre 23, 2015].

Klaassen, P. et al., 2009a. A pentose sugar fermenting cell. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009109634A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Klaassen, P. et al., 2009b. Cellule de fermentation de sucre pentose. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009109633A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Klaassen, P. et al., 2011. Fermentative production of ethanol from glucose, galactose and arabinose employing a recombinant yeast strain. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2011003893A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

KRAWCZYK, J.M., Haefner, S., Schröder, H., DANTAS, C.E., Zelder, O., Von, A.G., Wittmann, C., STELLMACHER, R. & Becker, J., 2015. Microorganisme modifié présentant un meilleur comportement de séparation d'une biomasse. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2015118111A2> [Consulté le novembre 16, 2015].

KRAWCZYK, J.M., Haefner, S., Schröder, H., DANTAS, C.E., Zelder, O., Von, A.G., Wittmann, C., STELLMACHER, R., Becker, J., et al., 2015. Microorganismes améliorés pour la production d'acide succinique. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2015117916A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Kunst, A. et al., 2011a. Method for producing polyols on the basis of renewable resources. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2011003991A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kunst, A. et al., 2011b. Method for producing polyols on the basis of renewable resources. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2011004004A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kunst, A. et al., 2015. Polyether polyols, process for preparing polyether polyols and their use for producing polyurethanes. Available at: <http://www.google.fr/patents/US9115246> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kunst, A. et al., 2012. Polyetherester polyols. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20120116044> [Consulté le novembre 23, 2015].

Kunst, A. et al., 2013. Polyetherester polyols. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2638095A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Lokietek, B. et al., 2005. Composition and method for the production of planar structures, especially structures made of paper or cardboard. Available at: <http://www.google.co.ug/patents/US6841039> [Consulté le novembre 16, 2015].

Loos, R. et al., 2013. Polyesters based on 2-methylsuccinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8546472> [Consulté le novembre 23, 2015].

Loos, R. et al., 2014. Polyesters based on 2-methylsuccinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2688956A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Mang, M., OZMERAL, A.C. & GATTO, S.J., 2013. Degradable six pack rings and compositions and methods relating thereto. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2013019834A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Meyer, A. et al., 2015. High resilience polyurethane foams comprising castor oil. Available at: <http://www.google.fr/patents/US9150684> [Consulté le novembre 23, 2015].

Meyer, W.G., 1945. Manufacture of levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US2382572> [Consulté le décembre 1, 2015].

Meyer, W.G., 1945. Manufacture of levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US2382572> [Consulté le décembre 1, 2015].

Moyer, W.W., 1942. Preparation of levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US2270328> [Consulté le décembre 1, 2015].

Mullen, B.D., Yontz, D.J. & Leibig, C.M., Process to prepare levulinic acid. Available at: <http://www.google.com/patents/US9073841> [Consulté le décembre 1, 2015].

Ozmeral, C. et al., 2013. Catalytic dehydration of lactic acid and lactic acid esters. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2614152A2> [Consulté le novembre 20, 2015].

Parton, R.F.M.J. et al., 2014. Process for the preparation of formylvaleric acid and adipic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2896843A1> [Consulté le décembre 14, 2015].

Parton, R.F.M.J., RIJKERS, M.P.W.M. & Kroon, J.A., 2013. Continuous production of furfural and levulinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8426619> [Consulté le décembre 14, 2015].

PEIJ, V.N.N.M.E. et al., 2011. Improved host cell for the production of a compound of interest. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2011009700A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Raemakers-Franken, P.C. et al., 2010a. Preparation of adipic acid. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2010104391A2> [Consulté le novembre 16, 2015].

Raemakers-Franken, P.C. et al., 2010b. Preparation of alpha-ketopimelic acid. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2010104390A2> [Consulté le novembre 16, 2015].

Renault, B. et al., 2013. Emulsifying compositions based on alkyl polyglycosides and esters. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8492445> [Consulté le décembre 17, 2015].

RIJKE, D.A. et al., 2014. Process for the isolation of levulinic acid. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2014087013A1> [Consulté le décembre 14, 2015].

Roubos, J.A. & Peij, V.N.N.M.E., 2008. Procédé pour obtenir une expression de polypeptides améliorée. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2008000632A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

San, K.-Y., Bennett, G.N. & Sanchez, A., 2006. Souche e. coli mutante avec production accrue d'acide succinique. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2006031424A2> [Consulté le novembre 16, 2015].

Segueilha, L. et al., 2009. Procédé de culture microbienne à grande échelle. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009083756A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

STEINKE, T.H. et al., 2015a. Biodegradable polymer mixture. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20150094416> [Consulté le novembre 23, 2015].

STEINKE, T.H. et al., 2015b. Biodegradable polymer mixture. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20150094416> [Consulté le novembre 23, 2015].

Steinke, T.H. et al., 2015a. Biodegradable polymer mixture. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8937135> [Consulté le novembre 23, 2015].

Steinke, T.H. et al., 2015b. Biodegradable polymer mixture. Available at: <http://www.google.fr/patents/US8937135> [Consulté le novembre 23, 2015].

Stolz, P. et al., 2006. A method of preparing dough products. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP1734829A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

Stolz, P. et al., 2005. A method of preparing dough products. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2561892A1> [Consulté le novembre 23, 2015].

TOSUKHOWONG, T. et al., 2015. A process for preparing succinate ester. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2015085185A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

TOSUKHOWONG, T. et al., 2013. Method for conversion of diammonim succinate in fermentation broth to 2-pyrrolidone and n-methylpyrrolidone. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2013033649A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Tosukhowong, T. et al., 2015. Method for conversion of diammonium succinate in fermentation broth to 2-pyrrolidone and n-methylpyrrolidone. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20150005510> [Consulté le novembre 20, 2015].

TURK, B. & Mang, M., 2014. Environmentally friendly coalescing agents. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2721100A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

VAN, R.E.T. et al., 2013. Screening method. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2013007820A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Verwaal, R. et al., 2009a. Production d'acide dicarboxylique dans des organismes eucaryotes. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009065780A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Verwaal, R. et al., 2009b. Production d'acide dicarboxylique dans des organismes eucaryotes. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009065780A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Verwaal, R. et al., 2009c. Production d'acide dicarboxylique dans un champignon filamenteux. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009065777A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Verwaal, R. et al., 2009d. Production d'acide succinique dans une cellule eucaryote. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009065778A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Verwaal, R. et al., 2009e. Production d'acide succinique dans une cellule eucaryote. Available at: <http://www.google.ga/patents/WO2009065778A1> [Consulté le novembre 16, 2015].

Verwaal, R. et al., 2010. Succinic Acid Production in a Eukaryotic Cell. , p.133.

Wang, B., WILSON, Z. & Singh, R., 2013. Integrated biorefinery. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2013101650A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Collard, A.C., et al., 2015. Method of producing succinic acid and other chemicals using facilitated diffusion for sugar import. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2015013334A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Gong, W., et al., 2013a. Production of muconic acid from genetically engineered microorganisms. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2862051A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Gong, W., et al., 2013b. Production of muconic acid from genetically engineered microorganisms. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2013116244A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Gong, W., et al., 2014. Production of muconic acid from genetically engineered microorganisms. Available at: <http://www.google.fr/patents/EP2809771A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Gong, W., et al., 2015. Production of muconic acid from genetically engineered microorganisms. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20150044755> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Dole, S. & Pero, J.G., 2014. Production of organic acids by fermentation at low ph. Available at: <http://www.google.fr/patents/WO2014043591A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Hermann, T. & Hu, X., 2014. Fermentation of glycerol to organic acids. Available at: <http://www.google.fr/patents/US20140234923> [Consulté le novembre 20, 2015].

Yocum, R.R., Hermann, T. & Yu, X., 2013. Fermentation of glycerol to organic acids. Available at: <http://www.google.fr/patents/CA2841461A1> [Consulté le novembre 20, 2015].

乌多·沙夫 et al., 2009. A method of preparing dough products. Available at: <http://www.google.fr/patents/CN100531579C> [Consulté le novembre 23, 2015].

亨瑞克·艾伯特斯·科斯特 & 赫曼·亨利·雅各布斯·德乔格, 2008. Modified proteins with altered aggregation properties. Available at: <http://www.google.fr/patents/CN101098631A> [Consulté le novembre 23, 2015].

# TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>12</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>17</b>
<b>VERS UNE PROBLEMATIQUE MESOECONOMIQUE DE LA BIOECONOMIE</b> .....	<b>19</b>
<i>La chimie comme « discipline » de substitution</i> .....	22
Les colorants comme exemple de la mise en place d'une recherche programmée par une logique de substitution	23
Le caoutchouc, entre maîtrise colonialiste de territoires et de ressources naturelles et substitution .....	24
<i>Comment les produits d'origine agricole sont-ils revenus au cœur de la chimie ?</i> .....	26
D'où vient la chimie verte ? .....	26
La recherche de débouchés pour les produits agricoles .....	29
<i>La coordination de la substitution à travers un objet technique : la bioraffinerie : convergence ou diversité des process</i> .....	30
La bioraffinerie comme récit organisateur de la transition .....	30
Le <i>backcasting</i> : une technologie sociale de qualification des produits et procédés .....	32
<i>Pour une mésoanalyse de la bioéconomie. Cadre théorique et méthodologie</i> .....	36
Champs bourdieusiens et régulation du changement .....	37
Quelle méthode ? L'apport des études de cas qualitatives .....	39
Développer une narration : les procédures de mise en ordre des données collectées .....	41
Une démarche abductive pour repérer des processus visant à rendre légitimes et crédibles des choix technologiques ou économiques .....	42
<i>Annonce du plan</i> .....	43
Partie 1 : régulation du changement et bioéconomie .....	43
Partie 2 : la bioéconomie comme espace économique émergent.....	45
Partie 3 : le déploiement de stratégies de polymères-clés .....	47
<b>PARTIE I REGULATION DU CHANGEMENT ET BIOECONOMIE</b> .....	<b>51</b>
<b>CHAPITRE 1 – UNE LECTURE HISTORICISEE DES VERROUILLAGES TECHNOLOGIQUES : LE CAS DES FORMALDEHYDES</b> .....	<b>53</b>
Les enjeux théoriques de l'étude de cas sur les formaldéhydes.....	54
Plan du chapitre.....	55
1. REGULATION, EVOLUTIONNISME ET INNOVATION : QUELLE LECTURE DES VERROUS TECHNOLOGIQUES ? .....	57
1.1. Une lecture régulationniste de dynamiques économiques : le cas des biopolymères.....	58
1.2. Au-delà des systèmes sectoriels d'innovation, les régularités de changements dans l'analyse des innovations environnementales .....	60
1.2.1. Le modèle canonique réinterprété pour traiter des questions environnementales .....	61
1.2.2. Le rôle des politiques publiques pour stimuler l'adoption d'innovations radicales .....	63
1.2.3. Les innovations environnementales comme compromis.....	64
<i>Conclusion de la section : des lock-ins aux patrimoines productifs collectifs, explorer la boîte noire de la sélection des technologies</i> .....	67
Endogénéiser l'analyse des verrous technologiques .....	67
Démarches et « variables proxy » pour l'analyse .....	69
2. DU DEVELOPPEMENT DES RESINES A BASE DE FORMALDEHYDES A LEUR REMISE EN QUESTION .....	70
Acteurs et filières du formaldéhyde .....	73
Plan de la section et méthodologie .....	76
2.1. La Bakélite comme cas du développement des résines phénols-formaldéhydes : l'hybridation entre deux bases de connaissances .....	77
2.1.1. Le cadre développé par Bijker sur la construction sociale des technologies.....	77
2.1.2. La recherche de nouvelles fonctionnalités qui guide l'exploration technologique .....	78

2.1.2.1.	Les nouvelles fonctionnalités attendues pour un plastique .....	78
2.1.2.2.	L'exploration de nouvelles fonctionnalités chimiques.....	79
2.2.	<i>L'adoption de la Bakélite : la formation d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques et sa contestation</i> .....	80
2.2.1.	La diffusion de la Bakélite.....	80
2.2.1.1.	Les trois modes de diffusion de la Bakélite.....	80
2.2.1.2.	D'une base de connaissances à la formation d'un régime de production de connaissances et d'activités économiques .....	82
2.2.2.	La contestation du régime de production de connaissances et d'activités économiques ? L'évolution de la législation depuis les années 70 .....	83
2.2.2.1.	La législation sur le formaldéhyde .....	83
2.2.2.2.	La réglementation REACH comme opportunité.....	84
	<i>Conclusion de la section</i> .....	84
3.	LA VARIETE DES COMPROMIS DE PRODUITS EN REPONSE A LA CONTRAINTE SUR L'UTILISATION DES FORMALDEHYDES.....	86
3.1.	<i>De la défense d'un compromis inchangé à sa labellisation</i> .....	87
3.1.1.	La problématisation collective du formaldéhyde par les représentants de cette industrie.....	87
3.1.2.	« Business as usual » (ou presque) pour les industries du formaldéhyde.....	88
3.1.3.	Vers des produits à faibles émissions : identité des produits et <i>greenwashing</i> .....	89
3.1.3.1.	Remplacer le formaldéhyde par le glyoxal .....	89
3.1.3.2.	Les guides d'usage du formaldéhyde.....	90
3.1.3.3.	La certification des produits à faible émission.....	90
	Conclusion intermédiaire : quel verrouillage des trajectoires ? .....	91
3.2.	<i>Des produits biosourcés, une réponse radicale ?</i> .....	92
3.2.1.	La trajectoire des tanins .....	92
3.2.1.1.	Divers usages des tanins à travers l'Histoire.....	92
3.2.1.2.	La problématisation de l'usage des tanins dans la bioraffinerie pour tester l'hypothèse des coûts comme verrou technologique.....	93
3.2.1.2.1.	Le développement d'un modèle économique de filière .....	93
3.2.1.2.2.	La problématisation de l'usage des tanins dans la bioraffinerie .....	94
3.2.1.2.3.	Les coûts : véritables lock-ins ? .....	95
3.2.1.3.	Les verrous à lever pour la production de mousses à base de tanins.....	96
3.2.1.3.1.	La production des matières premières.....	96
3.2.1.3.2.	Déterminer le couple écorce/aldéhyde pertinent.....	97
3.2.2.	La voie lignine.....	98
3.2.2.1.	Le contexte des études sur la lignine.....	98
3.2.2.2.	La lignine pour la production de panneaux bio-sourcés .....	99
	<i>Conclusion de la section</i> .....	100
	CONCLUSION DU CHAPITRE .....	105
	<i>Quatre résultats sur les verrous technologiques, les espaces de régulation et la diversité des trajectoires technologiques</i> .....	105
	<i>Faits stylisés et conclusions méthodologiques</i> .....	106

## CHAPITRE 2 – TRANSITION ET REGULATION DU CHANGEMENT : UNE ECONOMIE INDUSTRIELLE EMPIRIQUE .....

1.	ESPACES MESOECONOMIQUES ET PATRIMOINES PRODUCTIFS COLLECTIFS .....	114
1.1.	<i>Espaces de régulation et régulation multiniveaux</i> .....	115
1.1.1.	Des espaces de régulation en partie autonomes de la régulation globale.....	115
1.1.2.	La montée des investigations sectorielles .....	115
1.1.2.1.	Vers une problématisation des espaces mésoéconomiques .....	116
1.1.2.2.	Le niveau mésoéconomique dans l'analyse de la transition : le multi-level perspective .....	118
1.1.2.3.	La constitution d'un espace comme lieu de problématisation : l'exemple de la problématisation de l'industrie .....	121

1.2.	<i>Vers une économie industrielle régulationniste patrimoniale</i> .....	124
1.2.1.	Des objets patrimoniaux aux relations aux relations entre acteurs .....	124
1.2.2.	Le patrimoine comme expression des identités industrielles .....	125
1.2.3.	Identités et patrimoines productifs collectifs comme régulation du futur .....	126
	<i>Conclusion — Patrimoines et espaces de régulation émergents : éléments de conclusion</i> .....	127
2.	ACTEURS ET REGIMES DE PRODUCTIONS DE CONNAISSANCES ET D'ACTIVITES ECONOMIQUES .....	128
2.1.	<i>Y-a-t-il lieu de dépasser des représentations statiques des dispositifs institutionnels et des régimes ?</i> .....	129
2.1.1.	Dispositifs institutionnels et régulation du changement.....	129
2.1.1.1.	Les ambiguïtés du positionnement analytique des dispositifs institutionnels .....	129
2.1.1.2.	Quelle interprétation des concepts de la RST dans une problématique de régulation du changement ? .....	132
2.1.2.	Régimes et dynamiques de changement .....	133
2.1.2.1.	La régulation du changement dans le monde régulationniste .....	134
2.1.2.2.	Les régimes dans la théorie évolutionniste .....	136
	Conclusion : Vers les régimes de production de connaissance et d'activités économiques.....	138
2.2.	<i>Acteurs et structuration multiniveaux de l'espace Filières, firmes et découpages du système productif</i> .....	139
2.2.1.	Logique de la fonctionnalité et logique des promesses .....	140
2.2.1.1.	Fonctionnalités et compromis de produits .....	140
2.2.1.2.	Promesses et modèles économiques .....	141
2.2.2.	La filière comme conception du bouclage d'un système d'action .....	144
2.2.2.1.	Ce que nous apprennent les représentations des acteurs sur les filières.....	145
2.2.2.2.	Les approches en termes de « chaînes de valeurs ».....	151
	Conclusion : la filière comme travail de problématisation des firmes .....	153
2.2.3.	L'approche par les modèles économiques .....	154
2.2.3.1.	Business models et niches technologiques.....	155
2.2.3.2.	Les BM de la chimie doublement verte .....	157
	CONCLUSION DU CHAPITRE ET DE LA PARTIE .....	161
	<i>Espaces mésoéconomiques et régulation du changement</i> .....	161
	<i>Rendre compte des dynamiques en train de se faire</i> .....	162
	<i>Trois visions des espaces de régulation pour guider l'analyse</i> .....	163
	<b>PARTIE II LA BIOECONOMIE COMME ESPACE ECONOMIQUE EMERGENT .....</b>	<b>165</b>
	<b>CHAPITRE TROIS – RAPIDES RETOURS SUR L'HISTOIRE DE PROBLEMATISATIONS ANCIENNES ET LEURS ENSEIGNEMENTS.....</b>	<b>167</b>
1.	LA CHEMURGY COMME MOMENT DE PROBLEMATISATION D'UNE INDUSTRIE FONDEE SUR LES RESSOURCES AGRICOLES ...	169
2.	VERS UNE BIO-INDUSTRIE ? LA CHEMURGY REVISITEE A LA FIN DES ANNEES 1970 .....	173
3.	DE LA BIORAFFINERIE A LA BIOECONOMIE.....	182
4.	METHODOLOGIE ET SOURCES MOBILISEE DANS CETTE PARTIE .....	185
	<b>CHAPITRE 4 – NON PAS UNE, MAIS TROIS BIOECONOMIES .....</b>	<b>187</b>
1.	LA BIOECONOMIE ET LA PLACE DES SYSTEMES PRODUCTIFS DANS LES ECOSYSTEMES .....	189
2.	LA BIOECONOMIE COMME RUPTURE SCHUMPETERIENNE GRACE AUX BIOTECHNOLOGIES .....	193
2.1.	<i>Les dispositifs institutionnels qui ont permis le développement des biotechnologies aux États-Unis</i> 193	
2.2.	<i>Importation des dispositifs institutionnels américains et problématisation de la deuxième bioéconomie</i> .....	194
3.	LA BIOECONOMIE DE LA BIORAFFINERIE .....	198
3.1.	<i>La « Knowledge Based BioEconomy »</i> .....	198
3.2.	<i>De la KBBE à la bioéconomie tout court</i> .....	199
		456

3.2.1.	Articuler matières premières/procédés/produits pour construire un modèle de bioraffinerie.....	200
3.2.2.	Deux exemples de diversité, mais au sein du même modèle économique : l'ancrage territorial des bioraffineries et l'oléochimie.....	201
3.2.2.1.	L'ancrage territorial de la bioraffinerie.....	201
3.2.2.2.	Le cas de l'oléochimie : une illustration d'un couple produit-process dominant.....	204
3.3.	<i>Le pôle IAR et le site Pomacle-Bazancourt : une dynamique de compromis entre les trois bioéconomies.....</i>	<i>208</i>
3.3.1.	Le Pôle IAR, comme illustration des logiques synchroniques de constitution en patrimoines collectifs ..	208
3.3.1.1.	Le pôle comme porteur de la constitution de clusters.....	209
3.3.1.2.	La place de la recherche.....	212
3.3.1.3.	Le pôle IAR comme vitrine de produits ? Le cas de l'« agrobiobase ».....	213
3.3.1.3.1.	L'utilisation de la base de données comme structuration de filières.....	213
3.3.1.3.2.	Les « prix de l'Agrobiobase ».....	215
3.3.2.	Du local à la bioéconomie : le rôle des promoteurs.....	216
3.3.2.1.	Une histoire liée au syndicalisme agricole.....	216
3.3.2.2.	Un site sur lequel s'est focalisé l'effort d'apprentissage sur le non alimentaire.....	217
	CONCLUSION.....	221

## **CHAPITRE 5 – L'INSCRIPTION DES REGIMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D'ACTIVITES ECONOMIQUES DANS DES DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS..... 223**

1.	REGIMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET D'ACTIVITES ECONOMIQUES DANS LES ESPACES NATIONAUX.....	225
1.1.	<i>Le cas des États-Unis.....</i>	<i>228</i>
1.1.1.	Le rapport de 1998.....	229
1.1.1.1.	La diversité comme point de départ dans le rapport d'approvisionnement.....	229
1.1.1.2.	La question de la commercialisation.....	233
1.1.2.	La bioéconomie dans le National Bioeconomy Blueprint.....	233
1.1.3.	La bioéconomie du Why Biobased ?.....	234
1.1.4.	L'industrialisation des procédés dans le National Bioeconomy Blueprint.....	234
1.1.5.	Le rapport « Industrialization of Biology » qui prolonge le National Bioeconomy Blueprint sur l'industrialisation.....	236
1.1.5.1.	L'industrialisation comme problème pour le fonctionnement global de l'industrie.....	236
1.1.5.2.	La formalisation de l'industrialisation.....	238
1.1.5.2.1.	Le triptyque [matières premières/procédés/produits].....	238
1.1.5.2.2.	La question du modèle économique.....	238
1.1.5.3.	La question spécifique des produits.....	239
1.1.5.3.1.	Les stratégies de remplacement des produits.....	239
1.1.5.3.2.	La reproduction de la distinction chimie de commodité/chimie de spécialité.....	239
1.1.5.3.3.	Qu'en est-il pour d'autres produits ?.....	239
1.1.5.4.	Mais un maintien de la diversité des trajectoires.....	240
1.2.	<i>Le cas de l'Allemagne.....</i>	<i>242</i>
1.2.1.	La position centrale de Dechema dans l'émergence de la bioéconomie.....	242
1.2.1.1.	La fondation de Dechema.....	242
1.2.1.2.	Les biotechnologies dans Dechema.....	243
1.2.1.3.	Que l'on ne retrouve pas dans la feuille de route sur les bioraffineries.....	244
1.2.2.	Une vision centrée sur les rapports d'approvisionnement orientée par les structures industrielles existantes.....	245
1.2.2.1.	Les biotechnologies pour la bioéconomie.....	245
1.2.2.2.	Les différents modèles de bioraffineries.....	245
1.2.2.3.	Le critère géographique pour identifier les modèles dominants.....	247
1.2.3.	Le rapport financier dans les feuilles de route allemandes.....	249
1.2.3.1.	Établir des critères pour évaluer l'avancement des projets.....	250
1.2.3.2.	Et financer à partir des projets des acteurs.....	250
1.2.3.3.	Et la formation d'un partenariat public-privé.....	251

1.3.	<i>Les cas finlandais et italiens</i> .....	253
1.3.1.	La Finlande : l'industrie du bois au cœur de la bioéconomie .....	253
1.3.1.1.	Un fonctionnement global appuyé sur le rapport d'approvisionnement des matières premières .	253
1.3.1.2.	Les rapports d'approvisionnement de technologie et commercial .....	253
1.3.1.2.1.	Des technologies héritées de l'industrie papetière .....	253
1.3.1.2.2.	L'institution des procédés et des produits dans le rapport commercial .....	254
1.3.2.	Le cas italien : un modèle d'économie circulaire ?.....	256
1.3.2.1.	Une stratégie mise en forme dans un cluster .....	256
1.3.2.1.1.	Les objectifs du cluster SPRING .....	256
1.3.2.1.2.	Un cluster porté par trois acteurs principaux de la chimie italienne.....	257
1.3.2.1.3.	Un discours marqué par la première bioéconomie .....	259
1.3.2.2.	Le fonctionnement global de l'industrie .....	259
1.3.2.2.1.	La bioéconomie comme une économie ancrée sur des territoires .....	259
1.3.2.2.2.	Une « économie de système » .....	260
1.3.2.3.	La déclinaison de cette vision dans le rapport d'approvisionnement .....	260
1.3.2.3.1.	L'origine des matières premières .....	260
1.3.2.3.2.	L'ancrage sur des sites chimiques existants .....	261
	<i>Conclusion de la section</i> .....	262
2.	LE DEVELOPPEMENT DE LA BIOECONOMIE DANS L'ESPACE EUROPEEN.....	264
	L'institutionnalisation d'un espace européen de la bioéconomie dans le prolongement de la KBBE .....	264
	Et des acteurs qui problématissent la diffusion des produits.....	265
2.1.	<i>La prise de contrôle sur l'arène de développement par la formation d'un partenariat public-privé</i>	267
2.1.1.	Le projet Eurobioref : une réponse de la chimie de spécialité aux modèles économique de biotechnologies des biocarburants - coproduits .....	268
2.1.1.1.	La prise de position d'Arkema sur le modèle économique de la bioraffinerie .....	268
2.1.1.2.	Eurobioref : un modèle économique de filière qui cherche sa rentabilité dans la variété ? .....	269
2.1.1.3.	Le projet Biocore : un modèle économique de filière autour du process Organosolv de CIMV .....	270
2.1.1.4.	Le projet Suprabio : vers des biocarburants rentables ? .....	273
2.1.2.	Le partenariat public-privé Biobased Industry .....	273
2.1.2.1.	Les enseignements de l'analyse des trois projets européens.....	273
2.1.2.2.	Le PPP comme forme dominante du compromis sur le gouvernement de l'industrie .....	274
2.1.2.3.	Les modèles économiques de filières définis dans le PPP .....	275
2.1.2.4.	Les modèles économiques de filières comme de nouveaux compromis localisés .....	279
2.2.	<i>L'identité des produits dans la commercialisation</i> .....	279
	Les enseignements de l'observation d'une journée sur la certification des produits biosourcés dans la filière des peintures .....	279
	Des questions que l'on retrouve ailleurs .....	280
2.2.1.	Les affrontements autour des « logiques produits » dans les colloques de politique industrielle.....	281
2.2.1.1.	La bataille des problématissations .....	281
2.2.1.2.	... qui renvoie au problème de désigner ce qui est produit .....	281
2.2.2.	Institutionnaliser des normes pour définir les produits biosourcés : l'identité des produits comme outil de construction de marché.....	283
2.2.2.1.	La problématissation des normes .....	283
2.2.2.1.1.	Le programme Biopreferred américain .....	283
2.2.2.1.2.	La réflexion sur les normes en Europe .....	284
2.2.2.2.	Les stratégies de labellisation à partir d'un champ de produits .....	287
2.2.2.2.1.	Les principales normes dans le champ des produits biosourcés à partir de l'agrobiobase .....	287
2.2.2.2.2.	Former des portefeuilles de certification sur les produits ?.....	289
	CONCLUSION : LA FORMATION DES COMPROMIS LOCALISES COMME LOGIQUE DE QUALIFICATION D'ACTEURS ET DE DISPOSITIFS	294
	<i>La diversité et la juxtaposition des compromis localisés</i> .....	294
	<i>La projection de dispositifs dans l'espace et le futur</i> .....	296
	<i>L'assemblage de dispositifs institutionnels dans les projets de recherche</i> .....	296

<b>PARTIE III LE DEPLOIEMENT DE STRATEGIES AUTOUR DE POLYMERES CLES .....</b>	<b>299</b>
Trois études de cas pour étudier le champ de la bioéconomie .....	300
Quatre questions pour structurer l'analyse de l'émergence de filières à partir de ces produits .....	301
<b>CHAPITRE 6 – LE CAS DES ACIDES POLYLACTIQUES COMME ETALON DE LONGUE PERIODE .....</b>	<b>303</b>
1. L'ACIDE LACTIQUE, UN PRODUIT DE BASE QUI VIEN DE LOIN .....	304
1.1. L'acide lactique et le développement de la fermentation industrielle .....	304
1.1.1. La formation d'une base de connaissances spécifique à l'acide lactique .....	304
1.1.2. De l'alimentation aux solvants : les usages de l'acide lactique .....	305
1.1.2.1. Les premiers usages industriels de l'acide lactique aux États-Unis .....	305
1.1.2.2. L'usage de l'acide lactique comme solvant pendant la Première Guerre mondiale .....	305
1.1.2.3. L'acide lactique entre les deux guerres .....	306
1.2. La question des matières premières : un débat récurrent ? .....	306
1.2.1. Les deux matières premières possibles pour la production d'acide lactique .....	306
1.2.2. L'imposition de l'amidon comme matière première aux États-Unis et en Allemagne .....	307
Conclusion de la section : la base de connaissance de l'acide lactique .....	308
2. LA FILIERE DU PLA ET SES PROMESSES : PRODUIT DE SPECIALITE OU DE COMMODITE ? .....	309
2.1. Brevets et process PLA .....	310
2.1.1. Décrire la base de connaissance à partir des brevets fondateurs .....	310
2.1.2. Les deux process de production du PLA .....	311
2.1.3. Les enjeux : comment aller à une chimie de commodité à partir du développement du procédé de Cargill ? .....	313
Enjeu 1 : produire Les PLA en continu .....	313
Enjeu 2 : réduire les coûts de production pour rentrer dans le monde de production des commodités .....	313
Enjeu 3 : la concurrence entre plastiques biosourcés .....	314
2.2. Les acteurs d'un PLA de commodités .....	314
2.2.1. Les producteurs d'acide lactique et de PLA : de l'identification des joint-ventures aux mondes de production .....	314
2.2.1.1. Présentation de NatureWorks à travers ses joint-ventures pour identifier les mondes de production .....	315
2.2.1.2. Présentation de Corbion Purac à travers ses joint-ventures pour identifier les mondes de production .....	316
2.2.1.3. Présentation de Galactic à travers ses joint-ventures pour identifier les mondes de production .....	317
2.2.1.4. Trois mondes de production, mais épuisent-ils les cas ? .....	317
2.2.1.5. Le modèle de Futerra : un quatrième monde de production qui souligne le rôle des promesses technico-économiques .....	317
2.2.2. Les producteurs de PLA .....	318
2.2.2.1. Quelle place pour l'industrie de la chimie ? .....	321
2.2.2.2. Dow Chemicals produit des renforceurs .....	321
2.2.2.3. Le positionnement de BASF .....	321
3. UNE PERIODISATION DE LA FILIERE DU PLA PAR SES PROMESSES .....	323
3.1. Fonctionnalités, promesses et mondes de production .....	323
3.2. L'explosion de l'item PLA dans les bases de données de revues .....	324
3.2.1. Une première approche globale de 1950 à 2016 .....	324
3.2.2. Quelle dynamique de publications dans les polymères qui ne sont pas dédiés à la santé ? .....	326
3.3. Une périodisation des promesses et désappointements du PLA .....	327
3.3.1. La période 1972 – 2000 : la construction des promesses du PLA .....	327
3.3.1.1. Le début de la promesse sur le PLA .....	327
3.3.1.2. Les avancées techniques et la promesse de débouchés .....	328
3.3.1.3. L'introduction de la réflexion sur les fonctionnalités du PLA .....	328
3.3.1.4. La fin des années 90 : le pic de la promesse .....	329
3.3.2. De 2000 à 2004 : désappointements sur le PLA « pur » .....	331

3.3.2.1.	D'un polymère de commodités comme les autres au nouveau thermoplastique biodégradable ?	331
3.3.2.2.	Une tentative de maintien des promesses face aux déceptions	331
3.3.2.3.	Quelle identité du PLA ? L'exemple de Cargill Dow	332
3.3.3.	Une autre voie ouverte dans la période 2003-2008 : l'exploration de l'hybridation du PLA	333
3.3.3.1.	L'intérêt de l'hybridation entre PLA et plastifiants comme témoin du déception	333
3.3.3.2.	Réexplorer la base de connaissances pendant une crise : le retour aux mélanges à base de PLA, soit l'usage initial	334
3.3.3.3.	La variété des voies d'hybridation	334
	CONCLUSION : VERS UNE METHODOLOGIE D'ANALYSE D'AUTRES FILIERES-PRODUIT DE LA CHIMIE DOUBLEMENT VERTE	336

## **CHAPITRE 7 – LE CAS DES DEUX AUTRES « PETITES MOLECULES », L'ACIDE SUCCINIQUE ET L'ACIDE LEVULINIQUE ..... 341**

1.	UNE BIOECONOMIE DES BIOTECHNOLOGIES : LE CAS DE L'ACIDE SUCCINIQUE	343
1.1.	<i>De la production d'acide succinique à la formation de promesses technico-économiques dans la science</i>	344
1.1.1.	D'un intermédiaire-clé à un autre : l'exemple de la production de PBS pétrosourcé et biosourcé	344
1.1.2.	Une trajectoire de promesses ancrée dans les biotechnologies	346
1.1.2.1.	De 1980 à 1999	346
1.1.2.1.1.	1980 : l'énoncé de la promesse	346
1.1.2.1.2.	1992 – 1995 : la formulation de la promesse sur les débouchés	347
	Conclusion de l'étude sur la période 1980 - 1999	348
1.1.2.2.	De 2000 à nos jours	348
1.1.2.2.1.	L'acide succinique dans le « top 10 » américain	348
1.1.2.2.2.	À partir de 2004 : l'acide succinique comme illustration de la division du travail à venir	350
1.1.2.2.3.	À partir de 2007 : une succession de déceptions	350
1.1.2.2.4.	À partir de 2010 : un déplacement de la problématique vers la question des bactéries à utiliser	351
1.2.	<i>Le positionnement des firmes de l'acide succinique</i>	352
1.2.1.	Le cas de Bioamber : vers un assemblage de technologies	352
1.2.2.	Reverdia : la joint-venture entre deux macro-acteurs	355
1.2.2.1.	Un retour sur Roquette et DSM et la formation de Reverdia à partir du programme Biohub	355
1.2.2.1.1.	Roquette réussit à être la tête de pont d'un projet d'envergure	355
1.2.2.1.2.	L'allié DSM	357
1.2.2.2.	Biohub : entre concurrence et coopération	358
1.2.2.2.1.	La dynamique de dépôts de brevets de Roquette et DSM	358
1.2.2.2.2.	Le développement d'un segment de filière précis : un procédé fermentaire visant à obtenir de l'acide succinique	359
1.2.2.2.3.	...qui témoigne de la formation d'un patrimoine productif collectif	359
1.2.2.2.4.	Qui domine le compromis formé par Reverdia ?	359
1.2.2.3.	La formation de l'identité du produit	360
1.2.2.3.1.	... Qui passe par l'obtention du label « Biopreferred »	360
1.2.2.3.2.	Et la diffusion de son produit dans un projet de recherche	360
1.2.2.4.	Conclusion : la stratégie de Reverdia	361
1.2.3.	Myriant, une stratégie à visée hégémonique par la diffusion en « open-innovation »	362
1.2.3.1.	L'exploration de la plateforme E. Coli	362
1.2.3.2.	Un premier accord avec Showa Denko sur la substitution du PBS	363
1.2.3.3.	Et une prise de position sur les polyols grâce à un modèle en « open innovation »	363
1.2.3.4.	Et la formation d'accords de codéveloppement et de distribution	364
1.2.4.	Succinity : une autre forme de concurrence-coopération	364
1.2.4.1.	Un accord entre deux concurrents	364
1.2.4.2.	Les brevets des deux entreprises	364
1.2.4.3.	Pour une stratégie de portefeuille d'activité	364
	Conclusion de la section : du paradoxe de la propriété intellectuelle à l'ancrage territorial	365

Des cibles différentes.....	365
Le 1.4 BDO.....	365
Les polyuréthanes et les polyols .....	365
2. L'ACIDE LEVULINIQUE, UN PRODUIT AU CŒUR DE L'OBJET TRANSITIONNEL BIORAFFINERIE ? .....	369
2.1. <i>La construction d'une hypothèse interprétative</i> .....	369
2.1.1. La trajectoire historique de l'acide lévulinique : une histoire américaine.....	372
2.1.2. La famille de brevets de Biofine .....	373
2.2. <i>Le soutien institutionnel au développement de l'identité d'un process</i> .....	374
2.2.1. Le soutien institutionnel sur projet .....	374
2.2.1.1. Le soutien du Green Chemistry Presidential Award et la formulation de promesses .....	375
2.2.1.2. ... Qui relèvent d'une stratégie d'entretien sur longue période des espérances technologiques ...	376
2.2.2. L'industrialisation du procédé en Italie .....	378
<i>Conclusion de la section et du chapitre</i> .....	379
<b>CONCLUSION DE LA PARTIE 3 .....</b>	<b>381</b>
<i>La proposition d'une méthodologie pour analyser la formation des filières de la chimie doublement verte</i> .....	381
Des fonctionnalités économiques hétérogènes.....	381
<i>Les stratégies d'exploration comme entrées dans les filières de la C2V</i> .....	382
Stratégie d'exploration 1 : la constitution d'opportunités à partir d'un verrou technico-économique .....	382
Stratégie d'exploration 2 : La formation d'accords et de joint-ventures comme outil d'assemblage de connaissances et de développement de portefeuilles d'activités .....	383
Stratégie d'exploration 3 : La coordination par les modèles économiques, les promesses technico-économiques et les normes .....	385
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>387</b>
<b>QUESTIONS THEORIQUES ET EMPIRIQUES, REPONSES EMPIRIQUES ET THEORIQUES .....</b>	<b>389</b>
1. LA THEORISATION DU CHAMP PAR LES ACTEURS EUX-MEMES : LA BIOECONOMIE COMME CHAMP DE CONFLIT ET DE COOPERATION AUX FRONTIERES MULTIPLES .....	391
2. LA STRUCTURATION DU CHAMP PAR LES PRODUITS INTERMEDIAIRES .....	396
2.1. <i>Un retour sur les fonctions des produits dans le champ</i> .....	396
2.2. <i>Dynamiques de promesses et structuration du champ</i> .....	399
3. UNE « GRAMMAIRE » POUR L'ANALYSE MESOECONOMIQUE DU CHANGEMENT .....	401
3.1. <i>Quelques points de départ pour une méthode</i> .....	401
3.2. <i>Frontières et diversité au sein des espaces économiques</i> .....	402
3.2.1. Frontières et instabilité des espaces économiques.....	402
3.2.2. Analyser les dynamiques productives dans le changement .....	403
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>407</b>
<i>Bibliographie générale</i> .....	407
<i>Webographie spécifique au chapitre 7</i> .....	438
<i>Bibliographie des brevets spécifiques au chapitre 7</i> .....	446
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>454</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>463</b>
Annexe 1. La bioéconomie américaine dans le « Plant/crop-based renewable resources 2020. A Vision to Enhance U.S. Economic Security Through Renewable Plant/Crop-Based Resource Use » .....	464
Annexe 2. La bioéconomie américaine dans le National Bioeconomy Blueprint .....	467
Annexe 3. La bioéconomie américaine dans « Why Biobased ? » .....	471
Annexe 4. La bioéconomie américaine dans « Industrialization of Biology » .....	473
Annexe 5. La bioéconomie allemande dans le « National Research Strategy BioEconomy 2030 » .....	479
	461

<b>Annexe 6. La bioéconomie allemande dans « Biorefineries Roadmap »</b> .....	484
<b>Annexe 7. La bioéconomie allemande dans « Wood in the Bioeconomy – Opportunities and Limits »</b> .....	490
<b>Annexe 8. La bioéconomie allemande dans « Future Development of Mechanisms for the Support of public and private Research in Regard to the Needs of the Bio-Economy »</b> .....	492
<b>Annexe 9. La bioéconomie finlandaise dans « Sustainable growth from bioeconomy: The finnish bioeconomy strategy »</b> .....	494
<b>Annexe 10. La bioéconomie italienne dans « Les bioplastiques : études de cas de la bioéconomie en Italie »</b> ..	497
<b>Annexe 11. La bioéconomie italienne dans « The biobased chemical industry towards an Italian strategy of Bioeconomy »</b> .....	502
<b>Annexe 12. La bioéconomie dans « The National Technological Cluster of Green Chemistry »</b> .....	506
<b>Annexe 13. Frise chronologique de l'évolution de Bioamber</b> .....	509
<b>Annexe 14. Les principaux brevets de Bioamber</b> .....	510
<b>Annexe 15. Frise chronologique de l'évolution de Reverdia</b> .....	514
<b>Annexe 16. Les principaux brevets de Reverdia</b> .....	515
<b>Annexe 17. Les principaux brevets de Roquette</b> .....	517
<b>Annexe 18. Les principaux brevets de DSM</b> .....	521
<b>Annexe 19. Frise chronologique de l'évolution de Myriant</b> .....	525
<b>Annexe 20. Les principaux brevets de Myriant</b> .....	526
<b>Annexe 21. Frise chonologique de l'évolution de Succinity</b> .....	531
<b>Annexe 22. Les principaux brevets de BASF</b> .....	532
<b>Annexe 23. Les brevets significatifs de CSM</b> .....	538
<b>Annexe 24. Les brevets citant le brevet Biofine de 1990 (Fitzpatrick, 1990 ; relevé d'après Google Patent)</b> .....	541

## ANNEXES

**Annexe 1. La bioéconomie américaine dans le « Plant/crop-based renewable resources 2020. A Vision to Enhance U.S. Economic Security Through Renewable Plant/Crop-Based Resource Use »**

« Plant/crop-based renewable resources 2020. A Vision to Enhance U.S. Economic Security Through Renewable Plant/Crop-Based Resource Use »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	« Use of plant/crop resources for energy, or as basic building blocks for industrial production, has been limited because of a poor fit with the hydrocarbon processing system that has been successfully developed to utilize fossil fuels. » (p.2)	
	« The vision is to provide continued economic growth, healthy standards of living, and strong national security through the development of plant/crop-based renewable resources that are viable alternative to current dependence on non-renewable, diminishing fossil fuels. » (p.2)	
	« The concept inherent in this vision do not imply that hydrocarbon processing systems must be thrown out. Rather, the need is to explore the developing « technology front » (...) » (p.2)	
	« Plant/crop-based renewable resources are a strategic option to meet the growing need for industrial building blocks, and to maintain the leadership position for the U.S. into the next century. » (p.3)	
	« Note that the vision for 2020 assumes fossil fuels will still contribute 90% of the base inputs. The addition of plant-based renewables is not an « either/or » situation, it is a necessary contribution to meet future demands. » (p.8)	
	<p><u>Utilisation des ressources renouvelables :</u> Matrice croisant types de ressources et types de procédés qui sont évalués à partir des bases de connaissances existantes.</p>	- Définition d'un mode de réflexion qui forge les outils de coordination sur la bioéconomie pour identifier des « hot spots »
Rapport d'approvisionnement	« Many of the current limitations to the use of plant-based materials arise from attempts to fit carbohydrate chemistry into a hydrocarbon chemistry situation. In many cases, major sources of plant materials are not even	- problème d'une seule substitution terme-à-terme

	<p><i>geographically suited to be the locations of petrochemical processing facilities. The use of plant/crop-based resources requires the development of concepts around « alternative processing » rather than just « alternative sources » for existing processes. » (p.3)</i></p>	
	<p><i>« In the shorter term, modified processes will allow economic use of plant/crop-based resources, while longer-term opportunities exist via the application of recent biotechnology advances. » (p.3)</i></p>	<p>- court terme : utilisation des matières premières disponibles - long terme : pour développer les biotechnologies</p>
	<p><i>« Nanotechnology will allow significant miniaturization with consequent savings in materials. » (p.4)</i></p>	
	<p><i>« While petrochemical derivatives are also originally plant based, the basic molecules are hydrocarbons. With plant/crop-based renewables, the current basic « volume » molecules are carbohydrates, lignins, and plant oil. There is also lower volumes of high-value molecules arising from secondary plant metabolites. » (p.5)</i></p>	
	<p><i>« Recent advances in biotechnology promise to allow manipulation of plant constituents, and enzyme extraction systems, that could offer new economic opportunities for existing chemical product needs and for new types of intermediates and products. » (p.5)</i></p>	
	<p><i>« General biomass production from plants is plentiful but its use has been limited due to the lack of economical chemical conversion technologies. Plant biomass tends to be « structural » material, often high in lignin and hemicellulose, which contribute to difficulties in chemical manipulation. » (p.10)</i></p>	
	<p><i>« A major issue to be addressed in supply relates to the intent of the original production and how that is to be managed. Today, trees are grown for wood and pulp, crops are grown for food, feed, or fiber, and have not been well optimized for multiple uses. Evaluation of input costs have been based on plant/crop inputs from non-optimized (as raw materials) plant production systems, and thus carry an up-front economic penalty. » (p.10)</i></p>	
	<p><i>« Some proponents of increased use of plant-based renewables point to the many acres of so-called marginal land (low unit biomass production), and suggest that those acres should be the source of materials for feedstocks. Marginal land is called marginal for a reason. If economic comparisons are to be made using plant production levels from marginal land, it is difficult to envision why such a system alone would be economically viable. » (p.11)</i></p>	

	<p>« <i>Plant-based inputs may take several forms (wood, cellulose, lignin, starch, amino acids, etc.), and may be sourced from different places (biomass, crop residues, dedicated crops, crop processing by-products, etc.). In some respects, this diversity is not a good fit for an industrial system that has been developed to break down hydrocarbons into a set of simple molecules and then to rebuild these into desired products. It is more fruitful to consider the development of novel processing streams, rather than just multiple sources for the existing processing stream.</i> » (p.13)</p>	
	<p>Identification de « <i>hot spots</i> » pour orienter les travaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de parties non alimentaires avec des procédés de chimie</li> <li>• OGM à utiliser avec des procédés biotech</li> </ul>	
Rapport salarial / relation d'emploi	X	
Rapport financier	X	
Rapport commercial	<p>« <i>Although the total quantity consumed is low, plant-based materials are currently used for a wide variety of chemicals, ranging from paints to adhesives to lubricants. Soybeans have been a traditional source of vegetable oils, and more recent genetic advances have allowed the production of specialty oils for particular lubricant markets. Also, in recent years the use of soybean-derived ink has become relatively common.</i> » (p.9)</p>	
	<p>« <i>Plant materials, such as lignin or starch, can also be high-volume, low-cost materials and could compete on a commodity basis if the appropriate systems were developed. The types of cost comparisons that have been done historically showed that plant-based materials were not particularly well-suited to the economics of the petrochemical industry, but in cases where cost was similar, the portion of material derived from plants increased significantly (...). The real issue is perhaps one of cost of conversion for « force fit » plant-derived materials into a manufacturing system that requires a different chemical strategy. (...) There is a need to avoid the conflict of « either/or » and explore what opportunities can be developed to use the best of both sources of raw materials.</i> » (p.12)</p>	

## Annexe 2. La bioéconomie américaine dans le National Bioeconomy Blueprint

« National Bioeconomy Blueprint »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	<p>« <i>the growth of today's U.S. bioeconomy is due in large part to the development of three foundational technologies: genetic engineering, DNA sequencing, and automated high-throughput manipulations of biomolecules</i> » (p.1)</p>	- Développement de la bioéconomie grâce aux biotechnologies
	<p><u>Cinq objectifs stratégiques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soutien à la R&amp;D dans la biologie et les biotechnologies</li> <li>• Organiser l'industrialisation des procédés (« <i>lab to market</i> ») et soutien à l'entrepreneuriat dans les universités</li> <li>• Programmes d'achats publics</li> <li>• Standardisation des procédés d'évaluation par les agences</li> <li>• Formation des étudiants et formation continue</li> <li>• Développement de partenariats publics-privés sur les technologies pré-compétitives : <i>pools</i> de ressources etc.</li> </ul>	
	<p>« <i>The U.S. bioeconomy is all around us: new drugs and diagnostics for improved human health, higher-yielding food crops, emerging biofuels to reduce dependency on oil, and biobased chemical intermediates, to name just a few</i> » (p.7)</p>	
	<p><u>Grands domaines :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Santé :</li> <li>• Energie : « <i>Agricultural innovation has already used breeding practices and biotechnology to develop new crop varieties tailored as raw materials for energy production and new processes that improve the conversion of biomass to fuel and chemical products</i> » (p.10)</li> <li>• Agriculture</li> <li>• Environnement : biotechnologies pour remédiation des sols par exemple</li> </ul>	

	<p>- Favoriser l'accès aux marchés américains pour les produits soutenus par les programmes fédéraux</p> <p>- Diminution de la réglementation, notamment en facilitant les recherches sur les humains, amélioration des remboursements des médicaments pour favoriser l'industrie pharmaceutique, accélération des procédures de tests des médicaments et de la nourriture,</p>	
	<p>Plusieurs types de <i>drivers</i> :</p> <p><u>Drivers venant du gouvernement :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programme d'achat (biopreferred program)</li> <li>• Soutien public</li> <li>• Soutien au <i>scale-up</i></li> <li>• Réduction des barrières à l'entrée issues de la réglementation</li> <li>• Alignement des Universités sur les besoins des firmes</li> <li>• PPP et consortiums dans la recherche précompétitive</li> </ul> <p><u>Drivers venant des industries :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pression institutionnelle</li> <li>• marketing</li> </ul> <p><u>Drivers venant des consommateurs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incertitude</li> </ul> <p><u>Drivers venant des ONG</u></p> <p><u>Drivers venant de la concurrence avec les gaz de schiste :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement des gaz de schiste va augmenter la production d'éthylène mais est moins riche en aromatiques que le pétrole. Va impacter négativement la production d'éthylène, propylène et monoéthylène glycol biosourcés</li> </ul>	
<p>Rapport d'approvisionnement</p>	<p>« <i>The application of synthetic biology and other genetic-manipulation techniques will enable the rational design of organisms to produce conventional products more efficiently as well as novel products, including: modified seed stocks that yield plants with improved oil and starch content for biofuel production; enzymes from engineered microorganisms that are optimized for the production processes and environmental conditions required for industrial-scale chemical and fuel production; and microorganisms designed for the production of novel chemicals and biomolecules difficult or impossible to produce using current technologies</i> » (p.10)</p>	<p>- Biologie synthétique comme outil de production des matières premières qui doivent offrir un certain nombre de fonctionnalités adaptées aux usages industriels non-alimentaires de la biomasse.</p>

	« <i>Bio- and chemical-based catalytic processes will play a greater role in the future of agriculture. The USDA predicts that two types of biorefineries will emerge: those that use microbial catalysts to directly convert feedstock (sugar or lipid) into a vast array of commercially valuable products, and those that are feedstock-agnostic and produce a single chemical intermediate, such as lactic acid or glycerol, for later conversion into final products</i> » (p.11)	- question de la coordination entre ressources et technologies de transformation, vers différents types de produits
	« <i>Precompetitive collaborations – where « competitors » partner and pool resources and surmount shared problems. Partnerships for innovation are increasingly observed as a response to changing economic and technological conditions</i> » (p.12)	- A la fois, régimes des biotechnologies et en même temps, organisation de <i>pools</i> de brevets et de compétences
	« <i>Foundational technologies</i> » envisagées : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biologie synthétique</li> <li>• Protéonomique</li> <li>• Bioinformatique</li> </ul>	
	- Accélérer la commercialisation des découvertes réalisées dans les universités - Nouvelles licences exclusives de 5 ans pour les <i>start-ups</i> à condition qu'elles s'appuient sur des brevets financés par le gouvernement et déposés aux Etats-Unis - Licences pour des acteurs installés dans des zones géographiques et garantir l'accès au marché américain	
Rapport salarial / relation d'emploi	- formation de travailleurs pour la bioéconomie : ingénieurs et ouvriers - Formation continue	
	« <i>A robust biological/biomedical R&amp;D enterprise, backed by government, foundations, and for profit investments, is necessary to produce the new knowledge, idead, and foundational technologies required to develop products and services that support businesses and industries and help create jobs</i> » (p.17)	- Etat américain (à travers ses différentes agences) va financer l'industrialisation des procédés
	- financement de l'innovation grâce à des prix visant à récompenser les innovations - Incitation à la fondation de co-entreprises pluri-disciplinaires grâce à des mécanismes de financement spécifiques - Augmentation de la capacité de participation des agences de l'Etat Américain dans les <i>start-ups</i> , y compris dans celles détenues par des capitaux financiers (fonds de pensions, capitaux risqueurs etc.)	

Rapport financier	- soutien aux développements de traitements contre les maladies neurologiques, vaccins etc., ouverture des archives médicales de la FDA, augmentation de la production de produits biosourcés, CO <sub>2</sub> comme intrant, amélioration des variétés de plantes à direction de la bioénergie, état des lieux de l'agriculture biologique.	
Rapport commercial	Achat de biocarburants pour l'armée américaine	- Argument de la sécurisation des approvisionnements

### Annexe 3. La bioéconomie américaine dans « Why Biobased ? »

« Why biobased ? »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	<p>« <i>The Bioeconomy is characterized by a new generation of environmentally-friendly materials and products and economic opportunities for U.S.-based agriculture, chemical, and manufacturing sectors and their value chains, with far-reaching potential impacts on socioeconomic development and the resurgence of production in the U.S. (...) The Bioeconomy is the global industrial transition of sustainability utilizing renewable aquatic and terrestrial resources in energy, intermediate, and final products for economic, environmental, social, and national security benefits.</i> » (p.1)</p> <p>« <i>The emerging bioeconomy has the potential to create unprecedented growth in the rural economy and create a higher level of selfsufficiency for farming and rural communities. (...) The conversion of lignocellulosic biomass is considered to provide maximum benefits to the rural economy</i> » (p.2).</p>	<p>- bioéconomie comme opportunités pour l'agriculture</p> <p>- N'est pas définie, à la différence de la définition OCDE/Maison Blanche, par rapport aux biotechnologies mais par rapport aux produits et surtout par rapport aux matières premières</p> <p>- Repositionnement de la bioéconomie dans le prolongement de la chemurgy</p>
Rapport d'approvisionnement	<p>« <i>However, the high cost of transporting biomass would necessitate the decentralization of biorefineries across rural areas. Local production of energy would simultaneously reduce the need to pay for the import of petroleum and the need to pay for the transportations of products to export destinations. By becoming bioenergy producers, manufacturers and companies that are the major consumers of processed energy would find rural areas more attractive than they did in the fossil fuel-based economy. Local businesses would have an advantage over urban centers to flourish since local transportation is always cheaper. Rural areas also are major sources of under-utilized agricultural material, such as crop residues, forest residues, and animal manure.</i> » (p.3)</p>	-
Rapport salarial / relation d'emploi	X	
Rapport commercial	<p><b>Produits de la bioéconomie :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Produits chimiques :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• biopolymères : polymères à chaînes longues issus soit des polysaccharides (amidon, chitine etc.), synthèses chimiques classiques (comme le PLA), soit des biotechnologies (PHA par exemple)</li> </ul> </li> </ul>	<p>- Quels sont les produits ?</p> <p>- Intégrer les co-produits comme des produits (cf. schéma p.9)</p>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• bioplastiques : variété des types de plastiques : amidon, cellulose, polyamides, PHA, PVC etc.</li><li>• lubrifiants, acides gras etc. (cf. tableau des catégories de produits)</li><li>• <u>Coproducts</u> : « <i>Co-products will have an increasingly important role in the economic growth and profitability of biobased products. In part, this will likely follow the value chain development of the petroleum sector, which was able to obtain co-product benefits from over 6,000 petroleum-derived co-products</i> » (p.7)</li><li>• <u>Produits pharmaceutiques</u></li><li>• <u>Microorganismes et enzymes</u></li><li>• <u>Encres et teintures</u></li></ul>	
--	--	--

#### Annexe 4. La bioéconomie américaine dans « Industrialization of Biology »

« Industrialization of Biology »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	« to create a roadmap for accelerating the advanced manufacturing of chemicals using biological systems » (p.1)	
	« Lowered costs, increases in production speed, flexibility of manufacturing plants, and increased production capacity are among the many potential benefits that the increased industrialization of biology may bring to producers and consumers of chemical products that have not been previously available at scale » (p.2)	- Problématique de l'industrialisation et la montée en échelle des projets
	« The bioeconomy refers to the portion of the economy that is derived from biological processes and manufacturing » (p.16)	- Problème de définition que l'on retrouve p.17 avec le problème de l'intégration de la chimie. Cependant, dans le schéma, on note que la chimie est mobilisée en tant que discipline et secteur économique qui dispose de procédés clés dans l'industrialisation de la biologie
	« The industrialization of biology in chemical manufacturing is enabled by the convergence of biology with chemistry and engineering in transformative new ways » (p.30) « Cell as tomorrow's factory » (p.32)	
	Problème de l'acceptabilité sociale des biotechnologies des OGM (p.22)	
	« The industrialization of biology can serve to enhance the United States' energy independence. » (p.33)	- Argument de l'indépendance énergétique déjà utilisé à l'époque de Ford pour justifier de l'intérêt de l'usage de ressources d'origine agricoles. La distinction entre agricole et renouvelable est ici clé pour saisir la logique de constitution de la feuille de route américaine, car elle joue sur la question de l'indépendance et de la disponibilité locale de la matière première avant d'avancer l'argument environnemental.
	« New approaches to the advanced manufacturing of chemicals are well aligned with American efforts to mitigate the adverse effects of greenhouse gases and to enable the United States to meet its global climate change commitments » (p.33)	

	« The current regulatory environment for approval and control of organisms used in bioprocessing is complex and still developing » (p.49)	
Rapport d'approvisionnement	« Biological engineering seeks to take advantage of the tools of recombinant DNA technology while applying systems and network analyses to the challenge of engineering more productive host organisms. (...) These principles have already been successfully applied to generate highly efficient and productive germination processes for a number of products. Early successes include, for example, the production of industrial enzymes, artemisin, lactic acid, 1,3-propanediol, isoprene, and alcohol-based biofuels. » (p.4)	
	« Today, the feedstock for biomanufacturing chemicals is fermentable sugars from starch. The starch, in turn, derives from grains such as corn. The continued expansion of biomanufacturing chemicals will require additional feedstocks from nongrain sources. Cellulosic biomass holds great promise as a feedstock, but there are still many challenges associated with using recalcitrant cellulosic material in industrial biotechnology. (...) There is also significant active work in facilitating the use of syngas, methane, and carbon dioxide in manufacturing. » (p.5)	- Variété des matières premières
	Technologies clés : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biologie synthétique</li> <li>• Séquençage d'ADN</li> <li>• Bioinformatique</li> <li>• Technologies qui permettent le <i>scale-up</i> des procédés biotechnologiques</li> <li>• Techniques biologiques permettent d'obtenir des produits chimiques</li> </ul>	
	« A roadmap focused on manufacturing at commercially competitive scale will create new opportunities for American agriculture and provide new value chains that do not require costly trade-offs with land. (...) The increased use of biomass as a feedstock for the production both of high-value, low-volume, bulk biofuels and commodity chemicals provides new opportunities for innovation in sustainable agriculture. » (p.34)	- argument de l'auto-suffisance et débouchés pour l'agriculture américaine
	« To promote the industrialization of biology and related fields will need to determine an acceptable balance between open and proprietary approaches to innovation » (p.52)	- cf. Bioeconomy Blueprint : constitution de ressources collectives
	Développement de modèles économiques :	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• « développement intégré verticalement » : R&amp;D réalisée dans des entreprises intégrées veritalement, de la matière première jusqu'à la vente du produit final</li> <li>• « stratification horizontale » : renvoie à une vision de filières fragmentées</li> <li>• « production centralisée » : production dans des bioraffineries de très grande taille, modèle similaire à la pétrochimie</li> <li>• « production distribuée » : production dans des unités de production de petites tailles utilisant des ressources disponibles localement</li> </ul>	
	<p><u>Matières premières :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 40% du sucre issu de grain (blé et maïs) est destiné à la production non alimentaire, donc introduit des limitations dans l'offre et de la concurrence entre alimentaire et non-alimentaire. Ces matières premières ne devraient être utilisées que dans l'alimentaire.</li> <li>• La lignocellulose devrait constituer la source de sucre et être traitée avec des traitements biotechnologiques : résidus de bois, plantes dédiées à l'énergie, plantes pérennes, bois à croissance rapide (problème : durée de pousse, fort contenu en lignine)</li> <li>• C1 à partir du gaz naturel (équipements et procédés coûteux, séparation des différents produits problématique)</li> </ul>	
	<p><u>Fermentation :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermenteurs et procédés chimiques ont été optimisés et rentrent dans des estimations de coûts, différentes dans les biotechnologies : optimiser les fermenteurs</li> <li>• Problème du <i>scale-up</i> de la biologie</li> <li>• Identification des bonnes enzymes</li> <li>• Synthèses multiples (notamment grâce à la catalyse)</li> <li>• Séparation et purification (notamment des eaux)</li> </ul>	<p>- S'inscrit dans le prolongement des régimes de production de la biologie et de la chimie</p>
	<p><u>Production d'organismes :</u> doit respecter les contraintes suivantes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Molécules cibles</li> <li>• Prix ciblé</li> <li>• Quantité ciblée</li> <li>• Matière première ciblée</li> <li>• Qualité du produit fini évalué en fonction des propriétés chimiques</li> </ul>	<p>- objectivation des études technico-économiques - renvoie donc à la définition des mondes de production des produits</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La réalisation des objectifs déterminés par les études technico-économiques</li> <li>• Organismes permettant le <i>scale-up</i> =&gt; sert de fondements pour organiser et penser le <i>design</i> de produits à développer</li> </ul>	
Rapport salarial / relation d'emploi	« <i>Industrial biotechnology firms individually, and especially through industry groups, should strengthen their partnerships with all levels of academia, from community colleges, undergraduate institutions, and graduate institutions, to communicate changing needs and practices in industry in order to inform and influence academic instruction</i> » (p.107)	
Rapport financier	« <i>Fermentation can be facilitated in many ways, but it typically represents a large capital expense that must be overcome in order to begin production. To mitigate this capital expense, the ability to scale up processes is a critical step</i> » (p.5).	- Problème de la disponibilité du capital pour les investissements dans l'industrialisation des procédés
Rapport commercial	« <i>The growth of this field will enable the use of biology to produce high-valued chemical products that cannot be produced at high purity and high yield through traditional chemical synthesis. The future may also include a large number of high-volume chemicals, where biology represents a better synthetic pathway (cheaper and greener) than the conventional chemical synthesis</i> » (p.4)	- Diversité des produits par l'intermédiaire des produits à haute et faible valeur ajoutée
	« <i>Beyond standards, an updated regulatory regime is needed to speed the safe commercialization of new host organisms, new metabolic pathways, and new chemical products. Such regimes must be harmonized across national boundaries, enabling rapid, safe, and global access to new technologies and products.</i> » (p.6)	- Rôle de la réglementation pour organiser la commercialisation des produits qui vont rentrer dans le champ de la bioéconomie
	<u>Différence entre les produits commerciaux développés et en développement :</u> (p.28) glissement sémantique entre molécules chimiques et matériaux.	
	<u>A propos des biocarburants :</u> « <i>Commercialization requires advancing lab-scale processes to yields and productivities that approach the maximum theoretical output that process (generally &gt;85 percent) and scaling them to reactors that will be &gt;6000 cubic meters in volume (...). To date, only a few promising technologies for advanced biofuels have reached the later phases of commercialization, and these are for the higher alcohols, butanol and isobutanol</i> » (p.44).	

	<p>« enzyme- or cell-based synthetic approaches can provide compounds ranging from drop-in replacements – made via processes with economic or environmental advantages over precious synthetic methods – to new structures with improved function or performance relative to their chemical precursors » (p.54)</p>	
	<p><b>Monde de production des produits de la chimie :</b></p> <p>« For commodity chemicals, targets need to add economic value to the starting carbon source (e.g., glucose or cellulose) and can include preexisting high-volume chemicals, biologically sourced precursors that may be converted to the desired product through simple chemical transformations, or new structures. These types of targets can provide both economic and environmental benefits via the ability of cells to utilize biomass-derived carbon sources, grow in aqueous media, and carry out multistep transformation of substrate to product in a single reactor » (p.55)</p> <p>« Specialty or fine chemical targets yield more flexibility in approach and cost of manufacture based on their higher value. Indeed for many complex natural products, there may be no existing chemical method for their commercial manufacture. As such, a biological route can provide new access to the target or a semisynthetic intermediate » (p.55)</p>	
	<p><b>Produits autres que chimiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produits naturels : « while the complexity of natural product structures serves as an advantage in their use as lead compounds, it rapidly becomes a disadvantage given that most lead compounds need to be optimized for proper potency, cross-reactivity, and pharmacokinetic behavior. (...) In this regard, the identification and characterization of tailoring enzymes that may oxidize, cross-link, or ligate on new groups to core structures are useful » (p.57)</li> <li>• Molécules avancées : nouveaux enzymes entraînant de nouvelles réactions ou permettant la production de nouveaux groupes fonctionnels</li> <li>• Mise au point de systèmes biologiques permettant la production de <i>building blocks</i></li> </ul>	<p>- Théorisation des techniques de la chimie décrite en introduction du document par les enzymes de la biologie</p>
	<p><b>Polymères :</b> « At this time, many of the commodity polymers are constructed from building blocks that can be prepared from readily available petrochemical</p>	

*sources. However, living systems provide a vast array of bifunctional compounds that can be used as monomers » (p.60)*

Stratégies de remplacement des polymères existants :

- *Substitution terme-à-terme : « one approach is the direct replacement of existing monomers derived from petrochemical sources with the same structure made by microbial fermentation » (p.60). Le problème de cette approche est qu'elle induit directement une concurrence par les prix et vise essentiellement des produits de commodités, induisant d'importantes mobilisations de capitaux.*
- *« nouveaux polymères » : définis comme des polymères possédant deux fonctions, par exemple d'origine biologique et biodégradable (PDO désormais considéré comme produit d'intérêt car également biosourcé et plus simplement dérivé d'éthylène par exemple)*
- *Polymerases : polymères fondés sur les polypeptides*

## Annexe 5. La bioéconomie allemande dans le « National Research Strategy BioEconomy 2030 »

« National Research Strategy BioEconomy 2030 »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	<p>- « <i>The central objective is the optimal utilisation of the chances created by the knowledge-based bioeconomy, and to translate these into enduring economic growth. Germany is set to become a leading research and innovation centre in the bioeconomy. The effect of this will be to accelerate the growth of bio based products, energy, processes, and services, and to strengthen the competitiveness of German industry on a global scale. (...)</i> <b>Thereby, a major source of impetus is the field of biotechnology<sup>232</sup></b> » (p.2)</p>	<p>- Positionnement de la bioéconomie comme outil pour l'économie allemande - Biotechnologies comme outil central de développement</p>
	<p>- « <i>This spans numerous sectors, such as agriculture, forestry, horticulture, fisheries and aquaculture, plant and animal breeding, the food and beverage industries, as well as the wood, paper, leather, textile, chemicals and pharmaceutical industries, and aspects of the energy sector</i> » (p.2)</p>	<p>- Identification des secteurs impliqués dans la production des biens mais également des fournisseurs de matières premières</p>
	<p>- « <i>Bio-based innovations also provide growth impetus for other traditional sectors, such as in the commodity and food trade, the IT sector, machinery and plant engineering, the automotive industry, environmental technology, construction, and many service industries</i> » (p.2)</p>	<p>- Mise en récit d'un effet cascade entraîné par le développement de la bioéconomie =&gt; outil de l'élargissement de l'accumulation</p>
	<p>« <i>The research strategy lays out five priority fields of action for further development towards a knowledge-based, internationally competitive bioeconomy. These are : global food security, sustainable agricultural production, healthy and safe foods, the industrial application of renewable resources, and the development of biomass-based energy carriers</i> » (p.2)</p>	<p>- Identification des champs prioritaires : organisation de la coordination par le soutien institutionnel à ces champs =&gt; questions sur lesquelles les acteurs doivent se positionner - Construction du futur</p>
	<p>« <i>Our vision : a natural cycle-oriented, sustainable biobased economy that carries the promise of global food supplies that are both ample and healthy, and of high quality products from renewable resources</i> » (p.3)</p>	<p>- Installation d'une bioéconomie du troisième type</p>

<sup>232</sup> Surligné par nous.

	<p>« This vision derives from the development of a free, dynamic and innovative knowledge society that knows how to think in complex contexts, and which can apply this knowledge to the benefit of future generations » (p.14)</p>	-
	<p>« The following strategic objectives derive from this vision of a biobased company :</p> <p>A) In international comparison, Germany aspires to become a dynamic research and innovation centre for biobased products, energy, processes and services. The competitiveness of German industry will be strengthened by the development of novel products, processes, and services from renewable resources. Germany aims to assume a leading international position among comparable developed countries as regards the number of employees and companies.</p> <p>B) At the same time, research results can make important contributions to global responsibilities, especially in the field of global nutrition, and to climate-, resource- and environmental protection with the use of biological resources. Thereby, equally high importance is attached to a healthy diet. The Federal Government strives to take a leading role in research and development into solutions for these global challenges.</p> <p>Above all, because the vision of a natural cycle-oriented biobased economy is yet to clear a number of important hurdles, it is essential to set the right course today. » (p.15)</p>	<p>-Vision d'une économie nationale insérée dans la division du travail internationale</p> <p>- Articulation entre l'industrie allemande et la troisième bioéconomie</p>
Rapport d'approvisionnement	- Introduction du rapport qui positionne les biotechnologies comme levier de transition (cf. intro)	
	« sectors, such as agriculture, forestry, horticulture, fisheries and aquaculture, plant and animal breeding, the food and beverage industries » (p.2)	- Secteurs qui font partie de la bioéconomie
	<p>- Réseaux de recherche existants soutenus par l'Etat :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helmholtz Association of German Research Centres (axé sur l'ingénierie, l'environnement et les biotechnologies)</li> <li>• Max Planck Society (recherche fondamentale en KBBE)</li> </ul>	- Qualification des instituts de recherche, et domaines de recherches privé et publics comme bioéconomie déjà existante

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instituts du Gottfried Wilhelm Leibniz Science Community (sciences de la vie, infrastructures de recherche)</li> <li>• Instituts appartenant au Fraunhofer Society (bioéconomie, transferts de connaissance)</li> </ul>	
	<p>« The provision of biological resources is achieved above all through agriculture, forestry, and fishery; these sectors therefore represent an important basis for the German bioeconomy. Germany also maintains a number of innovative young biotechnology companies, and is traditionally strong in the chemical and pharma industries, the energy economy, plant and machine engineering, as well as medium-sized seed companies and plant breeders – all of which are vital for the bioeconomy » (p.9)</p>	<p>- Qualification des industries faisant partie de la bioéconomie</p>
	<p>« As a result of their high flexibility as regards rapidly shifting demand patterns, small and medium-sized enterprises (SMEs) are in this respect particularly significant for a national economy. For example, biotechnology SMEs are the drivers of innovation in the bioeconomy » (p.9)</p>	<p>- Mobilisation du tissu industriel allemand sur les questions de bioéconomie - Référence directe au développement des <i>start-ups</i> des biotechnologies en Allemagne depuis 1995</p>
	<p>« A rapid and continuous transfer of technology from science to industry is of central importance (...). An effective approach in technology transfer is cooperation projects between science and industry, as well as direct spin-offs from the scientific environment. Alongside the relevant framework conditions, a prerequisite for a new founding boom is the strengthening of entrepreneurship in universities and other non-academic research facilities (...). » (p.10)</p>	<p>- Importation du modèle d'organisation des biotechnologies autour des collaborations universités-entreprises</p>
	<p>« The necessity for these holistic approaches and the increasing international division of work in research, as well as the growing number of technologically competitive countries, also demand an internationally oriented research strategy » (p.13)</p>	<p>- Positionnement de la bioéconomie allemande dans la bioéconomie internationale</p>
	<p>« Critical here is the further development of collaboration between academia and business, between partners from a broad range of countries and disciplines, and between different institutes » (p.14)</p>	
	<p>- « the collection, processing, cataloguing, preservation, and provision of genetic materials via gene banks for breeding and research is a necessary prerequisite for the utilisation of genetic diversity » (p.20)</p>	<p>- Chapitre 4.1. consacré entièrement au développement technologique de l'agriculture (guidage satellite, biotechnologies pour le développement des plantes) -</p>

	<p>- « to meet to growing global demand for food-stuffs of animal origin, considerable research efforts and the development of new approaches are also essential to achieve increases in productivity. » (p.21)</p> <p>« Biobased products, which combine biotechnical, chemical, thermal, or mechanical methods in their manufacturing process, not only help protect nature, the environment, and the climate, but also enable greater independence from fossil raw materials. (...) Industrial biotechnology, also known as white biotechnology, is an important driving force in this transition. This field of activity is given high priority in the Federal Government » (p.30)</p> <p>- « Biomass can also already be modified for subsequent processing in the development process, e.g. through plant selection, cultivation methods, or breeding using modern methods of biotechnology (...) Because of the inherent ingredients, their rapid growth, as well as the high degree of efficiency for the plant world, algae is garnering increasing interest as a source of raw materials. Likewise, wood represents a large biomass reservoir for traditional application in the construction, paper and pulp industries, as well as for sustainable husbandry as a renewable source of raw materials. » (p.31)</p> <p>- « In analogy to petrochemical refineries, the term biorefinery is used when all the components of various plants and/or waste, as well as residual materials, are used to as great an extent as possible (zero waste). For example, in the production of food and feed products, chemicals, fuels, electricity, and heat. There are many research topics to be worked through towards the concept of biorefineries, for example on the decomposition, processing, and conversion of biomass, in particular of wood (lignocellulose), and on product purification. All of these must be incorporated in a project plan (roadmap) for biorefinery development » (p.31)</p> <p>- « In the framework of regional health provision concepts, this can contribute to local creation of value, and to the creation of jobs in agriculture, forestry, and industry » (p.35)</p>	
<p>Rapport salarial / relation d'emploi</p>	<p>« Alongside jobs in the agriculture- and food economy, there is a growing number of jobs in industry, increasingly in labour-intensive sectors such as the chemical/pharma industries and the energy economy. (...) Moreover, around 30,000 highly skilled workers now work in commercial biotechnology in Germany » (p.10)</p>	<p>- Compromis dans la bioéconomie dominé par les biotechnologies</p> <p>- Algues et lignocellulose pour la production dans la bioraffinerie</p> <p>- intégration de la pharmacie dans le discours autour de la bioraffinerie</p> <p>- implantation de l'énergie à la fois dans la bioéco et au niveau régional</p>

Rapport financier	« <i>The lack of capital of German companies and the underdevelopment of the venture and private equity market in Germany has an inhibiting effect on innovation</i> » (p.12)	- cf. article REI, 2007
	« <i>The objective of the High-Tech Strategy from the Federal Government is to combine support for research, and the structuring of framework condition</i> » (p.12)	- Soutien du gouvernement au développement de la bioéconomie en parallèle du développement des capitaux-risqueurs
Rapport commercial	- « <i>as the wood, paper, leather, textile, chemicals and pharmaceutical industries, and aspects of the energy sector</i> » (p.2)	- Secteurs qui vont fournir les matières premières

## Annexe 6. La bioéconomie allemande dans « Biorefineries Roadmap »

« Biorefineries Roadmap »	Argument	Commentaire
Fonctionnement global	<p>« <i>the primary refining in a biorefinery involves the separation of biomass components into intermediates (e.g. cellulose, starch, sugar, vegetable oil, lignin, plant fibres, biogas, synthesis gas), and usually also encompasses the pre-treatment and conditioning of the biomass. (...) Biorefineries always feature the coupling of different material- and energetic utilisation paths.</i> » (p.8)</p>	<p>- Alors que le document sur la bioéconomie insiste sur les biotechnologies, celui sur la bioraffinerie insiste dès l'introduction la diversité dans la bioraffinerie</p>
	<p>« <i>to realise potential opportunities, to become established in the market, and to find broad public acceptance. In the early phase of development, it will also enable indications to be made for sustainable design processes, help provide data for investment decisions, as well as support government bodies and companies in the identification of the most promising processes. Moreover, such an analysis can also serve as the basis for the assessment, communications and discussion of the concepts in the public realm</i> » (p.59)</p>	<p>- Modèles comme outils de mise en forme de marchés et d'orientation de l'investissement</p>
	<p>« <i>As models and pioneers, the public order processing- and procurement bodies at the federal-, state- and local level can significantly contribute to an increase in the demand for bio-based products. The German federal government through the Federal Ministry of Economics and Technology is supporting the export potential of business for bio-based products and technologies, for example through the foreign market development program and the 'Renewable Energy Export Initiative'. Furthermore, through the BMU, the federal government is supporting research activities in the area of the sustainability assessment of biorefineries. Here, the guiding principles is the federal government's sustainability strategy and the management regulations contained therein</i> » (p.93)</p>	
	<p><u>A propos de la soutenabilité :</u></p> <p>« <i>The development of methods for the sustainability assessment of biorefineries, above all with respect to the sustainable provision and conversion of biomass, but also the identification and quantification of conflicting aims</i></p>	<p>- évaluation de la performance des bioraffinerie à la lumière des modèles mobilisés - Mais qui doit participer à la stratégie allemande, évaluée en termes de réduction d'émissions de carbone, c'est-à-dire une comparaison dans des substitutions terme-à-terme</p>

	<p><i>such as land use change, resource competition, price pressure on foodstuffs, water scarcity etc., and subsequent issues</i></p> <p><i>The quantification of stored carbon in bio-based products and of energy savings through their use, as well as the contributions of bio-based products to the objectives on the German Federal government's sustainability strategy » (p.91)</i></p>	
Rapport d'approvisionnement	Analyse SWOT global (p.8)	<p>- Idem pour la production de machines</p> <p>- Les « forces » décrites dans l'analyse SWOT soulignent que l'industrie allemande de l'amidon et du sucre est déjà existante</p>
	<p><i>« A few particularly promising biorefinery paths, which differ above all in platform type as well as secondary refining type, have emerged from among the biorefinery concepts:</i></p> <p><i>Sugar biorefinery and starch biorefinery</i></p> <p><i>Vegetable oil biorefinery and algal lipid biorefinery</i></p> <p><i>Lignocellulosic (cellulose, hemicellulose and lignin) biorefinery and green biorefinery</i></p> <p><i>Synthesis gas biorefinery</i></p> <p><i>Biogas biorefinery » (p.10)</i></p>	<p>- Pour chacun des modèles de bioraffinerie sont établis des modèles économiques fondés sur des analyses SWOT</p> <p>- Correspond à des « modèles de bioraffinerie » construits comme des modèles économiques</p>
	<p><b>Bioraffinerie des huiles<sup>233</sup> :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie des huiles végétales déjà existante en Allemagne, qui bénéficie de fournisseurs d'outils de production, de PME aptes à développer de nouveaux matériaux et la technologie de premier raffinage des huiles est maîtrisée</li> <li>• Chaînes longues disponibles en Allemagne et en Europe, à la différence des chaînes courtes qui ne sont disponibles que dans les zones tropicales et subtropicales</li> </ul>	<p>- Mise en récit des patrimoines productifs collectifs qui sont qualifiés dans la bioraffinerie pour atteindre une bioéconomie.</p> <p>- La coexistence des modèles souligne la concurrence sur la matière première (sur les huiles ou sur la lignocellulose) et donc sur les technologies</p> <p>- Interrogation sur la rentabilité des modèles</p>

<sup>233</sup> Pour chacun de ces types de bioraffineries, nous proposons un résumé des analyses SWOT (pp. 11-15 du document).

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problèmes d’approvisionnement et problèmes pour assurer la rentabilité des unités de production car les sous-produits du glycérol ne sont pas assez exploités</li> <li>• Organiser la rentabilité par la variété des débouchés</li> </ul>	
	<p><u>Bioraffinerie des graisses algales :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Champ de recherche développé en Allemagne</li> <li>• Les conditions climatiques ne sont pas favorables à ce type d’unité de production : seulement des bassins de production fermés peuvent être efficaces</li> <li>• Vise les gaz, acides gras, le glycérol, les fertilisants et des « <i>lyophilic valuable substances</i> » (p.49)</li> </ul>	
	<p><u>Bioraffinerie lignocellulosique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de ce type de bioraffinerie en s’appuyant sur l’industrie papetière allemande</li> <li>• Utilisation des ressources lignocellulosiques disponibles en Allemagne</li> <li>• R &amp; D sur les techniques chimiques et biotechnologiques de conversion développées</li> <li>• Problème de la décomposition de la lignocellulose (cellulose, hémicellulose, lignine)</li> <li>• Pas de concurrence entre alimentaire et non-alimentaire mais sur les différents usages du bois</li> <li>• Concurrence également sur l’accès aux matières premières avec la bioraffinerie des gaz de synthèse</li> <li>• Pilotes et unités de démonstration en cours de lancement ou déjà démarrés mais producteurs traditionnels ne se tournent pas vers ces activités</li> <li>• Forte concurrence avec les pays Scandinaves</li> </ul>	
	<p><u>Bioraffinerie des prairies :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possible uniquement sur une unité de production de biogaz. La production de matériaux est donc secondaire est en concurrence avec d’autres trajectoires technologiques (fibres, biotechnologies)</li> </ul>	
	<p><u>Bioraffinerie des gaz de synthèse :</u></p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement dans le prolongement des techniques de gaséification du charbon</li> <li>• Concurrence sur la lignocellulose</li> <li>• Industrie fortement capitalistique</li> <li>• « <i>potential product diversity not yet exhausted</i> » (p.15) : vise la production conjointe de carburants et de molécules chimiques à partir du méthanol principalement</li> <li>• Concurrence directe avec l'industrie de la chimie</li> <li>• Gaz fermentaires comme source d'énergie pour les biotechnologies</li> <li>• Concurrence avec l'Autriche et les Etats-Unis</li> </ul>	
	<p><u>Bioraffinerie du sucre et de l'amidon :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation du sucre ou de l'amidon déjà disponible en Allemagne</li> <li>• Production d'éthanol ou de plateformes pour la chimie ou de produits alimentaires</li> </ul>	
	<p><u>Sur la disponibilité des matières premières :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Certaines sont largement disponibles comme le sucre ou l'amidon alors que d'autres doivent être importées =&gt; diverses sources d'approvisionnement</li> <li>• Nouvelles plantes comme le miscanthus ?</li> <li>• Problème de prévisibilité en raison de la fluctuation des prix agricoles</li> </ul>	
	<p>« <i>The priority fields of action are:</i></p> <p><i>The conversion and refitting of existing, suitable biomass conversion plants into biorefineries with integrated material and energetic utilisation of renewable resources</i></p> <p>(...)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>The transferring of sustainable biorefinery concepts from the research stages to technical-, pilot-, demonstration- and production scale, with the objective of 'series production' in commercial facilities</i> » (p.91)</li> </ul>	<p>- Transformation de sites existants =&gt; organisation du compromis entre les patrimoines productifs et les technologies de la bioraffinerie</p> <p>- Mise en récit de l'industrialisation des procédés de façon linéaire qui entre en contradiction avec la dynamique d'articulation de technologies de la bioraffinerie et d'unités de production existantes</p>

Rapport salarial / relation d'emploi	X	
Rapport financier	« As far as possible, as in the other EU funding programs, it will be important to secure funding for projects for the development of biorefineries in Germany. The economic and ecological classification of biorefinery concepts will play a key role, both in terms of the comparability of individual platforms with each other, and of comparability with other biomass utilisation paths. (...) Such a classification is nevertheless urgently needed to help making decisions regarding future research and research funding, amongst others for pilot- and demonstration plants, and to effectively focus scarce private and public research budgets. While the focus on environmentally beneficial approaches is a requirement of environmental- and climate protection, the economic potential will decide whether a concept will be developed <sup>234</sup> up to a commercial scale and eventually enters the market » (p.16)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indique que la classification des unités de production (et leur qualification) vise à organiser la captation des financements en partie publics (développement de pilotes etc.)</li> <li>- Imposer institutionnellement des critères d'évaluation de rentabilités économiques, premiers sur les critères environnementaux</li> </ul>
Rapport commercial	<p>« However, the assessment of the individual biorefinery concepts shows that <b>considerable research is required before commercial practical applications can be fully realised</b><sup>235</sup>. Here, special attention should be given to the integration of various methods for the creation of coherent technical concepts, the upscaling from laboratory to industrial scale, the provision of raw materials, optimisation of the processes and products from primary- and secondary refining, as well as the conception of practicable and sustainable systems » (p.16)</p> <p>« Alongside the lacking competitiveness, a scarcity of information is a key barrier to market entry for biobased products and technologies. For this reason, ongoing measures from the German federal government and business will be continued and strengthened. Via the Agency for Renewable Resources and other communication channels of the BMELV and BMBF, the German federal government provides numerous advisory and information</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le rapport commercial n'est pas encore établi. Il est conceptualisé par un modèle linéaire du développement en laboratoire jusqu'à la démonstration et la commercialisation</li> <li>- soutien du gouvernement allemand à travers des programmes de soutien des produits issus des bioraffineries</li> </ul>

<sup>234</sup> Surligné par nous

<sup>235</sup> Surligné par nous.

	<p><i>services on renewable raw materials, bio-based products and technologies, as well as biorefineries, which – in cooperation with the private sector – should be continuously developed and circulated. The federal governments should support the development of networks for information exchange and for the strengthening of technology transfer between industry and research » (p.93)</i></p>	
--	---	--

## Annexe 7. La bioéconomie allemande dans « Wood in the Bioeconomy – Opportunities and Limits »

« Wood in the Bioeconomy – Opportunities and Limits »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	« Next to the agriculture, forestry is the most important sector of the economy which provides raw materials for the bioeconomy » (p.1)	
Rapport d'approvisionnement	<p>- « with a total stock of 3.7 billions m<sup>3</sup>, Germany has the largest stock of wood in the European Union. Within the last decade (2002 to 2016), the average stock per hectare has increased by 7% to 336m<sup>3</sup> » (p.2)</p> <p>- « for centuries, forestry and the timber industry have been an example of a sustainable and competitive bioeconomy (...) Increasing use of wood in Germany's bioeconomy therefore also requires expansion of the timber raw material base » (p.2)</p>	- Présentation du secteur forestier comme prêt à participer à la bioéconomie
	« It is therefore possible to sustainably increase future timber production by steering the composition of tree species towards productive mixed forests with a larger proportion of softwoods. The softwood tree species of interest include established, introduced tree species, such as the Douglas fir and Grand fir, which display high growth and good stability against extremes of climate in Germany. They can easily be mixed with native tree species such as beech » (p.3)	- Organisation de la disponibilité de la ressource qui doit tout de même rester variée (éviter la spécialisation unique)
	« To secure the role of forests in the bioeconomy, it is necessary to solve the existing conflict of aims between nature conservation, which restricts the use of forest wood, and resource protection, which is aimed at its long-term use. It therefore requires the development of locally adapted societal principles (Leitbilder) for using natural resources (...) Raw timber and wood-based products can also be imported to cover increasing demand. Due to the huge significance of forests worldwide for climate protection and biodiversity protection, particular attention must be paid here to the sustainability of forest management in the regions of origin » (p.5)	- Expression de la question de l'usage des ressources naturelles => renvoie à la première bioéconomie
	« There are two major lines of development for innovative biorefinery processes: One route is the digestion of wood with subsequent enzymatic hydrolysis to obtain fermentation feedstocks and lignin. Thermochemical processes which provide fuel or basic chemicals as a result of pyrolysis or gasification are another option for using wood and straw in biorefineries. Closer linking of the various options for use in order to further improve the	- installation de l'utilisation du bois pour l'énergie ou les matériaux dans les patrimoines productifs 1 (thermochimie) et 2 (biotechnologies) qui correspondent aux domaines de la chimie particulièrement présents en Allemagne

	<i>efficiency and cost-competitiveness of using wood must be an important approach. This also includes increased utilization of waste streams or process byapass streams » (p.2).</i>	
Rapport salarial / relation d'emploi	X	
Rapport financier	X	
Rapport commercial	<i>« classic products based on solid wood, wood-based materials and paper will continue to make the timber sector's largest contribution to the bioeconomy. It can also be assumed, however, that in future the areas of use for wood will diversify and that new high-quality products made from wood and wood components will become increasingly important. Due to very different material properties, there is only a limited possibility of wood being a direct functional replacement for steel and concrete » (p.1)</i>	

## Annexe 8. La bioéconomie allemande dans « Future Development of Mechanisms for the Support of public and private Research in Regard to the Needs of the Bio-Economy »

« Future Development of Mechanisms for the Support of public and private Research in Regard to the Needs of the Bio-Economy »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	X	
Rapport d'approvisionnement	X	
Rapport salarial / relation d'emploi	<p>« Training and education represent an important link in the funding chain. Full financial support of training and educational programmes should be provided – those involved should not be expected to make a financial contribution. (...) The academic incentive system should be designed to promote interdisciplinary and application- orientated academic carrers that correspond with the holistic strategy of the bioeconomy » (p.7)</p>	<p>- Formation des étudiants dans des cursus d'ingénierie visant à les intégrer dans les unités de production de la bioéconomie</p>
Rapport financier	<p>« Enhanced support for bottom-up projects within an overall strategy will promote the development of original concepts that are not free of risk but which could, overt the long term, result in the formulation of innovative solution (...) In most cases, the determining factors here is the availability of own and external capital. Access to funding lines noramilly only provided in pre-competitive phases could be continued beyond the actual research and development stage (...) A clearing centre will be required that will have the capacity to regulate the various funding instruments over the long term. (...) The objective should be to put in place a public research funding structure that results in a complementary mobilisation of private investment. A mixed (public/private) funding concept is necessary so that the various individual strengths of the participating stakeholders along the value creation chain and of the various academic and technical disciplines can be accounted for, and the range of tasks and involvement strategies within projects as a whole can be covered » (p.7)</p>	<p>- Organiser le financement autour de projets portés collectivement par les industries, qui doit mêler des financements publics et privés. Seuls les projets capables de lever des fonds privés pourront être financés.</p>

	<p>« Incentive and start-up funding systems need to be created to promote the development and establishment of value creation chains. These should ensure that those at the commencement of the chain are rewarded with an adequate share of the enhanced value at the other end of the chain » (p.8)</p>	<p>- Financer projets dont les débouchés sont assurés (=&gt; incitation à la formation de partenariats + modèle des start-ups)</p>
	<p>« Such strategies include the provision of funds to promote growth, market launch programmes and lead market initiatives, the construction of pilot and demonstration plants, greater exploitation of EU funding policies, the formation of alliances, the restructuring of value creation chains and the particularly important aspect of the support of SMEs. In Europe, bioeconomic research is not likely to be promoted in future through public private partnership models (PPP biobased industries, PPP food industries). This will necessitate increased investment on the part of the private partners. As a result, SMEs will require that suitable financial conditions are put in place (e.g. increased access to own equity/venture capital) so that they will be able to play a significant and long term role within such a scenario » (p.9)</p>	<p>- modèle mêlant acteurs collectifs, firmes, start-ups, marchés financiers, dans lequel les pouvoirs publics servent à transcrire les positions dominantes et en assurer le financement</p>
	<p>« In view of the complexity of bioeconomy-related projects, project location plays a significant role. Before project initiation, locational factors (e.g. how accessible are project facilities ?) need to be assessed while the potential social effects also need to be taken into account » (p.8)</p>	<p>- quelle localisation de la production ? =&gt; si possible, sur des sites déjà existants</p>
<p>Rapport commercial</p>	<p>X</p>	

## Annexe 9. La bioéconomie finlandaise dans « Sustainable growth from bioeconomy: The finnish bioeconomy strategy »

« Sustainable growth from bioeconomy: The finnish bioeconomy strategy »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	« In 2030, the world will need 50% more food, 45% more energy and 30% more water than today. The growing demand will result in a scarcity of natural resources and push their prices up. The availability of raw materials and the efficiency of their use will thus become a new competitive advantage. » (p.5)	
	« The bioeconomy is not a new industry; it is a combination of several primary production and refining sectors and end product markets. Typical features of thoe bioeconomy inclue the use of renewable, bio-based natural resources, environmentally friendly clean technologies and efficient recycling of materials. » (p.5)	
	<p><u>Dimensions de la soutenabilité :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Préservation de l'eau</li> <li>• Gestion des forêts</li> <li>• « smart green urban regions » (p.24)</li> </ul>	
Rapport d'approvisionnement	« Finland has plentiful forest resources. Their increment has for decades exceeded the volumes harvested, and they thus offer major growth opportunities for our bioeconomy. (...) Finland also has many other, up until now under-exploited biomass resources for which new uses and openings are now being discovered. » (p.6)	
	« The history of the bioeconomy in Finland begins from the era when the ice sheet started receding some 10,000 years ago. (...) In early 20th century Finland, the natural resource economy relied heavily not only on fields but also on forests. The first « industrial product » from the forest was wooden ships and tar needed to protect them. (...) The growing need for paper in the world market and the shortage of rags used to manufacture it resulted in technologies for making pulp and paper from wood. In addition to sawn goods, these have been among the most important products for the Finnish	- Mise en récit de la forêt comme PPC

	<p>export industry. The roots of sustainable forest management go back as far as the 17th century Sweden. In the first Forest Act applicable in Finland that was passed in 1886, the principle of sustainability was expressed as follows: you shall not devastate the forest. The principles of ecological and social sustainability were added to economic sustainability in the Forest Act of 1996. We also relied on our forests in the time of war; as oil products were not available, a wood gas burner was developed. After the Second World War, timber and timber products were also used to pay a major part of the war reparations. » (pp. 6-7)</p>	
	<p><u>Débouchés pour la « forest industry » :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement d'outils d'exploitation et transformation du bois</li> <li>• Méthodes de pré-traitement</li> <li>• Production d'énergie à partir de bois (pyrolyse)</li> <li>• Produits chimiques</li> <li>• Construction</li> </ul>	
	<p>« strong Finnish competence areas will also include biochemical methods, pulping technologies and enzyme production for the refining of biomass » (p.12)</p>	
	<p>« Competitive bioeconomy requires the creation of centres of expertise of an international standard and reform of the priorities and operating models of research. The bioeconomy is a multidisciplinary entity where competitive solutions cannot be produced without consolidating several sectors and types of competence. New knowledge and expertise are continuously being created in the world. Finland must make sure of its ability to utilise and apply this knowledge fast and efficiently in creating bioeconomy solutions. » (p.28)</p>	- Question de l'exploitation de la base de connaissances
	<p>« As the growth potential for the Finnish bioeconomy to a great extent depend on exploiting our biomass resources, we must ensure that EU legislation or other international decisions will promote rather than obstruct the use of biomass. » (p.29)</p>	
Rapport salarial / relation d'emploi	<p>« The objective of the Bioeconomy Strategy is to increase the output of our bioeconomy to EUR 100 billion by 2025 and to create 100,000 jobs. » (p.8)</p>	
	<p>« The current educational offer can be exploited to educate bioeconomy experts by incorporating renewable natural resources in the existing programmes. As the bioeconomy aims for new business and jobs, the relevant</p>	

	<i>education should also contain business studies and encouragement to enterprising. » (p.28)</i>	
Rapport financier	<p>« <i>Equity financing and investments in innovation will be required to ensure bioeconomy development and attract investments. By developing equity financing for bioeconomy companies we can create prerequisites for the establishment and fast growth of new businesses and growth companies » (p.25)</i></p> <p>« <i>Prioritising the bioeconomy through cooperation between public finance providers for research and innovation and allocating public research and innovation funding to the bioeconomy within the limits allowed by the state economy » (p.25)</i></p>	<p>- financement privé par action</p> <p>- Soutien public à la recherche</p>
Rapport commercial	<p><u>Soutien à la demande :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Labellisation pour les achats publics</li> <li>• Insister sur la soutenabilité des produits</li> <li>• Développement de certifications</li> </ul> <p>« <i>In many respects the bioeconomy is new and in a growth phase. References will be needed to trigger demand: new bioeconomy solutions must be experimented with, piloted and demonstrated in order to commercialise innovations, ensure the functioning of the solutions and reap concrete benefits. » (p.26)</i></p> <p>« <i>Measures :</i></p> <p>- <i>Implementing bioeconomy pilot and demonstration projects in cooperation between finance providers (financial instruments of the EU programming period 2014-2020, domestic public and private R&amp;D&amp;I funding).</i></p> <p>- <i>Adjusting the operating models of finance providers for research and innovation to enable experimentation.</i></p> <p>- <i>Harnessing the competence of government sectoral research institutes and testing environments to the planning and implementation of pilot and demonstration projects. » (p.26)</i></p> <p>« <i>The future challenge to the Finnish business sector will be increasing the added value. A higher value for customers can be produced by investing in various immaterial value creation factors, including brand management,</i></p>	<p>- Tension entre les secteurs existants de la bioéconomie et le soutien à son développement</p> <p>- Mesures de soutien appuyées sur 1) des PPP, 2) le financement de plateformes de démonstration et 3) le financement de projets de recherche par l'Etat</p>
	« <i>The future challenge to the Finnish business sector will be increasing the added value. A higher value for customers can be produced by investing in various immaterial value creation factors, including brand management,</i>	- Question de la constitution de l'identité des produits

intellectual property rights and design, while also achieving competitive advantages that are difficult to imitate. » (p.27)

## Annexe 10. La bioéconomie italienne dans « Les bioplastiques : études de cas de la bioéconomie en Italie »

<i>Les bioplastiques : études de cas de la bioéconomie en Italie</i>	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	<p>« Il existe un secteur important de l'économie qui tourne autour de l'environnement et du développement durable : l'économie verte. (...) Dans ce domaine, les bioraffineries intégrées – dont le champ d'application s'étend de l'utilisation de ressources renouvelables et de matières premières de production locale à la recherche et au développement de nouveaux produits chimiques, matériaux, carburants de nouvelle génération et bioplastiques – constituent un exemple précieux de valorisation du territoire visant une utilisation plus efficace des ressources ; elles peuvent également représenter un nouveau modèle de développement, tout d'abord culturel, puis industriel, qui tend à établir des interactions entre des secteurs autrefois éloignés, appliquant à la biodiversité et à la culture locale les connaissances scientifiques et technologiques les plus avancées. Plus précisément, les bioraffineries intégrées, orientées vers la filière des bioplastiques, représentent un secteur d'avant-garde, dans lequel l'Italie s'avère très compétitive et compte des exemples de renom » (p.10)</p>	
	<p>« Il faut recommencer par le territoire, l'économie de la connaissance, l'observation attentive de la nature et de sa capacité extraordinaire à intégrer chimie, physique et biologie dans des systèmes circulaires, qui ne produisent pas de déchets et où chaque élément de la chaîne, même le plus petit et apparemment le plus faible, joue un rôle fondamental. » (p.12)</p>	- Bioéconomie comme modèle de développement
	<p>« la bioéconomie durable permet aux écosystèmes de conserver leur capacité d'évolution et à tous de bénéficier du flux intarissable de créativité, d'adaptation et d'abondance dont la nature est capable » (pp. 12-13)</p>	- Bioéconomie italienne largement influencée par la bioéconomie du premier type

	<p>« On peut saisir tellement d'opportunités si l'on se concentre vers l'élimination des déchets, en transformant des problèmes locaux en activités d'entreprise et en développant une vision systémique à l'opposé de la culture de management qui a contribué au modèle de développement à effet dissipatif dans lequel nous vivons. » (p.15)</p>	<p>- Contrainte locale comme opportunité de développement</p>
	<p>« La nouvelle loi italienne [d'interdiction des sacs de caisse à usage unique] s'est révélée être un exemple important d'acino de soutien à la bioéconomie. L'innovation a besoin d'un « environnement » adapté, à savoir de conditions législatives qui favorisent le développement du processus industriel et commercial ainsi que l'adoption, par le marché, de produits de niches innovants et durables. (...) La hausse de la demande en sacs biodégradables et compostables a permis la création de nouvelles filières agroindustrielles et la consolidation de celles qui existent déjà, en encourageant l'innovation et le développement de la bioéconomie (...). » (p.27)</p>	<p>- Importation d'une vision en termes de systèmes sectoriels d'innovation</p>
	<p>« D'ailleurs, en Italie, le développement de bioraffineries intégrées locales montre comment l'emploi de récoltes locales provenant d'anciennes friches industrielles, combiné à des sous-produits locaux, constitue un atout pour créer des synergies avec le monde agricole, afin de redynamiser et de relancer la production dans certains régions, tout en respectant l'écosystème et la biodiversité locale » (p.29)</p>	
	<p>« Le concept d'efficacité des ressources rappelle en soi la notion de gestion durable des déchets. La loi de conservation de la matière établit que celle-ci ne peut être ni créée ni détruite par l'homme, mais seulement transformée. (...) Il en découle que l'activité économique ne peut faire abstraction des contraintes relatives à la matière et aux déchets, et que les ressources disponibles doivent être optimisées, c'est-à-dire utilisées de manière à obtenir un rendement optimal en produisant le moins possible. » (p.34)</p>	<p>- Inscription de la bioéconomie d'économie circulaire =&gt; 1<sup>ère</sup> bioéconomie</p>
	<p>« La loi italienne sur les sacs de caisse favorise actuellement un processus d'innovation incrémentale induite qui permet d'expérimenter une innovation sur le territoire et d'en évaluer les retombées effectives, en créant de nouvelles compétences d'économie de système et des ponts entre des secteurs normalement éloignés : chimie, agriculture, biotechnologie, pétrochimie, industrie de transformation, industrie des déchets, administrations publiques, centres de recherche, associations, consortia obligatoires et volontaires (...) Cela a créé les conditions qui ont rendue possible la naissance en Italie du Cluster Technologique National de la « Chimie verte », impliquant les trois réalités industrielles les plus importantes investissent actuellement de manière significative sur le territoire (Novamont, Eni Versalis et Chemtex Italia) (...). » (p.75)</p>	

Rapport d'approvisionnement	« Les matières premières de la bioéconomie sont d'origine locale et exploitées dans une approche en cascade, de la manière la plus efficace possible, comme élément d'un système intégré, ce qui les rend plus compétitives que celles actuellement employées. » (p.12)	
	« Il s'agit d'une recette particulièrement intéressante pour l'Italie, Pays caractérisé par une nature riche en biodiversité, un réseau de petites et moyennes entreprises ouvertes à l'innovation ne dressant pas de barrières au changement, et une série de sites industriels ayant une grande histoire, mais à présent trop petits et porteurs de technologies trop obsolètes pour être compétitifs au plan mondial. Ces sites constituent aujourd'hui des nœuds critiques en matière d'emploi, d'environnement et de revalorisation du territoire et font l'objet de spéculations de différents types. » (p.16)	-
	« les sites chimiques nationaux pourraient devenir une formidable opportunité pour redéfinir le système et garantir un développement de qualité, grâce à l'application des innovations environnementales diversifiées avec régie globale, visant à promouvoir une agriculture durable, des bioraffineries intégrées, l'activité entrepreneuriale, l'économie de la connaissance, tout ne portant une plus grande attention envers les traditions culturelles locales et les qualités des paysages. (...) Ces nouvelles applications pourront permettre d'affronter avec une plus grande détermination la crise de la pétrochimie, plus forte en Italie que dans d'autres Pays européens, et les questions de la désindustrialisation des sites chimiques et de désertification de certaines régions particulièrement problématiques de l'Italie du Sud. » (p. 16)	- Le problème des sites chimiques fermés travaillés comme des bioraffineries en devenir - Développement territorial à partir des unités de production existantes - mise en avant d'une « économie de système » => mise en récit des patrimoines territorialisés dans une dynamique nationale
	- Problème d'érosion des sols en raison des pratiques culturales => y remédier par l'organisation industrielle de la production de composts à partir des déchets ménagers - « Le compost issu des biodéchets des ménages ou des activités agricoles, peuvent servir de substituts aux engrais nécessaires pour faire vivre et accroître un production agricole durable (...). Les biodéchets ménagers et agro-industriels deviennent ainsi une ressource rare à valoriser dans la perspective d'une bioéconomie, dans laquelle agriculture et industrie collaborent étroitement à la création de filières intégrées localement » (p.36)	- Pose la question de l'organisation à l'échelle de la société => ACV comme outils de coordination (cf. p.39) et organisation par l'Etat de la récolte des déchets ménagers
	- Mise en récit de l'exploitation des déchets issus de la collecte grâce à l'industrialisation de procédés disponibles, grâce à l'existence d'une industrie pour produire les outils de production	

Rapport salarial / Relation d'emploi	X	
Rapport financier	X	
Rapport commercial	« En particulier, la construction de « bioraffineries intégrées au territoire, de troisième génération », principalement tournées vers des <b>produits innovants à plus haute valeur ajoutée par rapport à l'énergie et aux biocarburants, tels les matériaux issus de la biochimie et les bioplastiques</b> , permettra l'affirmation d'un nouveau modèle avant tout socioéconomique et culturel, puis industriel, donnant d'abord la priorité à l'utilisation des biomasses, dans le respect de la biodiversité locale, et créant de nouveaux emplois » <sup>236</sup> (p.64)	- La bioraffinerie n'est pas dédiée à la production de biocarburants mais de produits à forte valeur ajoutée

---

<sup>236</sup> Surligné par nous.



Annexe 11. La bioéconomie italienne dans « The biobased chemical industry towards an Italian strategy of Bioeconomy »

« The biobased chemical industry towards an Italian strategy of Bioeconomy »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	« It is therefore fundamental to promote it [la bioéconomie, NdA] in each country through long-term industrial policies linked to national strategies which, through a suitable legislative framework, could favour the use of renewable raw materials, the development of innovative technologies linked to efficient resources and the creation of sustainable, low-impact value chains, with a holistic, multi-disciplinary approach which involves all areas and stakeholders, from primary production to final consumption. » (p.1)	
	« the <b>National Technological Cluster of Green Chemistry SPRING</b> has decided to draft a shared strategic document to enable the consolidation of the <b>Italian model of chemistry from renewable sources within the broader context of the Bioeconomy, with structural support from the political-institutional sphere (...)</b> . » (p.2)	
	« For this reason the <b>Cluster SPRING</b> , representing the national realities of excellence throughout the <b>entire Italian value chain of chemistry from renewable sources</b> , intends to define and reinforce its role as the <b>principal point of contact</b> for local, national and European institutions operating in this sector. It therefore believes it is important to seize this opportunity to <b>present its own position</b> as part of a national strategy relating to the entire value chain of chemistry from renewable sources, that could hopefully be situated within a broader Italian strategy on the Bioeconomy and on national implementation of a circular economy model, with structured support from the political and institutional world. » (p.2)	
	« Regional scale of the Bioeconomy  Adoption of a model based on « Sustainable Regions » which, actors of a shared national strategy, can develop case studies and ensure environmentally virtuous production which respects ecosystems » (p.5)	
	« A production activity based on:	

<p>Rapport d'approvisionnement</p>	<p><i>The <b>sustainable production of biomass</b>, to increase the added value of agricultural production with complete respect for the biodiversity of local areas, in collaboration with the agricultural world and creating partnerships with local actors;</i></p> <p><i>The <b>creation of agro-industrial chains which, as far as possible, are local and integrated</b>, making it feasible to maximise the creation of value with the widest possible base while also providing security to the supply chain for new industrial initiatives;</i></p> <p><i>The <b>efficient use of biomass</b>, to obtain products for industrial usefulness, reducing energy consumption and recovering nutrients for the soil, raw materials for animal feed and bioenergy as by-products, as well as transforming waste into resources;</i></p> <p><i>The <b>use of a broad range of innovative technologies</b> to optimise the availability of biomass, processes facilities and products;</i></p> <p><i>The <b>creation of opportunities for qualified employment</b> in all areas of the value chain, and the support to interventions which can provide an impetus to a green economic development with a holistic and multi-sector approach. » (p.3)</i></p>	
	<p><i>« Renewable resources as raw materials :</i></p> <p><i>Determination of the most suitable species and biomass at a local level (waste or dedicated low-impact crops) to be used in biorefinery processes, limiting climate-altering gas emissions associated with use of the land;</i></p> <p><i>Identification and use of marginal and/or contaminated lands, avoiding the over-use of soil in line with international policies on climate change and biodiversity and in synergy with regional and local policies;</i></p> <p><i>Promotion of the efficient use of biomass (by extracting all possible value from renewable resources, starting from food and feed components, passing</i></p>	

	<p><i>through the production of materials and recovering energy content from products at the end of their life cycle);</i></p> <p><i>Construction of new supply chains with the agricultural world, ensuring competitive conditions in biomass production processes for all participants in the value chain » (p.4)</i></p>	
	<p><i>« Biorefineries :</i></p> <p><i>Creation of integrated biorefineries to obtain high value-added products (biochemicals, biomaterials);</i></p> <p><i>Development and optimisation of innovative technologies and efficient processes through R&amp;D and scale-up activities aimed at favouring the construction of pilot plants and demonstrators;</i></p> <p><i>Reconversion of industrial areas decommissioned or affected by the crisis; » (pp. 4-5)</i></p>	
	<p><i>« New biobased markets</i></p> <p><i>Development of new markets for biobased products by encouraging specific measures aimed at incentivising the productivity and efficiency of resources – such as enhancing dedicated infrastructures, increasing skills and employment opportunities in the agrifood and aquatic food products sectors, developing innovative technologies and promoting intra-sector collaborations among all the actors in the value chain, favouring the exchange of knowledge among the various stakeholders (from the agricultural, research, industrial and institutional world) and creating a favourable environment for investments which facilitates access to available financing; » (p.5)</i></p>	
Rapport salarial / relation d'emploi	X	
Rapport financier	« Investments of over a billion euro have already been made in Italy in the area of chemistry from renewables sources for the reindustrialisation of decommissioned or no longer competitive sites of national importance and for the construction and launch of four <b>flagship plants</b> , the first of their kind in the world. A further two hundred millions euro from private-sector investments have been allocated to the	- financement de projets flagships.

	<p><i>research and development sector, in support of multidisciplinary projects involving universities and leading research centres. » (p.3)</i></p>	
	<p><i>« Activities of training dissemination and facilitation of synergies between various development and investment funds (such as European Structural funds and investment funds, Horizon 2020, COSME and other programmes for innovation and competitiveness » (p.5)</i></p>	
Rapport commercial	<p><i>« Political and legislative framework</i></p> <p><i>Development of reference standards for identifying biobased products, with reference to minimum environmental criteria (i.e. Italian CAM in public procurement, PEF, etc.);</i></p> <p><i>Introduction of clear biobased certification systems linked to sustainability criteria, with actions in support of real biobased products coming from the technologies developed and which have benefitted from significant investments;» (p.5)</i></p>	

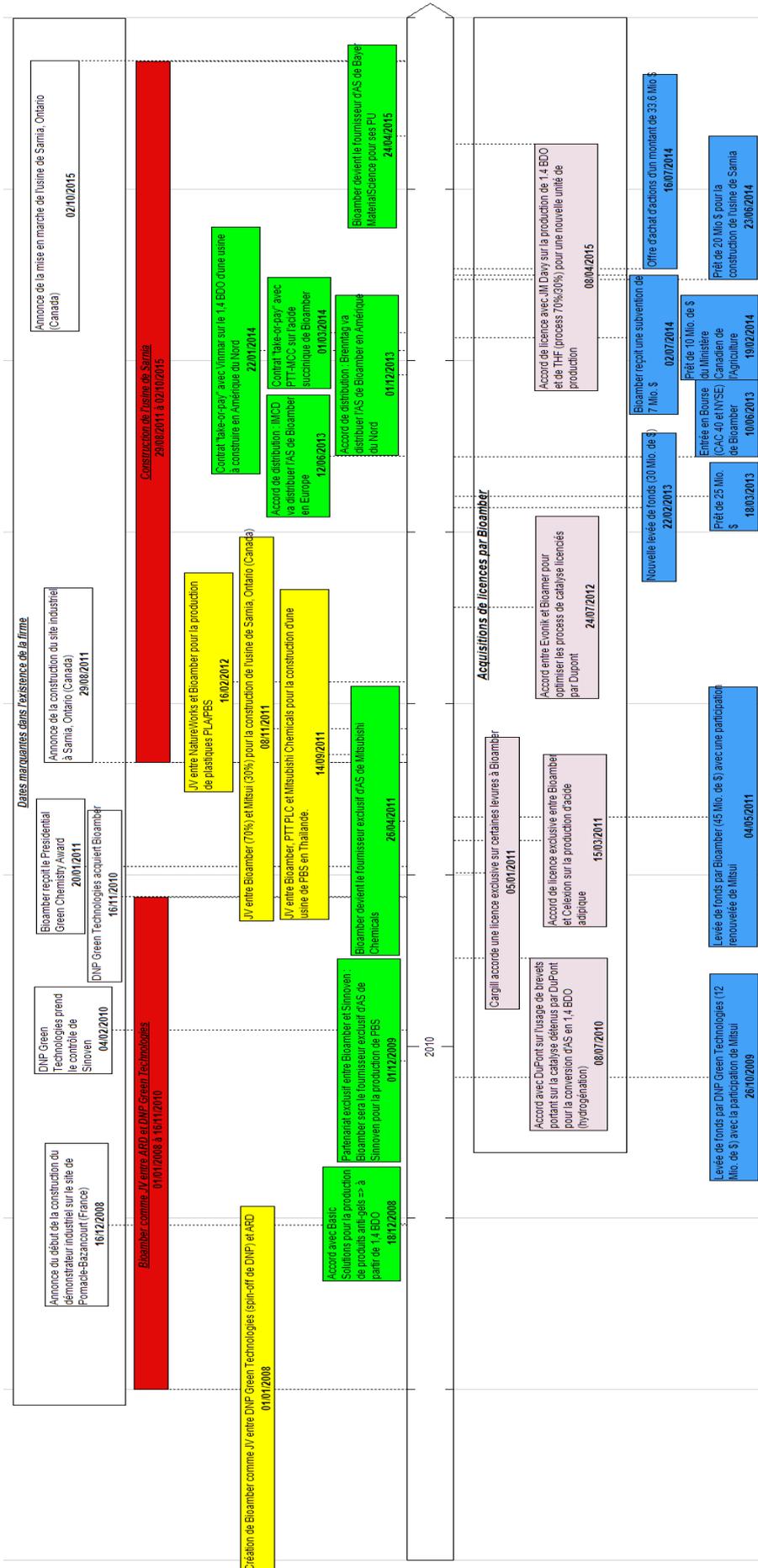
## Annexe 12. La bioéconomie dans « The National Technological Cluster of Green Chemistry »

« The National Technological Cluster of Green Chemistry »	Position	Commentaire
Fonctionnement global de l'industrie	<p>« <i>the Cluster represents the opportunity to strengthen and speed up the Italian transition towards a more sustainable development model, which aims to promote the reconversion of decommissioned and not competitive sites into biorefineries, with the objective of enhancing human resources and know-how and of refocusing objectives of industriable development towards sectors/segments that could enable the country to face global competition.</i> » (p.12)</p>	<p>- Présence dans tous les documents de la bioéconomie pour revitaliser les sites de l'industrie de la chimie et organiser des rapports avec les territoires par l'intermédiaire des ressources agricoles</p>
	<p>« <i>The important efforts already underway by some big players participating in the Cluster, as evidenced by significant investments in research and the construction of pilot plants and industrial plants, lay the basis for the Cluster to play his role in the relaunch of the chemistry sector. This may as well foreshadow the revitalization of many manufacturing sites currently facing problems, declining a forward-looking model of bioeconomy able to involve local areas in a process of innovation that could bring back to Italy the production of raw materials at competitive costs and with environmental and social benefits.</i> » (p.13)</p>	
	<p><u>Domaines d'intérêts du cluster :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de matières premières dédiées, de restes et des co-produits</li> <li>Planification de l'usage des terres pour réussir une gestion soutenable des écosystèmes tout en permettant de restaurer la fertilité des sols</li> <li>Soutien à des procédés et technologies permettant la diffusion de produits à fortes valeur d'usage et performance environnementale</li> <li>Optimisation des procédés dans les bioraffineries</li> </ul>	
	<p>« <i>The Cluster aims to become a reality of reference at a local, national and European level in the field of « green » chemistry, helping to define the implementation of a national policy on bioeconomy and to convey it in Europe.</i> » (p.15)</p>	

	<p><i>« As a result, the Cluster of Green Chemistry intends, in the general planning for the medium and long term:</i></p> <p><i>To create in the field of biobased economy a reality of excellence with an international profile;</i></p> <p><i>To support continuous interaction among the members and the possible external realities, in order to bring out and support the planning/implementation of innovative strategic projects and a significant technological impact for the sector of « green » chemistry;</i></p> <p><i>To relaunch the creation of public-private partnerships for the implementation of major national innovative research projects having international impacts</i></p> <p><i>To promote the testing/demonstration of prototypes and pilot plants for the production of biochemicals and biomaterials for the validation of research on an industrial scale;</i></p> <p><i>To encourage processes of synergic integration among the chemical, engineering, design, food, agriculture and waste management sectors. » (p.16)</i></p>	
<p>Rapport d'approvisionnement</p>	<p><i>« An important part of the Cluster efforts is aimed at determining the most appropriate local species, such as scraps or dedicated crops, to be used in biorefinery processes, with the objective of acting in synergy with local ecosystems and biodiversities and to promote a cascade use of biomass (that is, extracting all the value from renewable resources, starting from food and feed and components, passing through materials production and finally recovering the products energy content at the end of their life-cycle). The Cluster also aims to stimulate the construction of new supply chains with the agricultural sector, in order to enhance the resources of local areas and to optimize the use of marginal and/or contaminated lands, with possible positive effects on economic development in rural areas, on environmental recovery and on hydrogeological reorganization. » (p.6)</i></p>	
	<p><i>« The development of biorefineries is related to the construction of plants smaller than the conventional petrochemicals ones; it therefore allow an integration in synergy with local areas and an increased flexibility in the production system. » (p.7)</i></p>	

Rapport salarial / relation d'emploi	X	
Rapport financier	X	
Rapport commercial	X	

# Annexe 13. Frise chronologique de l'évolution de Bioamber



## Annexe 14. Les principaux brevets de Bioamber

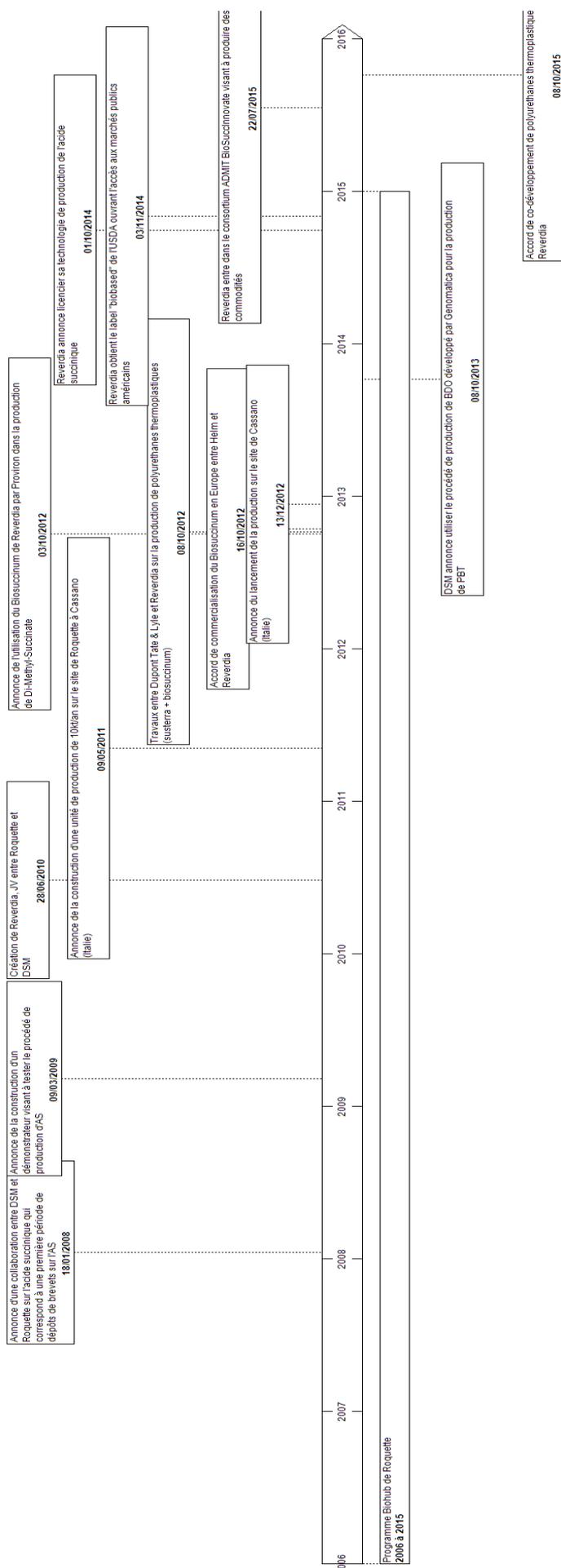
<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
Succinic acid production and purification (CA2301177 C)	Berglund <i>et alii.</i>	2008	A highly efficient process for the production and recovery of pure succinic acid from a succinate salt that involves minimal use of additional reagents, and produces virtually no waste by-products, and permits internal recycle of the base and acid values, is provided. The method involves the formation of diammonium succinate, either by using an ammonium ion based material to maintain neutral 8 pH in the fermenter or by substituting the ammonium cation for the cation of the succinate salt created in the fermenter. The diammonium succinate can then be reacted with a sulfate ion, such as by combining the diammonium succinate with ammonium bisulfate and/or sulfuric acid at sufficiently low pH to yield succinic acid and ammonium sulfate. The ammonium sulfate is advantageously cracked thermally into ammonia and ammonium bisulfate. The succinic acid can be purified with a methanol dissolution step. Various filtration, reflux and reutilization steps can also be employed.
Deicing and heat transfer fluid compositions (US7938981 B2)	Dunuwila et Bernier	2011	A composition for deicing or for the preparation of a heat transfer fluid is provided. The composition comprises a mixture of at least two carboxylic acid salts having a t/c ratio of 2 or lower, including a dicarboxylic salt and a monocarboxylic salt, said dicarboxylic salt being present in the mixture in an amount of at least 50 wt % of the weight of the mixture, on a dry basis. More particularly, said mixture is including a succinate and a formate, wherein the succinate is in an amount of at least 50 wt %, on a dry basis. Also provided is a method for deicing a surface or preventing the accumulation of ice, snow or a mixture thereof on a surface, comprising a step of applying on a surface covered by ice, snow or a mixture thereof, or susceptible of being covered by ice, snow or a mixture thereof, the above composition. The composition is also useful for the preparation of a heat transfer fluid coolant to be used in a heat transfer system comprising a heat transfer fluid provided with a cooling system.
Processes for producing adipic acid from fermentation broths containing diammonium adipate (US20110269993 A1)	Fruchey <i>et alii.</i>	2011	Processes for making AA from either a clarified DAA-containing fermentation broth or a clarified MAA-containing fermentation broth that include distilling the broth under super atmospheric pressure at a temperature of >100° C. to about 300° C. to form an overhead that comprises water and ammonia, and a liquid bottoms that includes AA, and at least about 20 wt % water; cooling the bottoms to a temperature sufficient to cause the bottoms to separate into a liquid portion and

			a solid portion that is substantially pure AA; and separating the solid portion from the liquid portion. A method also reduces the broth distillation temperature and pressure by adding an ammonia separating and/or water azeotroping solvent to the broth.
Processes for producing diaminobutane (dab), succinic dinitrile (sdn) and succinamide (dam) (CA2798335 A1)	Fruchey <i>et alii.</i>	2011	Processes that make nitrogen-containing compounds include converting succinic acid (SA) or monoammonium succinate (MAS) derived from a diammonium succinate (DAS)- or MAS-containing fermentation broth to produce such compounds including diaminobutane (DAB), succinic dinitrile (SDN), succinic amino nitrile (SAN), succinamide (DAM), and related polymers.
Processes for producing succinic acid from fermentation broths containing diammonium succinate (US8246792 B2)	Fruchey <i>et alii.</i>	2012	Processes for making SA from either a clarified DAS-containing fermentation broth or a clarified MAS-containing fermentation broth that include distilling the broth under super atmospheric pressure at a temperature of >100° C. to about 300° C. to form an overhead that comprises water and ammonia, and a liquid bottoms that includes SA, and at least about 20 wt % water; cooling the bottoms to a temperature sufficient to cause the bottoms to separate into a liquid portion and a solid portion that is substantially pure SA; and separating the solid portion from the liquid portion. A method also reduces the broth distillation temperature and pressure by adding an ammonia separating and/or water azeotroping solvent to the broth.
Processes for purification of succinic acid via distillation (US20130150621 A1)	Bernier <i>et alii.</i>	2013	Processes for removing color bodies from crude succinic acid comprising distillation of crude succinic acid and collecting the distillate in a water-containing receiver. The color bodies substantially remain in the distillation bottoms and the purified succinic acid in the water-containing receiver is substantially free of color bodies.
Compositions and methods for succinate production (US20130302866 A1)	Finley <i>et alii.</i>	2013	The present application provides genetically modified yeast cell comprising an active succinate fermentation pathway, as well as methods of using these cells to produce succinate.
Processes for producing diaminobutane (dab), succinic dinitrile (sdn) and succinamide (dam) (EP2571839 A1)	Fruchey <i>et alii.</i>	2013	Processes include providing a clarified diammonium succinate (DAS)- or monoammonium succinate (MAS)- containing fermentation broth; distilling the broth of an overhead that includes water and ammonia, and a liquid bottoms that includes SA, and at least about 20 wt% water; cooling the bottoms to a temperature sufficient to cause the bottoms to separate into a liquid portion in contact with a solid portion that is substantially pure SA; separating the solid portion from the liquid portion; and converting the solid portion to produce nitrogen containing compounds such as diamino butane (DAB), succinic dinitrile

			(SDN), succinic amino nitrile (SAN) or succinamide (DAM) and downstream products.
Processes for the production of hydrogenated products (US8466300 B2)	Fruchey <i>et alii.</i>	2013	A process for making a hydrogenated product includes providing a clarified DAS-containing fermentation broth; distilling the broth under super atmospheric pressure at a temperature of >100° C. to about 300° C. to form an overhead that includes water and ammonia, and a liquid bottoms that includes SA, and at least about 20 wt % water; cooling the bottoms to a temperature sufficient to cause the bottoms to separate into a liquid portion in contact with a solid portion that is substantially pure SA; separating the solid portion from the liquid portion; recovering the solid portion; hydrogenating the solid portion in the presence of at least one hydrogenation catalyst to produce the hydrogenated product including at least one of THF, GBL or BDO; and recovering the hydrogenated product.
Emulsifying compositions based on alkyl polyglycosides and esters (US8492445 B2)	Renault <i>et alii.</i>	2013	An emulsifying composition, characterised in that it contains by weight, excluding impurities, (i) 1 to 98% by weight of a mixture of alkyl glycosides R1O(G1)g1(G2)g2(G3)g3(G4)g4(G5)g5, (ii) 1 to 90% by weight of a mixture of alcohol esters R2OZ, (iii) 1 to 90% of an alcohol R3OH, and (iv) 4 to 90% of a mixture of alkyl glycoside esters R4O(X1)x1(Z)z1(X2)x2(Z)z2(X3)x3(Z)z3(X4)x4(Z)z4(X5)x5(Z)z5, is disclosed In accordance with the composition, R1 is a hydrocarbon radical, linear or branched, saturated or unsaturated, having 10 to 22 carbon atoms. G1, G2, G3, G4, G5 are identical or different residues of -oses selected from glucose, galactose, mannose, fructose, ribose, xylose and arabinose, g1, g2, g3, g4 and g5 being equal to 0 or 1, the sum of g1, g2, g3, g4 and g5 being at least equal to 1. The composition has emulsifying capacity in the presence of electrolytes or in the case of paraffin-based emulsions.
Processes for purification of succinic acid via distillation or sublimation (WO2013088239 A3)	Bernier <i>et alii.</i>	2014	Processes for removing color bodies from crude succinic acid comprising distillation of crude succinic acid and collecting the distillate in a water-containing receiver. The color bodies substantially remain in the distillation bottoms and the purified succinic acid in the water-containing receiver is substantially free of color bodies. Alternatively, the color bodies can be removed using sublimation.
Processes for producing succinic acid from fermentation broths (EP2371804 B1)	Fruchey <i>et alii.</i>	2014	Résumé indisponible

Processes for producing butanediol (bdo), diaminobutane (dab), succinic dinitrile (sdn) and succinamide (dam) (US20140135471 A1)	Fruchey <i>et alii</i> .	2014	Processes that, make nitrogen-containing compounds include converting succinic acid (SA) or monoammonium succinate (MAS) derived from a diammonium succinate (DAS)- or MAS-containing fermentation broth to produce such compounds including diammonium (DAB), succinic dinitrile (SDN), succinic amino nitrile (SAN), succinamide (DAM), and related polymers.
Processes for producing caprolactam and derivatives thereof from fermentation broths containing diammonium adipate, monoammonium adipate and/or adipic acid (US8703900 B2)	Fruchey <i>et alii</i> .	2014	Processes for making caprolactam (CL) from monoammonium adipate (MAA) and/or adipic acid (AA) obtained from a clarified diammonium adipate-containing (DAA-containing) fermentation broth or MAA-containing fermentation broth and converting the MAA or AA to the CL with hydrogen in the presence of a catalyst at selected temperatures and pressures.

# Annexe 15. Frise chronologique de l'évolution de Reverdia



## Annexe 16. Les principaux brevets de Reverdia

<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
Process for the crystallization of succinic acid (EP2371802 A1)	Filey et Geurts	2011	The present invention relates to a process for crystallizing succinic acid from an aqueous solution comprising treating the aqueous solution with an oxidizing agent and crystallizing the succinic acid to form succinic acid crystals.
Process for the crystallization of succinic acid (WO2011064151 A1)	Graaf <i>et alii.</i>	2011	The present invention relates to a process for recovering succinic acid in crystal form from a fermentation broth comprising succinic acid, comprising the steps of a) bringing the fermentation broth to a pH of between 1 and 4, b) crystallizing the succinic acid from the fermentation broth to form succinic acid crystals, c) dissolving the succinic acid crystals at a temperature of between 30 and 90 degrees Celsius to form an aqueous solution comprising dissolved succinic acid, d) crystallizing the succinic acid from the solution to recover succinic acid in crystal form. The invention further relates to succinic acid in crystal form, comprising a sugar content of 1 to 100 ppm and a nitrogen content of 1 to 80 ppm.
Dicarboxylic acid production process (WO2012038390 A1)	Jansen <i>et alii.</i>	2012	Process for producing a dicarboxylic acid comprising fermenting a microorganism in a suitable fermentation medium wherein a gas flow comprising 30% to 100% v/v oxygen as measured under atmospheric pressure is added to the fermentation medium and producing the dicarboxylic acid.

Fermentation process (WO2015007902 A1)	Jansen <i>et alii.</i>	2015	The present invention relates to a method for a dicarboxylic acid, which method comprises fermenting fungal cells in a vessel comprising a suitable fermentation medium, wherein a least a portion of the fungal cells are reused in the presence of a vitamin and/or a trace element.
--	------------------------	------	--

## Annexe 17. Les principaux brevets de Roquette

<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
Composition and method for the production of planar structures, especially structures made of paper or cardboard (US6841039 B1)	Lokietek <i>et alii.</i>	2005	This invention relates to a novel composition for the production of planar structures, whereby said composition is based on a cationic amylaceous material and a sulphonated amylaceous such as sulphocarboxylate. The composition can exist in the form of a pulverulent solid mixture or an aqueous suspension in which both amylaceous materials take the form of granules which are swollen or unswollen. Said composition can also exist in the form of an adhesive which can or cannot contain granular structures which are swollen or unswollen and/or complexes which associate both amylaceous materials. Said complexes flocculate and precipitate generally during the solubilization stage which can advantageously consist of a continuous or discontinuous curing stage. The use of said compositions and flocculated/precipitated complexes that they can contain allows planar structures, especially structures made of paper, cardboard or films, to be provided with physical characteristics that meet the needs of current usage in every way. Said compositions can be introduced into a fibrous mass either on one occasion or on a number of occasions at a rate of 2-12 wt. % (sec/sec) for internal treatment of paper.
Cationic additive for the manufacture of paper (US4613407 A)	Fuertes <i>et alii.</i>	1986	Wet-end cationic additive for the manufacture of paper, comprising a mixture of at least one cationic cereal starch and at least one cationic tuber starch.
Composition and process for sizing paper (EP0742316 A1)	Fuertes <i>et alii.</i>	1996	The compsn. for bonding paper or card contains a cationic polysaccharide esterified by a dicarboxylic acid anhydride substd. with a branched, (un)satd. C chain. Further materials are also claimed.
Cationic polysaccharides esterified by a dicarboxylic acid anhydride substituted with a branched carbon chain	Fuertes <i>et alii.</i>	1998	The invention relates to a new composition for sizing paper and board, containing a cationic polysaccharide esterified by a dicarboxylic acid anhydride, characterized in that the said dicarboxylic acid anhydride is substituted with a carbon chain, saturated or unsaturated, of branched structure.

			<p>The anhydride may for example consist of tetrapropenylsuccinic anhydride or of any one of its isomers.</p> <p>The composition for sizing according to the invention may, if necessary, contain an oxidizing agent such as a persulphate. It may advantageously be applied to the surface treatment of printing and/or writing papers, in particular of papers for envelopes and of papers for impact-free printing such as inkjet printing.</p>
Composition and process for sizing paper (US5647898 A)	Fuertes <i>et alii.</i>	1997	<p>The invention relates to a new composition for sizing paper and board, containing a cationic polysaccharide esterified by a dicarboxylic acid anhydride, characterized in that the said dicarboxylic acid anhydride is substituted with a carbon chain, saturated or unsaturated, of branched structure. The anhydride may for example consist of tetrapropenylsuccinic anhydride or of any one of its isomers. The composition for sizing according to the invention may, if necessary, contain an oxidizing agent such as a persulphate. It may advantageously be applied to the surface treatment of printing and/or writing papers, in particular of papers for envelopes and of papers for impact-free printing such as inkjet printing.</p>
Adhesive composition for paper and method therefor (WO1996035840 A1)	Dreux <i>et alii.</i>	1996	<p>A novel adhesive composition for paper and cardboard is described, which contains a cationic polysaccharide esterified by a dicarboxylic acid anhydride, characterised in that said dicarboxylic acid anhydride is substituted by a saturated or unsaturated, branched carbon chain. The anhydride may for example be tetrapropenylsuccinic anhydride or any isomer thereof. The adhesive composition of the invention may contain an oxidising agent such as a persulphate. It can advantageously be used for coating printing and/or writing paper, particularly envelope paper and paper for non-impact printing, such as ink jet printing.</p>
Process for the manufacture of paper (US5891305 A)	Dondeyne et Petit	1997	<p>The invention relates to a new process for the manufacture of paper which employs, in the fibrous composition, a cationic starch exhibiting a high level of fixed nitrogen, namely greater than 0.95%, and a polyaluminum compound, such as a (basic) aluminum polychloride or an aluminum polychlorosulphate.</p> <p>This process makes it possible, including under difficult conditions (fibrous composition based on old papers, significant closure of the circuits), to improve the level of retention of starch and the</p>

			<p>physical characteristics of the paper, indeed to increase the machine speed by dispensing with the surface treatment optionally applied to the paper.</p> <p>The process according to the invention is particularly suitable for the manufacture of paper for graphical use or of paper for wrapping or packaging and very particularly of fluting paper or of liner paper for corrugated fiberboard.</p>
<p>Composition and method for the production of planar structures, especially structures made of paper or cardboard (WO2000075425 A1)</p>	<p>Dondeyne <i>et alii.</i></p>	<p>2000</p>	<p>The invention relates to a novel composition for the production of planar structures, whereby said composition is based on a cationic amylose material and a sulphonated amylose material such as sulphocarboxylate. The composition can exist in the form of a pulverulent solid mixture or an aqueous suspension in which both amylose materials take the form of granules which are swollen or unswollen. Said composition can also exist in the form of an adhesive which can or cannot contain granular structures which are swollen or unswollen and/or complexes which associate both amylose materials. Said complexes flocculate and precipitate generally during the solubilization stage which can advantageously consist of a continuous or discontinuous curing stage. The use of said compositions and flocculated/precipitated complexes that they can contain allows planar structures, especially structures made of paper, cardboard or films, to be provided with physical characteristics that meet the needs of current usage in every way. Said compositions can be introduced into a fibrous mass either on one occasion or on a number of occasions at a rate of 2-12 wt. % (sec/sec) for internal treatment of paper.</p>
<p>Process for the separation and purification of lactic acid from a fermentation medium (US6280985 B1)</p>	<p>Caboche <i>et alii.</i></p>	<p>2001</p>	<p>The present invention relates to a process for the separation and purification of lactic acid from a fermentation medium wherein the lactic acid is totally or partially in the form of a salt or salts. The lactic acid producing microorganisms are separated from the other components of the fermentation medium. This solution is concentrated and then acidified to a pH below or equal to 3. The acidified solution is passed over a cation exchange resin to give a fraction that has maximum of 25% lactic acid salts relative to the dry weight of the solution. This fraction is subjected to bipolar fractionating electrodialysis. The resulting lactic acid is further purified, concentrated and then recovered.</p>

Procédé de culture microbienne à grande échelle (WO2009083756 A1)	Segueilha <i>et alii.</i>	2009	L'invention porte d'une manière générale sur un nouveau procédé de culture pour produire des taux élevés d'un métabolite, tel que l'acide succinique. Ce procédé de culture comprend une culture riche en oxygène sans ajustement de pH pour augmenter la biomasse, une acclimatation dans des conditions pauvres en oxygène comprenant une pression partielle < 5 % d'oxygène, et la production de taux élevés de succinate dans des conditions privées d'oxygène. Ce procédé peut être effectué dans un seul réacteur et on peut le faire passer à une plus grande échelle de manière efficace.
Méthode de mesure de la stabilité thermique d'un acide succinique cristallin destiné à la fabrication de polymères (WO2013144471 A1)	Fiey <i>et alii.</i>	2013	La présente invention concerne un procédé de mesure de la stabilité thermique de l'acide succinique caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes : 1) préparer une poudre cristalline d'acide succinique présentant moins de 1 % de teneur en eau résiduelle, 2) placer 10g de ladite poudre cristalline dans une étuve à 220°C pendant 2 h, 3) broyer et tamiser la poudre cristalline ainsi traitée, de manière à ce que sa répartition granulométrique soit comprise entre 0 et 10 %, de préférence comprise entre 4 et 6 % pour les particules de taille supérieure à 500 µm, comprise entre 20 et 40 %, de préférence comprise entre 25 et 35 % pour les particules de taille comprise entre 200 et 500 µm comprise entre 50 et 75 %, de préférence comprise entre 55 et 70 % pour les particules de taille inférieure à 200 µm et 4) réaliser la mesure de la couleur dans un spectrophotomètre de la poudre broyée et tamisée et déterminer la valeur moyenne des jaunes (indice « b »).
Composites à base de pbs et de silice (WO2013057423 A1)	Jacquel <i>et alii.</i>	2013	La présente invention se rapporte à des composites à base de PBS et de silice, lesquels ont une gonflabilité élevée. Elle se rapporte également à un procédé de préparation de ces composites, à un procédé de gonflage de ces composites et à des films obtenus par gonflage de ces composites.
Polymères, leur procédé de synthèse et compositions les comprenant (WO2013144525 A1)	Jacquel <i>et alii.</i>	2013	La présente invention se rapporte à des copolymères, en particulier des copolymères de poly(butylène succinate-co-furanoate) (PBSF), lesquels ont des propriétés mécaniques intéressantes, ainsi qu'à des compositions polymériques les comprenant. Elle se rapporte également à un procédé de préparation de ces polymères.

## Annexe 18. Les principaux brevets de DSM

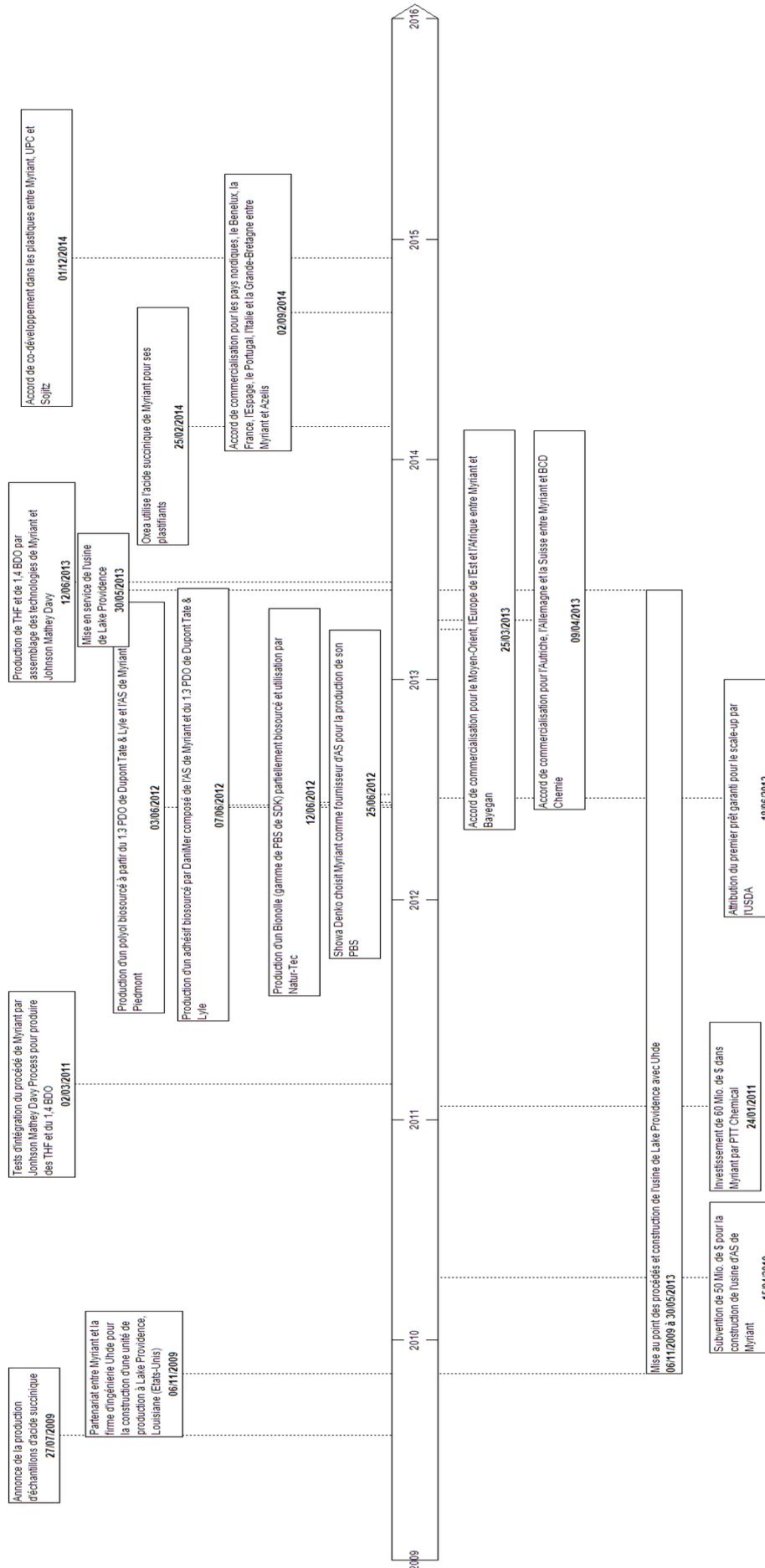
<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
A method for the production of a compound of interest (WO2012001169 A1)	Beishuizen <i>et alii.</i>	2012	The present invention relates to a method for the production of a compound of interest by microbial fermentation, wherein the microbial host cell used has been modified in its genome such that it results in a deficiency in the production of at least one non-ribosomal peptide synthase. The present invention further relates to a microbial host cell that has been modified in its genome such that it results in a deficiency in the production of at least one non-ribosomal peptide synthase. The invention further relates to a compound of interest.
Vector-host system (WO2012123429 A1)	Bovenberg <i>et alii.</i>	2012	The present invention relates to a host cell deficient in an essential gene, comprising a vector, said vector comprising at least said essential gene and an autonomous replication sequence, wherein the host cell is a filamentous fungal cell. The invention also relates to a host cell deficient in an essential gene, comprising a vector, said vector comprising at least said essential gene and an autonomous replication sequence, wherein the host cell comprises a recombinant polynucleotide construct comprising a polynucleotide encoding a biological compound of interest or a compound involved in the synthesis of a biological compound of interest.
Process to increase the production of a succinyl-coa derived compound (WO2012089613 A1)	Dulk <i>et alii.</i>	2012	This invention relates to a process to improve the production of a succinyl-CoA derived compound by a eukaryotic cell. This method may be advantageously used in the biological production of e.g. adipic acid.
Procédé de cristallisation d'acide succinique (WO2011064151 A1)	Van de Graaf <i>et alii.</i>	2011	L'invention concerne un procédé de récupération d'acide succinique sous forme cristalline à partir d'un bouillon de fermentation contenant de l'acide succinique. Ce procédé consiste : a) à amener le bouillon de fermentation à un pH compris entre 1 et 4 ; b) à cristalliser l'acide succinique à partir du bouillon de fermentation pour former des cristaux d'acide succinique ; c) à dissoudre les cristaux d'acide succinique à une température comprise entre 30 et 90 degrés Celsius pour former une solution aqueuse contenant de l'acide succinique dissous ; et d) à cristalliser l'acide succinique à partir de la solution pour récupérer ledit acide sous forme cristalline. L'invention concerne également de l'acide succinique sous forme cristalline présentant une teneur en sucre comprise entre 1 et 100 ppm et une teneur en azote comprise entre 1 et 80 ppm.

Procédé de production d'acide dicarboxylique (WO2010118932 A1)	Jansen <i>et alii.</i>	2010	La présente invention porte sur un procédé pour la production d'un acide dicarboxylique et d'éthanol qui comprend la fermentation d'une levure génétiquement modifiée dans un milieu de fermentation approprié dans des conditions anaérobies à une valeur de pH comprise entre 1 et 5, et la production de l'acide dicarboxylique et d'éthanol. L'invention porte également sur un procédé pour la cristallisation d'acide succinique à partir d'une solution aqueuse présentant un pH compris entre 1 et 5 et renfermant de l'acide succinique, comprenant l'élimination d'une partie de la solution aqueuse par évaporation pour obtenir une solution concentrée et le fait d'amener la température de la solution concentrée à une valeur comprise entre 10 et 30 degrés Celsius, à laquelle des cristaux d'acide succinique sont formés.
Process for preparing dicarboxylic acids employing fungal cells (WO2013004670 A1)	Jansen <i>et alii.</i>	2013	The present invention relates to a process for producing a dicarboxylic acid comprising fermenting a fungal cell in a vessel comprising a suitable fermentation medium, comprising adding a gas flow which comprises 20 to 35 v/v% of oxygen and less than 0.1v/v% of carbon dioxide to the fermentation medium, and maintaining an average partial carbon dioxide pressure of at least about 0.35 bar in the fermentation medium, and producing the dicarboxylic acid.
Dicarboxylic acid production process (WO2012038390 A1)	Jansen <i>et alii.</i>	2012	Process for producing a dicarboxylic acid comprising fermenting a microorganism in a suitable fermentation medium wherein a gas flow comprising 30% to 100% v/v oxygen as measured under atmospheric pressure is added to the fermentation medium and producing the dicarboxylic acid.
Procédé de fermentation produisant un acide dicarboxylique (WO2011023700 A2)	Jansen et Verwaal	2011	La présente invention porte sur un procédé pour la production d'un acide dicarboxylique, comprenant la fermentation d'une cellule fongique recombinée dans un milieu de fermentation approprié, en présence de concentrations élevées en dioxyde de carbone.
A pentose sugar fermenting cell (WO2009109634 A1)	Klaassen <i>et alii.</i>	2009	The invention relates to a cell which comprises a nucleotide sequence encoding a xylose isomerase, wherein the amino acid sequence of the xylose isomerase has at least about 70% sequence identity to the amino acid sequence set out in SEQ ID NO: 3 and wherein the nucleotide sequence is heterologous to the host. A cell of the invention may be used in a process for producing a fermentation product, such as ethanol. Such a process may comprise fermenting a medium containing a source of xylose with a cell of the invention such that the cell ferments xylose to the fermentation product.
Fermentative production of ethanol from glucose, galactose	Klaassen <i>et alii.</i>	2011	The present invention relates to a process for the production of one or more fermentation product from a sugar composition, comprising the following steps: a) fermentation of the sugar

and arabinose employing a recombinant yeast strain (WO2011003893 A1)			composition in the presence of a yeast belonging to the genera <i>Saccharomyces</i> , <i>Kluyveromyces</i> , <i>Candida</i> , <i>Pichia</i> , <i>Schizosaccharomyces</i> , <i>Hansenula</i> , <i>Kloeckera</i> , <i>Schwanniomyces</i> or <i>Yarrowia</i> , and b) recovery of the fermentation product, wherein the yeast comprises the genes <i>araA</i> , <i>araB</i> and <i>araD</i> and the sugar composition comprises glucose, galactose and arabinose.
Improved host cell for the production of a compound of interest (WO2011009700 A1)	Peij <i>et alii</i> .	2011	The present invention relates to a recombinant host cell for the production of a compound of interest. The invention further relates to a method for the production of such host cell. The invention further relates to the production of a compound of interest. The invention further relates to isolated polynucleotides and vectors and host cells comprising said polynucleotides.
Preparation of adipic acid (WO2010104391 A2)	Raemakers-Franken <i>et alii</i> .	2010	The invention relates to a method for preparing adipic acid, comprising - converting alpha-ketoglutaric acid (AKG) into alpha-ketoadipic acid (AKA), - converting alpha-ketoadipic acid into alpha-ketopimelic acid (AKP), - converting alpha-ketopimelic acid into 5-formylpentanoic acid (5-FVA), and - converting 5-formylpentanoic acid into adipic acid, wherein at least one of these conversions is carried out using a heterologous biocatalyst. The invention further relates to a heterologous cell, comprising one or more heterologous nucleic acid sequences encoding one or more heterologous enzymes capable of catalysing at least one reaction step in said method.
Preparation of alpha-ketopimelic acid (WO2010104390 A2)	Raemakers-Franken <i>et alii</i> .	2010	The invention relates to a method for preparing alpha-ketopimelic acid, comprising converting alpha-ketoglutaric acid into alpha-ketoadipic acid and converting alpha-ketoadipic acid into alpha-ketopimelic acid, wherein at least one of these conversions is carried out using a heterologous biocatalyst. The invention further relates to a heterologous cell, comprising one or more heterologous nucleic acid sequences encoding one or more heterologous enzymes capable of catalysing at least one reaction step in the preparation of alpha-ketopimelic acid from alpha-ketoglutaric acid.
Procédé pour obtenir une expression de polypeptides améliorée (WO2008000632 A1)	Roubos et Peij	2008	La présente invention concerne des procédés destinés à optimiser des séquences codantes pour une protéine destinées à l'expression dans une cellule hôte donnée. Les procédés appliquent des algorithmes génétiques afin d'optimiser les séquences compatibles de codons uniques et/ou de paires de codons codant pour une séquence d'acides aminés prédéfinie. Dans l'algorithme, on réitère la génération de nouvelles variantes de séquences, suivie de la sélection des variantes les plus compatibles, jusqu'à ce que les variantes de séquences codantes atteignent une valeur minimale pour la compatibilité de codons uniques et/ou la compatibilité de paires de codons. L'invention concerne également un ordinateur comprenant un processeur et une mémoire, le processeur étant conçu pour réaliser des opérations de lecture et d'écriture sur la mémoire, la mémoire comprenant des données et des instructions conçues pour doter le processeur de la capacité d'exécuter les algorithmes génétiques destinés à optimiser la compatibilité de codons

			uniques et/ou la compatibilité de paires de codons. L'invention concerne en outre des acides nucléiques comprenant une séquence codante pour une séquence d'acides aminés prédéfinie, la séquence codante étant optimisée en ce qui concerne la compatibilité de codons uniques et/ou la compatibilité de paires de codons pour un hôte donné dans les procédés selon l'invention, la compatibilité des cellules hôtes comprenant de tels acides nucléiques et des procédés destinés à produire des polypeptides et autres produits de fermentation dans lesquels ces cellules hôtes sont utilisées.
Souche e. coli mutante avec production accrue d'acide succinique (WO2006031424 A2)	San <i>et alii.</i>	2006	La présente invention concerne une souche bactérienne mutante qui possède ou qui ne possède pas de gènes mutants pour plusieurs enzymes métaboliques clé et, qui produit de grandes quantités d'acide succinique dans des conditions d'anaérobie.
Screening method (WO2013007820 A1)	Van Rij <i>et alii.</i>	2013	The present invention relates to a method for constructing a nucleotide fusion construct encoding a fusion between a signal peptide and an amino acid sequence of interest, which allows for secretion of the amino acid sequence of interest without modifications to its amino acid sequence.
Succinic Acid Production in a Eukaryotic Cell (EP2220232B1)	Verwaal <i>et alii.</i>	2010	Indisponible
Production d'acide dicarboxylique dans un champignon filamenteux (WO2009065777 A1)	Verwaal <i>et alii.</i>	2009	La présente invention concerne un champignon recombinant, comprenant une enzyme qui catalyse la conversion d'acide malique en acide fumarique dans le cytosol. Elle concerne en outre un procédé utilisant le champignon recombinant pour produire un acide dicarboxylique tel que l'acide fumarique et l'acide succinique.
Production d'acide succinique dans une cellule eucaryote (WO2009065778 A1)	Verwaal <i>et alii.</i>	2009	La présente invention concerne une cellule eucaryote recombinante, choisie parmi une levure ou un champignon filamenteux, comprenant une séquence nucléotidique qui code pour une fumarate réductase NAD(H)-dépendante qui catalyse la conversion d'acide fumarique en acide succinique. L'invention concerne en outre un procédé utilisant la cellule eucaryote de l'invention pour produire de l'acide succinique.

# Annexe 19. Frise chronologique de l'évolution de Myriant



## Annexe 20. Les principaux brevets de Myriant

<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
Catalytic dehydration of lactic acid and lactic acid esters (WO2012033845 A2)	Bhagat <i>et alii.</i>	2012	This invention relates to catalytic dehydration of lactic acid derived from biological fermentation and its esters into acrylic acid and acrylic acid esters respectively. Disclosed in this invention are chemical catalysts suitable for industrial scale production of acrylic acid and acrylic acid esters. This invention also provides an industrial scale integrated process technology for producing acrylic acid and acrylic acid esters from biological fermentation using renewable resources and biological catalysts.
Method of producing succinic acid and other chemicals using sucrose-containing feedstock (WO2012082720 A3)	Dole <i>et alii.</i>	2012	This invention relates to the production of chemicals by fermentation with a microorganism in which the fermentation medium contains the sugar sucrose. As a specific example, succinic acid is produced from a sucrose-containing renewable feedstock through fermentation using a biocatalyst. Examples of such a biocatalyst include microorganisms that have been enhanced in their ability to utilize sucrose as a carbon and energy source. The biocatalysts of the present invention are derived from the genetic manipulation of parental strains that were originally constructed with the goal to produce one or more chemicals (for example succinic acid and/or a salt of succinic acid) at a commercial scale using feedstocks other than sucrose. The genetic manipulations of the present invention involve the introduction of exogenous genes involved in the transport and metabolism of sucrose into the parental strains. The genes involved in the transport and metabolism of sucrose can also be introduced into a microorganism prior to developing the organism to produce a particular chemical. The genes involved in the transport and metabolism of sucrose can also be used to augment or improve the sucrose transport and metabolism by strains already known to have some ability for sucrose utilization in biological fermentation.
Organic acid production in microorganisms by combined reductive and oxidative tricarboxylic acid cycle pathways (US20120225461 A1)	Dole et Yocum	2010	This invention relates to succinic acid production from renewable feedstock using microbial biocatalysts genetically modified to produce succinic acid in commercially significant quantities. More specifically, this invention relates to the genetic manipulations in the pathway of carbon from renewable feedstock to succinic acid.
A process for manufacturing acrylic acid, acrylonitrile and	Gnanadesikan <i>et alii.</i>	2015	The present invention is in the field of producing bio-based commodity organic chemicals such as bio-acrylic acid, bio-acrylonitrile, and bio-1,4-butanediol using renewable carbon sources as feedstock. In the first stage of the present invention, bio-1,3 -propanediol is derived from

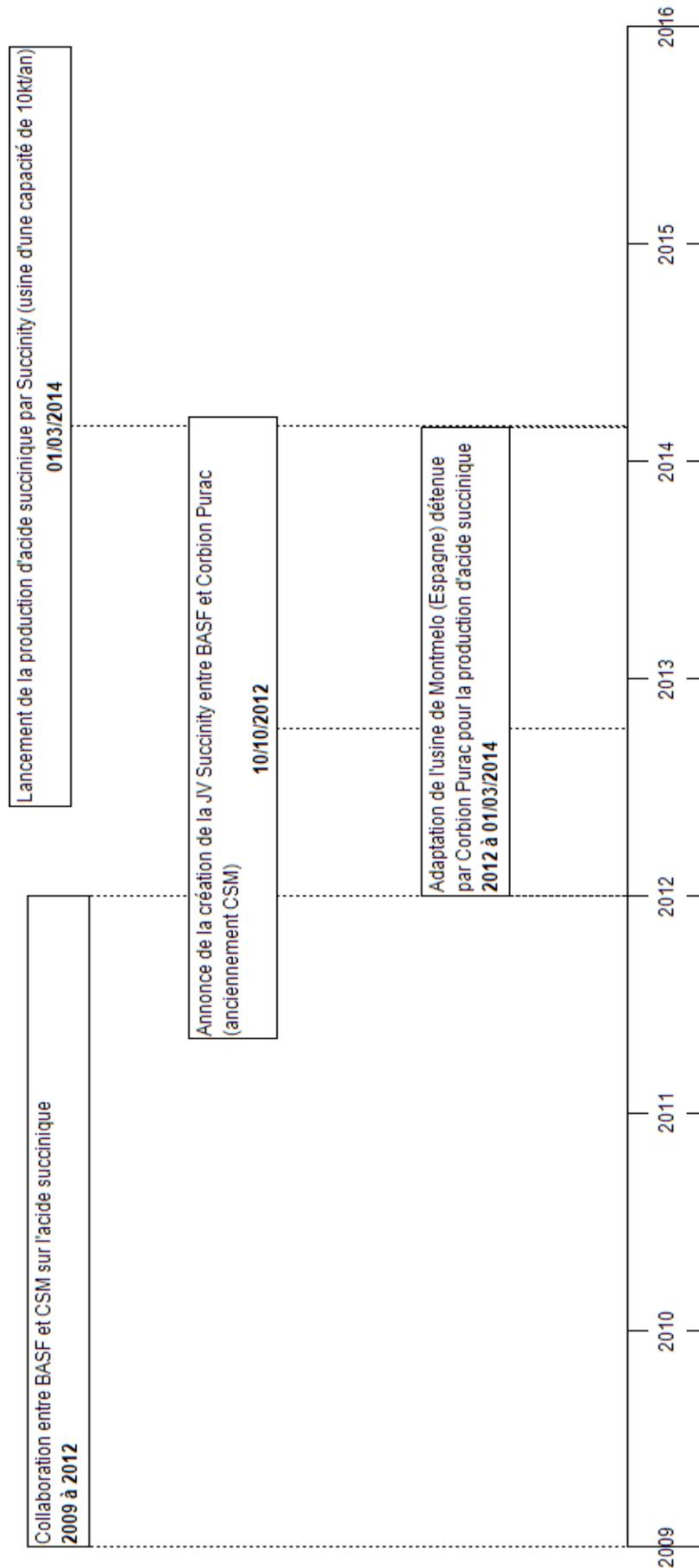
1,4-butanediol from 1,3-propanediol (WO2015034948 A1)			renewable carbon sources through microbial fermentation. In the second stage of the present invention, bio-1,3-propanediol is converted into bio-acrylic acid or bio-acrylonitrile or bio-1,4-butanediol.
Engineering microbes for efficient production of chemicals (EP2501797 A2)	Gong <i>et alii.</i>	2012	This present invention relates to production of chemicals from microorganisms that have been genetically engineered and metabolically evolved. Improvements in chemical production have been established, and particular mutations that lead to those improvements have been identified. Specific examples are given in the identification of mutations that occurred during the metabolic evolution of a bacterial strain genetically engineered to produce succinic acid. This present invention also provides a method for evaluating the industrial applicability of mutations that were selected during the metabolic evolution for increased succinic acid production. This present invention further provides microorganisms engineered to have mutations that are selected during metabolic evolution and contribute to improved production of succinic acid, other organic acids and other chemicals of commercial interest.
Metabolic evolution of escherchia coli strains that produce organic acids (EP2501798 A2)	Grabar <i>et alii.</i>	2012	This invention relates to the metabolic evolution of a microbial organism previously optimized for producing an organic acid in commercially significant quantities under fermentative conditions using a hexose sugar as sole source of carbon in a minimal mineral medium. As a result of this metabolic evolution, the microbial organism acquires the ability to use pentose sugars derived from cellulosic materials for its growth while retaining the original growth kinetics, the rate of organic acid production and the ability to use hexose sugars as a source of carbon. This invention also discloses the genetic change in the microorganism that confers the ability to use both the hexose and pentose sugars simultaneously in the production of commercially significant quantities of organic acids.
Improved fermentation process for the production of organic acids (CA2807102 A1)	Hermann <i>et alii.</i>	2012	This invention relates to improvements in the fermentation process used in the production of organic acids from biological feedstock using bacterial catalysts. The improvements in the fermentation process involve providing a fermentation medium comprising an appropriate form of inorganic carbon, an appropriate amount of aeration and a biocatalyst with an enhanced ability to uptake and assimilate the inorganic carbon into the organic acids. This invention also provides, as a part of an integrated fermentation facility, a novel process for producing a solid source of inorganic carbon by sequestering carbon released from the fermentation in an alkali solution.
Degradable six pack rings and compositions and methods	Mang <i>et alii.</i>	2013	A container package may include a series of interconnected rings capable of maintaining a plurality of containers in an adjacent relation, at least one ring being formed by a marine-degradable composition comprising at least one polymer that comprises at least one monomer unit selected

relating thereto (WO2013019834 A1)			from the group consisting of succinic acid, 1,4-butanoic acid, any derivative thereof, and any combination thereof.
Catalytic dehydration of lactic acid and lactic acid esters (EP2614152 A2)	Ozmeral <i>et alii.</i>	2013	This invention relates to catalytic dehydration of lactic acid derived from biological fermentation and its esters into acrylic acid and acrylic acid esters respectively. Disclosed in this invention are chemical catalysts suitable for industrial scale production of acrylic acid and acrylic acid esters. This invention also provides an industrial scale integrated process technology for producing acrylic acid and acrylic acid esters from biological fermentation using renewable resources and biological catalysts.
Method for conversion of diammonim succinate in fermentation broth to 2-pyrrolidone and n-methylpyrrolidone (WO2013033649 A1)	Tosukhowong <i>et alii.</i>	2013	This invention relates to a process for preparing 2-pyrroiidone (also called 2- pyrrolidinone) and N-methylpyrrolidone (also called N-methylpyrrolidinone) from diammonium succinate in fermentation broth. In the first stage of this invention, renewable carbon resources are utilized to produce diammonium succinate through biological fermentation. In the second stage of this present invention, diammonium succinate is converted into 2-pyrroiidone and N-methylpyrrolidone through a two step reaction. Both the steps of the reaction leading to the production of 2-pyrroiidone and N-methylpyrrolidone are carried out in a solvent phase to prevent the loss of succinimide through hydrolysis.
A process for preparing succinate ester (WO2015085185 A1)	Tosukhowong <i>et alii.</i>	2015	This invention relates to a process for preparing succinate ester from a succinic acid salt present in a fermentation broth. In the first stage of this invention, renewable carbon resources are utilized to produce succinic acid in the form of a succinic acid salt through biological fermentation. The succinic acid salt present in the fermentation broth is subjected to double displacement reaction with a strong acid leading to the release of succinic acid. Succinic acid is recovered by fractional crystallization integrated with an alcohol washing step and subjected to esterification reaction to produce succinate ester which is purified by fractional distillation. The succinate ester thus obtained is converted into 1,4-butanediol, gamma-butyrolactone and tetrahydrofuran through hydrogenation reactions. The succinate ester can also be hydrolyzed to yield highly pure succinic acid.
Environmentally friendly coalescing agents (EP2721100 A1)	Turk et Mang	2014	A composition may include a binder; a coalescing agent with the general formula of wherein Z is C1-C10, wherein X is -H and Y is =O or X is =O and Y is -H or -CH3, and wherein R1 and R2 are independently selectable and comprise a C1-C12 or derivative thereof; and a solvent. The composition may be used in products like a paint, a coating, an adhesive, an ink, a toner, a sealant, a stain, a glaze, a carpet backing, and a primer.

Integrated biorefinery (WO2013101650 A1)	Wang <i>et alii.</i>	2013	This invention relates to the operation of a biorefinery for manufacturing either biofuels or renewable chemical feedstock using lignocellulosic biomass as a source of carbon. The present invention provides a cost-effective process for pretreating lignocellulosic biomass in the recovery of fermentable sugars. More specifically, the present invention describes an integrated approach for efficiently recovering and using six-carbon and five-carbon sugars along with value-added oligosaccharides such as xylooligosaccharides from lignocellulosic biomass so that the cost of manufacturing biofuels and renewable chemical feedstock is substantially lowered.
Method of producing succinic acid and other chemicals using facilitated diffusion for sugar import (WO2015013334 A1)	Yocum <i>et alii.</i>	2015	This invention relates to the production of succinic acid and other chemicals derived from phosphoenolpyruvate (PEP) by fermentation with a microorganism in which the fermentation medium contains one or more sugars, and in which one or more of the sugars is imported into the cell by facilitated diffusion. As a specific example, succinic acid is produced from a glucose-containing renewable feedstock through fermentation using a biocatalyst. Examples of such a biocatalyst include microorganisms that have been enhanced in their ability to utilize glucose as a carbon and energy source. The biocatalysts of the present invention are derived from the genetic manipulation of parental strains that were originally constructed with the goal to produce one or more chemicals (for example succinic acid and/or a salt of succinic acid) at a commercial scale using feedstocks that include, for example, glucose, fructose, or sucrose. The genetic manipulations of the present invention involve the introduction of exogenous genes involved in the transport and metabolism of glucose or fructose into the parental strains. The genes involved in the transport and metabolism of glucose or fructose can also be introduced into a microorganism prior to developing the organism to produce a particular chemical. The genes involved in the transport and metabolism of sucrose can also be used to augment or improve the efficiency of sugar transport and metabolism by strains already known to have some ability for glucose utilization in biological fermentations.
Production of organic acids by fermentation at low pH (WO2014043591 A1)	Yocum <i>et alii.</i>	2014	This invention relates to the biosynthesis of organic acids in genetically modified microorganisms. More specifically, this invention provides genetically modified microorganisms that are particularly tolerant to organic acids at low pH and are capable of producing organic acids by fermentation at low pH.
Production of muconic acid from genetically engineered microorganisms (CA2862051 A1)	Yocum <i>et alii.</i>	2013	This present invention is in the field of producing renewable chemical feedstocks using biocatalysts that have been genetically engineered to increase their ability to convert renewable carbon resources into useful compounds. More specifically, the present invention provides a process for producing muconic acid from renewable carbon resources using a genetically modified organism.

<p>Fermentation of glycerol to organic acids (US20140234923 A1)</p>	<p>Yocum <i>et alii.</i></p>	<p>2014</p>	<p>The present invention is in the field of producing organic acids and other useful chemicals via biological fermentation using glycerol as a source of carbon. Novel microorganisms and fermentation processes are described that are capable of converting glycerol to useful organic acids in high yield and high purity.</p>
<p>The present invention is in the field of producing organic acids and other useful chemicals via biological fermentation using glycerol as a source of carbon. Novel microorganisms and fermentation processes are described that are capable of converting glycerol to useful organic acids in high yield and high purity. (WO2011082378A3)</p>	<p>Gerberding et Singh</p>	<p>2011</p>	<p>This present invention relates to the processes for the purification of succinic acid from a fermentation broth containing ammonium succinate. The process for the purification of succinic acid described in this invention involves the use of ion exchange resins for splitting the ammonium succinate in the fermentation broth. During the passage of the fermentation broth through a cationic ion exchange resin, the ammonium succinate is split into ammonium cation and the succinate anion. The proton on the resin surface is exchanged for the ammonium ions and the succinate anion is reduced to succinic acid with the protons released from the ion exchange resin. The bound ammonium is released from the resin with the addition of a strong acid such as sulfuric acid and thereby the ion exchange resin is regenerated for subsequent use. The ammonium sulfate by-product resulting from the regeneration step of this process can be used as a source of fertilizer. This process for the separation of succinic acid from the fermentation broth containing ammonium succinate can also be carried out with an anionic ion exchange resin wherein the succinate anion is retained on the surface of the ion exchange resin and subsequently released from the ion exchange resin during the regeneration step.</p>

## Annexe 21. Frise chronologique de l'évolution de Succinity



## Annexe 22. Les principaux brevets de BASF

<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
Manufacture of butanediol and/or tetrahydrofuran from maleic and/or succinic anhydride via $\gamma$ - butyrolactone (US4048196 A)	Broecker et Schwarzmann	1977	A process for the manufacture of 1,4-butanediol and/or tetrahydrofuran, wherein maleic acid or succinic acid is used as the starting material, butyrolactone is produced in defined stages and is hydrogenated to butanediol or tetrahydrofuran, and the by-products formed are in each case recycled to the process.
Biodegradable, thermoplastic molding materials (US7015269 B1)	Grutke <i>et alii.</i>	2006	A biodegradable thermoplastic molding composition comprises a) at least one biodegradable thermoplastic copolyester, and b) based on the total weight of the thermoplastic molding composition, from 0.01 to 15% by weight of at least one hydrophobicized phyllosilicate. A process for preparing the molding composition is described, as is a process for producing moldings, films or fibers from the molding composition.
Impact-Modified Polyesters with Hyprebranched Polyesters/Polycarbonates	Eipper <i>et alii.</i>	2007	Thermoplastic molding compositions, comprising A) from 10 to 98% by weight of at least one thermoplastic polyester, B) from 0.01 to 50% by weight of B1) at least one highly branched or hyperbranched polycarbonate with an OH number of from 1 to 600 mg KOH/g of polycarbonate (to DIN 53240, Part 2), or B2) at least one highly branched or hyperbranched polyester of $A_xB_y$ type, where x is at least 1.1 and y is at least 2.1, or a mixture of these, C) from 1 to 40% by weight of an impact-modifying polymer, D) from 0 to 60% by weight of other additives, where the total of the percentages by weight of components A) to D) is 100%.
Flowable Thermoplastic Materials With Halogen-Free Flame Protection	Engelmann <i>et alii.</i>	2008	Thermoplastic molding compositions, comprising A) from 10 to 98% by weight of at least one thermoplastic polymer, B) from 0.01 to 50% by weight of B1) at least one highly branched or hyperbranched polycarbonate having an OH number of from 1 to 600 mg KOH/g of polycarbonate (to DIN 53240, Part 2), or B2) at least one highly branched or hyperbranched polyester of $A_xB_y$ type, where x is at least 1.1 and y is at least 2.1, or a mixture of these, C) from 1 to 40% by weight of a halogen-free flame retardant, selected from the group of the phosphorus-containing or nitrogen-containing compounds, or of the P—N condensates, or a mixture of these, D) from 0 to 60% by

			weight of other additives, where the total of the percentages by weight of components A) to D) is 100%.
Method for producing polyols on the basis of renewable resources (WO2011003991 A1)	Kunst <i>et alii.</i>	2011	The invention relates to a method for producing polyols, comprising the following steps: a) reacting unsaturated natural fats, unsaturated natural fatty acids and/or fatty acid esters with dinitrogen monoxide, and b) reacting the product obtained in step a) with hydrogen using a heterogeneous catalyst.
Polyetherester polyols (WO2012062683 A1)	Bruchmann <i>et alii.</i>	2012	The invention relates to hydrophobic polyetherester polyols, to a method for producing same, and to the use of the polyetherester polyols according to the invention in order to produce polyurethanes.
Preparing polyester polyols (US20120258269 A1)	Gehringer <i>et alii.</i>	2012	A process for preparing a polyester polyol comprises the steps of: (a) preparing a reaction mixture comprising the following components: A: at least one carboxylic acid recovered from natural raw materials and having at least two acid groups, B: at least one polyhydric alcohol, C: at least one organic phosphite compound, D: at least one Lewis acid; (b) heating the reaction mixture to a temperature of at least 160° C. and removing the water formed in the course of the reaction; (c) heating the reaction mixture to a temperature of at least 210° C. under a pressure below 1013 mbar for a period of time in the range from 0.1 to 25 hours.
Polyetherester polyols (US20120116044 A1)	Kunst <i>et alii.</i>	2012	The present invention relates to hydrophobic polyetherester polyols, to a process for preparing them, and to the use of the polyetherester polyols of the invention for producing polyurethanes.

<p>Method for producing polyurethane-rigid foams and polyisocyanurate rigid foams (CA2868194 A1)</p>	<p>Kampf <i>et alii.</i></p>	<p>2013</p>	<p>The invention relates to a method for producing polyurethane rigid foams or polyisocyanurate rigid foams by reacting at least one polyisocyanate A), polyether ester polyols b) based on aromatic dicarboxylic acids which can be obtained by esterification of b1) 10 to 70 mol-% of a dicarboxylic acid composition, comprising b11) 50 to 100 mol %, based on the dicarboxylic acid composition, of one or more aromatic dicarboxylic acids or derivatives thereof, b12) 0 to 50 mol %, based on the dicarboxylic acid composition b1), of one or more aliphatic dicarboxylic acids or derivatives thereof, b2) 2 to 30 mol-% of one or more fatty acids and/or fatty acid derivatives, b3) 10 to 70 mol-% of one or more aliphatic or cycloaliphatic diols with 2 to 18 C-atoms or alkoxyates thereof, b4) 2 to 50 mol % of a polyether polyol having a functionality greater than or equal to 2, produced by alkoxylation of a polyol having a functionality greater than or equal to 2 in the presence of an amine as a catalyst, optionally additional polyester polyols C), which are different from that of components B), and at least one polyether polyol D), wherein the mass ratio of the sum of the components B) and optionally C) to component D) is at least 7. The invention also relates to the resulting hard foams and to the use thereof for the production of sandwich elements with rigid or flexible cover layers. The invention further relates to the underlying polyol components.</p>
<p>Producing rigid polyurethane foams and rigid polyisocyanurate foams (CA2862774 A1)</p>	<p>Kampf</p>	<p>2013</p>	<p>The invention relates to a method for producing polyurethane hard foams or polyisocyanurate hard foams by reacting at least one polyisocyanate A), polyether ester polyols B) based on aromatic dicarboxylic acids obtainable by esterification of b1) 10 to 70 mol% of a dicarboxylic acid composition containing b11) 50 to 100 mol%, in relation to the dicarboxylic acid composition, of one or a more aromatic dicarboxylic acids or derivatives thereof, b12) 0 to 50 mol%, in relation to the dicarboxylic acid composition b1), of one or a more aliphatic dicarboxylic acids or derivatives thereof, b2) 2 to 30 mol% of one or more fatty acids and/or fatty acid derivatives, b3) 10 to 70 mol% of one or more aliphatic or cycloaliphatic diols having 2 to 18 C atoms or alkoxyates of the same, b4) 2 to 50 mol% of a polyether polyol having a functionality greater than or equal to 2, produced by alkoxylation of a polyol having a functionality greater than 2, where necessary further polyester polyols C), which differ from those of component B), and at least one polyether polyol D), wherein the mass ratio of the sum of components B) and, where applicable, C) to component D) is at least 7. The invention also relates to the hard foams obtainable in said manner and to the use thereof for producing sandwich elements having rigid or flexible covering layers. The invention further relates to the basic polyol components.</p>

<p>Polyesters based on 2-methylsuccinic acid (US8546472 B2)</p>	<p>Loos <i>et alii.</i></p>	<p>2013</p>	<p>The present invention relates to a polyester comprising repeat units based on at least one aliphatic dicarboxylic acid or an ester-forming derivative thereof (component A1), at least one aromatic dicarboxylic acid or an ester-forming derivative thereof (component A2), at least one diol (component B), optionally at least one sulfo-containing compound (component A3) and optionally at least one trifunctional crosslinking agent as component C1 and/or at least one difunctional chain extender as component C2, component A1 comprising 2-methylsuccinic acid or an ester-forming derivative thereof, to a process for preparing the inventive polyester, to the mixtures comprising the inventive polyester, to the use of the inventive polyesters or of the inventive mixtures for production of moldings, films, adhesives, foams or fibers, and to moldings, films, adhesives, foams or fibers comprising at least one inventive polyester or at least one inventive mixture.</p>
<p>Rigid polyurethane and polyisocyanurate foams based on fatty acid modified polyetherpolyols (US20140094531 A1)</p>	<p>Kampf <i>et alii.</i></p>	<p>2014</p>	<p>A process for producing rigid polyurethane foams or rigid polyisocyanurate foams is provided. The process contains the reaction of polyisocyanate, fatty acid modified polyetherpolyol, polyetherpolyol, optionally flame retardant, blowing agent, catalyst, and optionally further auxiliary and/or admixture agent, wherein the polyetherpolyol is obtained by a process containing reacting orthotolylendiamine and optionally further co-starters with alkylene oxide containing ethylene oxide wherein the ethylene oxide content is more than 20 wt %, and then reacting the reaction product with alkylene oxide containing propylene oxide wherein the 1,2-propylene oxide content is more than 20 wt %, in the presence of a catalyst.</p>
<p>Polyesters based on 2-methylsuccinic acid (EP2688956 A1)</p>	<p>Loos <i>et alii.</i></p>	<p>2014</p>	<p>The present invention relates to a polyester containing repeating units based on at least one aliphatic dicarboxylic acid or an ester-forming derivative thereof (component A1), at least one aromatic dicarboxylic acid or an ester-forming derivative thereof (component A2), at least one diol (component B), optionally at least one compound containing sulphonate groups (component A3) and optionally at least one trifunctional crosslinker as component C1 and/or at least one bifunctional chain extender as component C2, where the component A1 contains 2-methylsuccinic acid or an ester-forming derivative thereof, a process for preparing the polyester of the invention, mixtures containing the polyester of the invention; the use of the polyesters of the invention or of the mixtures of the invention for producing shaped bodies, films, adhesives, foams or fibres and also shaped bodies, films, adhesives, foams or fibres containing at least one polyester according to the invention or at least one mixture according to the invention.</p>

Microorganismes améliorés pour la production d'acide succinique (WO2015117916 A1)	Krawczyk <i>et alii.</i>	2015	L'invention concerne un microorganisme modifié qui présente, par rapport à son type sauvage, une activité réduite de l'enzyme qui est codée par le gène pykA. La présente invention concerne également un procédé pour produire un composé organique et l'utilisation de microorganismes modifiés.
Polyether polyols, process for preparing polyether polyols and their use for producing polyurethanes (US9115246 B2)	Kunst <i>et alii.</i>	2015	The present invention relates to a process for preparing polyether polyols, in which at least one hydroxyl-comprising fatty acid ester and/or at least one hydroxyl-modified fatty acid ester is reacted with the aid of a double metal cyanide catalyst in at least two process sections with in each case a mixture of ethylene oxide and at least one further alkylene oxide different from ethylene oxide.
High resilience polyurethane foams comprising castor oil (US9150684 B2)	Meyer <i>et alii.</i>	2015	A process for producing high resilience flexible polyurethane foams. The process includes forming a mixture of (a) isocyanate prepolymer, (b) polymeric compounds having isocyanate-reactive groups, (c) castor oil, (d) optionally chain-extending and/or crosslinking agents, (e) catalysts, (f) blowing agents, and optionally (g) additives, and reacting the mixture to form the flexible polyurethane foam. More than 5 wt % of (c) is used, based on the total weight of components (b) to (g), and (a) is obtained by mixing diphenylmethane diisocyanate (a1) and polyol 1 (a2) and also optionally further polyols, chain extenders and/or crosslinkers, where (a2) includes a polyalkylene oxide polyol having a hydroxyl number of 30 to 60, an average functionality of 2.3 to 3.2 and a propylene oxide fraction, based on the alkylene oxide content, of 70 to 100 wt %. A polyurethane foam obtained by the process, and the use of such a foam as an auto seat.

<p>Biodegradable polymer mixture (US20150094416 A1)</p>	<p>Steinke <i>et alii.</i></p>	<p>2015</p>	<p>The present invention relates to biodegradable polymer mixtures comprising i) 40% to 95% by weight, based on the total weight of components i to ii, of at least one polyester based on aliphatic or aliphatic and aromatic dicarboxylic acids and aliphatic dihydroxy compounds; ii) 5% to 60% by weight, based on the total weight of said components i to ii, of polyalkylene carbonate, particularly polypropylene carbonate; iii) 0% to 60% by weight, based on the total weight of said components i to iii, of at least one biodegradable homo- or copolyester selected from the group consisting of polylactic acid, polycaprolactone and polyhydroxyalkanoate, and/or of an inorganic or organic filler; iv) 0% to 10% by weight, based on the total weight of said components i to ii, of an epoxy-containing copolymer based on styrene, acrylic ester and/or methacrylic ester, and v) 0% to 15% by weight of an additive selected from the group consisting of lubricant, antiblocking agent, antistat, UV absorber, UV stabilizer, thermal stabilizer, dye, pigment, colorant, plasticizer, fertilizer and active crop protection ingredient.</p> <p>The present invention further relates to processes for producing biodegradable polymer mixtures, to the use of biodegradable polymer mixtures in the production of moldings, films or fibers and also moldings, films or fibers comprising biodegradable polymer mixtures.</p>
---	--------------------------------	-------------	--

### Annexe 23. Les brevets significatifs de CSM

<u>Titre</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Résumé</u>
A method of preparing dough products (WO2005094592 A1)	Hahn-Schmidt <i>et alii.</i>	2005	The present relates to a method of preparing a dough product comprising: mixing flour, water and optionally other bakery ingredients to form a dough; and applying a coating composition directly to the outside surface of the dough at a stage of the dough manufacture when the dough is no longer subjected to kneading or lamination, said coating composition containing, calculated on dry matter, emulsifier in an amount of 10-100 % and polysaccharide in an amount of 0-20 %.The dough products obtained by the present method offer the advantage that they can be baked or fried to yield a product that will retain a crispy crust for a considerable period of time and even after reheating of the baked or fried product. Other aspects of the invention relate to dough products that can be obtained by the aforementioned method as well as to baked and fried products obtained by baking or frying such a dough product.
A method of preparing dough products (CA2561892 A1)	Stolz <i>et alii.</i>	2005	The present relates to a method of preparing a dough product comprising: mixing flour, water and optionally other bakery ingredients to form a dough; and applying a coating composition directly to the outside surface of the dough at a stage of the dough manufacture when the dough is no longer subjected to kneading or lamination, said coating composition containing, calculated on dry matter, emulsifier in an amount of 10-100 % and polysaccharide in an amount of 0-20 %.The dough products obtained by the present method offer the advantage that they can be baked or fried to yield a product that will retain a crispy crust for a considerable period of time and even after reheating of the baked or fried product. Other aspects of the invention relate to dough products that can be obtained by the aforementioned method as well as to baked and fried products obtained by baking or frying such a dough product.
Method of preparing a baked or fried product from leavened dough (CA2591672 A1)	Brinker et Schmidt	2006	The present invention relates to a method of preparing a baked or fined product from leavened dough, comprising the successive steps of: a. forming a dough by combining flour, water, a slow reacting leavening system consisting of a leavening acid and a leavening base and optionally one or more other bakery ingredients, said slow reacting leavening system containing (a) a slow reacting leavening acid selected from the group consisting of sodium acid pyrophosphate, calcium acid pyrophosphate, aluminium phosphate, sodium aluminium phosphate, glucono-o-lactone,

			encapsulated leavening acids and combinations thereof, and/or (b) an encapsulated leavening base; b. shaping the dough; c. proofing the dough at a temperature in the range of 5-45 °C for at least 40 minutes to obtain a proofed dough with a specific volume of at least 1.4 ml/g; and d. baking or frying the proofed dough; wherein prior to baking or frying the proofed dough is stored under ambient conditions for more than 1 hour. The present method yields a dough with characteristics that are very similar to yeast leavened dough, but that will not collapse even when stored under ambient conditions for several hours.
A method of preparing dough products (EP1734829 A1)	Stolz <i>et alii.</i>	2006	The present relates to a method of preparing a dough product comprising: mixing flour, water and optionally other bakery ingredients to form a dough; and applying a coating composition directly to the outside surface of the dough at a stage of the dough manufacture when the dough is no longer subjected to kneading or lamination, said coating composition containing, calculated on dry matter, emulsifier in an amount of 10-100 % and polysaccharide in an amount of 0-20 %.The dough products obtained by the present method offer the advantage that they can be baked or fried to yield a product that will retain a crispy crust for a considerable period of time and even after reheating of the baked or fried product. Other aspects of the invention relate to dough products that can be obtained by the aforementioned method as well as to baked and fried products obtained by baking or frying such a dough product.
Method of preparing a baked or fried product from leavened dough (CN101102673 A)	E-M·布林科 et K·斯克梅德特	2008	The present invention relates to a method of preparing a baked or fried product from leavened dough, comprising the successive steps of: a. forming a dough by combining flour, water, a slow reacting leavening system consisting of a leavening acid and a leavening base and optionally one or more other bakery ingredients, said slow reacting leavening system containing (a) a slow reacting leavening acid selected from the group consisting of sodium acid pyrophosphate, calcium acid pyrophosphate, aluminium phosphate, sodium aluminium phosphate, glucono-o-lactone, encapsulated leavening acids and combinations thereof, and/or (b) an encapsulated leavening base; b. shaping the dough; c. proofing the dough at a temperature in the range of 5-45 DEG C for at least 40 minutes to obtain a proofed dough with a specific volume of at least 1.4 ml/g; and d. baking or frying the proofed dough; wherein prior to baking or frying the proofed dough is stored under ambient conditions for more than 1 hour. The present method yields a dough with

			characteristics that are very similar to yeast leavened dough, but that will not collapse even when stored under ambient conditions for several hours.
Modified Proteins With Altered Aggregation Properties (US20080206406 A1)	Jongh et Kusters	2008	The invention relates a method for preparing modified proteins having an increased capacity to bind divalent cations. For example the concentration of calcium at which Ca <sup>2+</sup> induced aggregation occurs is increased by subjecting a protein to Maillard reaction conditions. Such modified proteins are of use for making calcium fortified food products.
Method of preparing a baked or fried product from leavened dough (US20090098269 A1)	Brinker et Schmidt	2009	A method of preparing a baked or fined product from leavened dough, includes a) forming a dough by combining flour, water, a slow reacting leavening system including a leavening acid and a leavening base and optionally one or more other bakery ingredients, the slow reacting leavening system containing (a) a slow reacting leavening acid selected from the group consisting of sodium acid pyrophosphate, calcium acid pyrophosphate, aluminium phosphate, sodium aluminium phosphate, glucono-o-lactone, encapsulated leavening acids and combinations thereof, and/or (b) an encapsulated leavening base; b) shaping the dough; c) proofing the dough at a temperature in the range of 5-45° C. for at least 40 minutes to obtain a proofed dough with a specific volume of at least 1.4 ml/g; and d) baking or frying the proofed dough; wherein prior to the proofed dough is stored under ambient conditions for more than 1 hour.
Method of preparing a baked or fried product from leavened dough (EP1827115 B1)	Brinker et Schmidt	2011	The present invention relates to a method of preparing a baked or fined product from leavened dough, comprising the successive steps of: a. forming a dough by combining flour, water, a slow reacting leavening system consisting of a leavening acid and a leavening base and optionally one or more other bakery ingredients, said slow reacting leavening system containing (a) a slow reacting leavening acid selected from the group consisting of sodium acid pyrophosphate, calcium acid pyrophosphate, aluminium phosphate, sodium aluminium phosphate, glucono-o-lactone, encapsulated leavening acids and combinations thereof, and/or (b) an encapsulated leavening base; b. shaping the dough; c. proofing the dough at a temperature in the range of 5-45 °C for at least 40 minutes to obtain a proofed dough with a specific volume of at least 1.4 ml/g; and d. baking or frying the proofed dough; wherein prior to baking or frying the proofed dough is stored under ambient conditions for more than 1 hour. The present method yields a dough with characteristics that are very similar to yeast leavened dough, but that will not collapse even when stored under ambient conditions for several hours.

Annexe 24. Les brevets citant le brevet Biofine de 1990 (Fitzpatrick, 1990 ; relevé d'après Google Patent)

Brevet citant	Date de dépôt	Date de publication	Déposant	Titre
<a href="#">US5264623</a> *	4 janv. 1993	23 nov. 1993	Energy Mines & Resources Canada	Method of producing calcium salts from biomass
<a href="#">US5608105</a> *	7 juin 1995	4 mars 1997	Biofine Incorporated	Production of levulinic acid from carbohydrate-containing materials
<a href="#">US5697987</a> *	10 mai 1996	16 déc. 1997	The Trustees Of Princeton University	Alternative fuel
<a href="#">US5859263</a> *	14 août 1996	12 janv. 1999	Board Of Regents University Of Nebraska Lincoln	Method and apparatus for production of levulinic acid via reactive extrusion
<a href="#">US5892107</a> *	8 nov. 1996	6 avr. 1999	Arkenol, Inc.	Method for the production of levulinic acid
<a href="#">US6054611</a> *	13 mai 1998	25 avr. 2000	Arkenol, Inc.	Method for the production of levulinic acid and its derivatives
<a href="#">US6309430</a>	1er mai 1997	30 oct. 2001	The Trustees Of Princeton University	Alternative fuel
<a href="#">US6712866</a>	24 sept. 2001	30 mars 2004	Stephen Paul	Alternative fuel
<a href="#">US7700788</a>	31 oct. 2007	20 avr. 2010	Battelle Memorial Institute	Hydroxymethyl furfural oxidation methods

Brevet citant	Date de dépôt	Date de publication	Déposant	Titre
<a href="#">US7815741</a>		19 oct. 2010	Olson David A	Reactor pump for catalyzed hydrolytic splitting of cellulose
<a href="#">US7815876</a>		19 oct. 2010	Olson David A	Reactor pump for catalyzed hydrolytic splitting of cellulose
<a href="#">US8053468</a>	22 nov. 2006	8 nov. 2011	Segetis Inc.	Glycerol levulinate ketals and their use
<a href="#">US8138371</a>		20 mars 2012	Biofine Technologies Llc	Production of formic acid
<a href="#">US8148553</a>	23 juin 2009	3 avr. 2012	Wisconsin Alumni Research Foundation	Catalytic conversion of cellulose to liquid hydrocarbon fuels by progressive removal of oxygen to facilitate separation processes and achieve high selectivities
<a href="#">US8178701</a>	15 juil. 2011	15 mai 2012	Segetis, Inc.	Glycerol levulinate ketals and their use
<a href="#">US8193381</a>	24 févr. 2010	5 juin 2012	Battelle Memorial Institute	Hydroxymethyl furfural oxidation methods
<a href="#">US8193382</a>	24 févr. 2010	5 juin 2012	Battelle Memorial Institute	Hydroxymethyl furfural oxidation methods
<a href="#">US8324376</a>	16 juin 2009	4 déc. 2012	Wisconsin Alumni Research Foundation	Chemical transformation of lignocellulosic biomass into fuels and chemicals
<a href="#">US8426619</a>		23 avr. 2013	Dsm Ip Assets B.V.	Continuous production of furfural and levulinic acid
<a href="#">US8492433</a>	12 avr. 2012	23 juil. 2013	Segetis, Inc.	Glycerol levulinate ketals and their use in the manufacture of polyurethanes, and polyurethanes formed therefrom

Brevet citant	Date de dépôt	Date de publication	Déposant	Titre
<a href="#">US8575367</a>	25 sept. 2009	5 nov. 2013	Segetis, Inc.	Ketal ester derivatives
<a href="#">US8624043</a>	9 févr. 2012	7 janv. 2014	Wisconsin Alumni Research Foundation	Catalytic conversion of cellulose to liquid hydrocarbon fuels by progressive removal of oxygen to facilitate separation processes and achieve high selectivities
<a href="#">US8657960</a>	29 sept. 2010	25 févr. 2014	Nova Pangaea Technologies, Inc.	Method and system for fractionation of lignocellulosic biomass
<a href="#">US8680264</a>	30 oct. 2012	25 mars 2014	Wisconsin Alumni Research Foundation	Chemical transformation of lignocellulosic biomass into fuels and chemicals
<a href="#">US8722878</a>	24 juin 2010	13 mai 2014	Wisconsin Alumni Research Foundation	Biomass hydrolysis
<a href="#">US8765998</a>	16 mars 2012	1 juil. 2014	Biofine Technology, Llc	Production of formic acid
<a href="#">US8906961</a>	15 juil. 2013	9 déc. 2014	Segetis, Inc.	Glycerol levulinate ketals and their use in the manufacture of polyurethanes, and polyurethanes formed therefrom
<a href="#">US8962597</a>	31 mars 2014	24 févr. 2015	Segetis, Inc.	Alkyl ketal esters as dispersants and slip agents for particulate solids, methods of manufacture, and uses thereof
<a href="#">US9067903</a>	2 déc. 2013	30 juin 2015	Wisconsin Alumni Research Foundation	Catalytic conversion of cellulose to liquid hydrocarbon fuels by progressive removal of oxygen to facilitate separation processes and achieve high selectivities
<a href="#">US9156809</a>	27 nov. 2013	13 oct. 2015	Segetis, Inc.	Carboxy ester ketals, methods of manufacture, and uses thereof

Brevet citant	Date de dépôt	Date de publication	Déposant	Titre
<a href="#">US9174909</a> *	2 févr. 2012	3 nov. 2015	Wisconsin Alumni Research Foundation	Two-stage, acid-catalyzed conversion of carbohydrates into levulinic acid
<a href="#">US9181209</a>	28 déc. 2012	10 nov. 2015	E I Du Pont De Nemours And Company	Process for the production of furfural
<a href="#">US9181210</a>	28 déc. 2012	10 nov. 2015	E I Du Pont De Nemours And Company	Processes for making furfurals
<a href="#">US9181211</a>	28 déc. 2012	10 nov. 2015	E I Du Pont De Nemours And Company	Process for the production of furfural
<a href="#">US9200336</a>	9 janv. 2014	1er déc. 2015	Nova Pangaea Technologies Limited	Method and system for fractionation of lignocellulosic biomass
<a href="#">US9206275</a>	1er nov. 2013	8 déc. 2015	Segetis, Inc.	Ketal ester derivatives
<a href="#">US20070208183</a> *	28 févr. 2007	6 sept. 2007	Haan Rene J	Hydrogenation process for the conversion of a carboxylic acid or an ester having a carbonyl group
<a href="#">US20080103318</a> *	31 oct. 2007	1er mai 2008	Lilga Michael A	Hydroxymethyl Furfural Oxidation Methods
<a href="#">US20080242721</a> *	31 mai 2007	2 oct. 2008	Aromagen Corporation	Glycerol Levulinate Ketals and Their Use
<a href="#">US20090143573</a> *	25 janv. 2008	4 juin 2009	Olson David A	Reactor pump for catalyzed hydrolytic splitting of cellulose

Brevet citant	Date de dépôt	Date de publication	Déposant	Titre
<a href="#">US20090204055</a> *	17 avr. 2009	13 août 2009	Lennox Charles D	Treating urinary retention
<a href="#">US20100004437</a> *		7 janv. 2010	Binder Joseph Bartholomew	Chemical Transformation of Lignocellulosic Biomass into Fuels and Chemicals
<a href="#">US20100152469</a> *	24 févr. 2010	17 juin 2010	Battelle Memorial Institute	Hydroxymethyl Furfural Oxidation Methods
<a href="#">US20100152470</a> *	24 févr. 2010	17 juin 2010	Battelle Memorial Institute	Hydroxymethyl Furfural Oxidation Methods
<a href="#">US20100234638</a> *	11 mars 2009	16 sept. 2010	Fitzpatrick Stephen W	Production of formic acid
<a href="#">US20100324310</a> *	23 juin 2009	23 déc. 2010	Dumesic James A	Catalytic Conversion of Cellulose to Liquid Hydrocarbon Fuels by Progressive Removal of Oxygen to Facilitate Separation Processes and Achieve High Selectivities
<a href="#">US20110065159</a> *	24 juin 2010	17 mars 2011	Raines Ronald T	Biomass hydrolysis
<a href="#">US20110100359</a> *	29 sept. 2010	5 mai 2011	Nova Pangaea Technologies Limited	Method and system for fractionation of lignocellulosic biomass
<a href="#">US20110223365</a> *	25 sept. 2009	15 sept. 2011	Segetis, Inc.	Ketal ester derivatives
<a href="#">US20130168227</a> *	28 déc. 2012	4 juil. 2013	E I Du Pont De Nemours And Company	Process for the production of furfural

Brevet citant	Date de dépôt	Date de publication	Déposant	Titre
<a href="#">US20130204039</a> *	2 févr. 2012	8 août 2013	Troy M. Runge	Two-stage, acid-catalyzed conversion of carbohydrates into levulinic acid
<a href="#">CN102030646A</a> *	18 nov. 2010	27 avr. 2011	郑州大学	Direct transformation process of ethyl levulinate by hydrolysis of cellulose materials
<a href="#">CN102030646B</a>	18 nov. 2010	4 sept. 2013	郑州大学	Direct transformation process of ethyl levulinate by hydrolysis of cellulose materials
<a href="#">CN102558106A</a> *	15 déc. 2011	11 juil. 2012	北京金骄生物质化工有限公司	Method for preparing 2-methyltetrahydrofuran from waste biomass
<a href="#">EP2537841A1</a>	18 juin 2012	26 déc. 2012	DSM IP Assets B.V.	Continuous production of furfural and levulinic acid
<a href="#">WO1996040609A1</a> *	17 mai 1996	19 déc. 1996	Biofine Incorporated	Production of levulinic acid from carbohydrate-containing materials
<a href="#">WO2012139743A1</a>	5 avr. 2012	18 oct. 2012	Brueck Bartholomaeus T	Environment friendly method for the production of cement
<a href="#">WO2014037560A1</a>	9 sept. 2013	13 mars 2014	Dsm Ip Assets B.V.	Process for the separation of levulinic acid from biomass
<a href="#">WO2015063033A1</a>	27 oct. 2014	7 mai 2015	Dsm Ip Assets B.V.	Process for the separation of levulinic acid

---

## **POUR UNE MÉSOÉCONOMIE DE L'ÉMERGENCE DE LA BIOÉCONOMIE : REPRÉSENTATIONS, PATRIMOINES PRODUCTIFS COLLECTIFS ET STRATÉGIES D'ACTEURS DANS LA RÉGULATION D'UNE CHIMIE DOUBLEMENT VERTE**

---

Cette thèse analyse, à partir d'une démarche mésoéconomique régulationniste et évolutionniste, l'émergence d'un espace économique. Les acteurs l'ont baptisé « bioéconomie », à partir d'interprétations divergentes du terme. Cet espace se différencie des façons traditionnelles de se représenter la division du travail en secteurs (la chimie, l'agriculture, l'énergie). Les acteurs qui cherchent à constituer cet espace les recomposent dans un champ original et spécifique. Ce champ est fondé sur l'usage de ressources renouvelables végétales, animales et algales. Les acteurs constituant le champ se proposent d'être une « industrie des industries ». Ils fourniraient, non pas des produits finaux, mais des produits intermédiaires, agro-alimentaires ou destinés à la chimie, aux matériaux et à l'énergie. Ce champ ne comprend pas par exemple le photovoltaïque. La bioéconomie recompose les relations entre agriculture et chimie, en (re)faisant de la première un fournisseur de la seconde. Nous mobilisons la notion de régimes de production de connaissances et d'activités économiques pour décrire la diversité des promesses technologiques faites par les acteurs. Nous montrons alors que la bioéconomie ne peut se réduire à la « révolution biotechnologique ». Trois grandes visions de la bioéconomie se confrontent. A un niveau plus fin, on présente trois cas de cette diversité. Les acteurs portent une « économie des promesses » à partir de leurs patrimoines productifs collectifs respectifs qu'ils cherchent à reproduire et projeter dans le futur. Cela donne lieu, de leur part, à un travail de problématisation de l'espace de la bioéconomie, qui détermine leur allocation de ressources.

---

Bioéconomie, régulation, mésoéconomie, patrimoines productifs collectifs, émergence, innovation

---

### **TOWARD A MESOECONOMIC ANALYSIS OF THE EMERGENCE OF A BIOECONOMY: REPRESENTATIONS, COLLECTIVE HERITAGES AND ACTORS STRATEGIES IN THE RÉGULATION OF A DOUBLY GREEN CHEMISTRY**

---

This thesis analyses the emergence of a new economic space from a mesoeconomic regulationist and evolutionist approach. This space has been called "bioeconomy" by the actors after divergent and conflictual interpretations of this concept. This economic space differs from the traditional ways of representing the division of labour into sectors (chemistry, agriculture, energy). The actors involved in seeking to define this space are reconstructing these sectors into an original and specific field, which is built on the use of biobased plant, animal and algal renewable resources. These actors consider themselves to be becoming the "industry of industries". Thus, instead of providing end products, they produce intermediates for agro- or chemical industries, materials or energy. The field does not cover photovoltaic electricity. Therefore, bioeconomy is a recomposition of the relationships between agriculture and chemistry in which the former becomes the supplier for the latter. We use the concept of the regimes of production of knowledge and of economic activity to describe the diversity of the technological promises made by the actors involved. We show, therefore, that bioeconomy cannot be reduced to the biotechnological revolution. Three broad views of bioeconomy emerge. At a deeper level, we present here three case studies to illustrate this diversity. The actors are weighed down by an "economy of promises" based on their own productive heritages that they are trying to reproduce and project into the future. This leads them to problematize the bioeconomy space in order to determine their resource allocations.

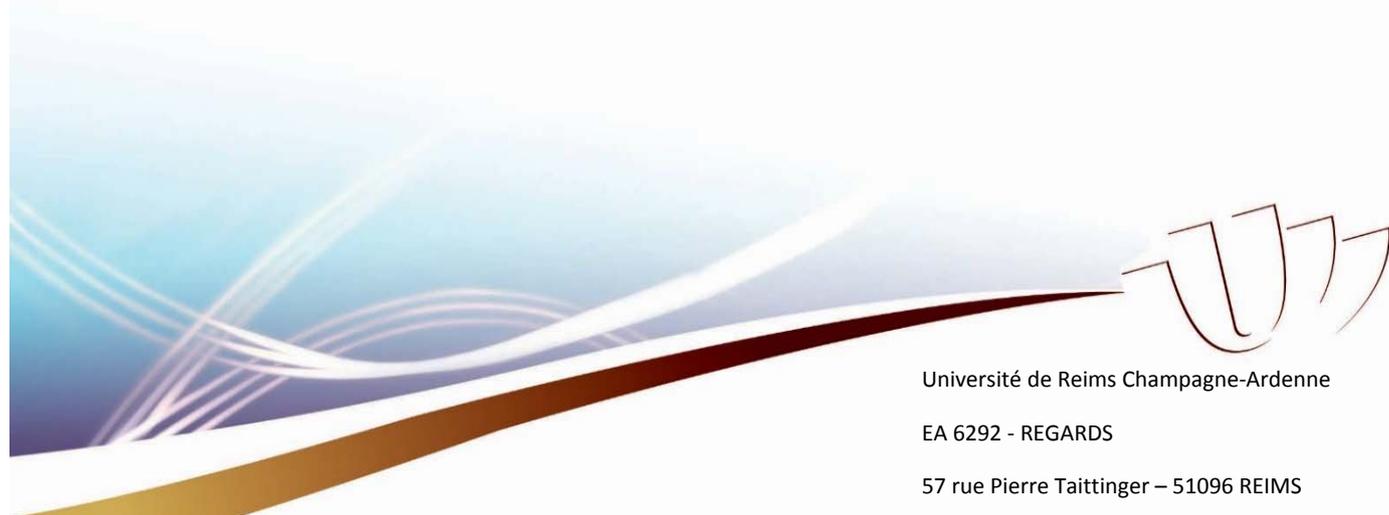
---

Bioeconomy, régulation, mesoeconomy, productive heritages, emergence, innovation

---

**Discipline: SCIENCES ECONOMIQUES**

---



Université de Reims Champagne-Ardenne

EA 6292 - REGARDS

57 rue Pierre Taittinger – 51096 REIMS