

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Institut National Polytechnique de Toulouse (Toulouse INP)

Discipline ou spécialité :

Agrosystèmes, Écosystèmes et Environnement

Présentée et soutenue par :

M. MARTIN VIGAN

le lundi 16 juillet 2018

Titre :

Vers un arbre à palabres agroforestier. Le modèle Terafor d'évaluation multicritère qualitative pour considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles.

Ecole doctorale :

Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingénieries (SEVAB)

Unité de recherche :

Laboratoire Dynamique Forestière dans l'Espace Rural (DYNAFOR)

Directeur(s) de Thèse :

M. MARC DECONCHAT

M. LAURENT SIMON

Rapporteurs :

M. MARC TCHAMITCHIAN, INRA AVIGNON

Mme SANDRA LUQUE, IRSTEA

M. PIERRE DERIOZ, UNIVERSITE D'AVIGNON

Membre(s) du jury :

M. MARC TCHAMITCHIAN, INRA AVIGNON, Président

M. LAURENT SIMON, UNIVERSITE PARIS 1, Membre

M. MARC DECONCHAT, INRA TOULOUSE, Membre

Mme AUDE ALAPHILIPPE, INRA DROME, Membre

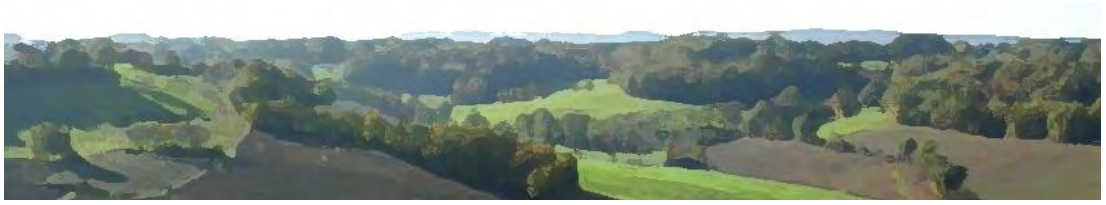
Mme NATHALIE HEWISON, ARBRES ET PAYSAGES D'AUTAN, Membre

Vers un arbre à palabres agroforestier

Le modèle Terafor d'évaluation multicritère qualitative pour considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles

Towards an agroforestry palaver tree

The qualitative multicriteria analysis model Terafor to consider the whole functions of treed area in agricultural landscapes



Martin Vigan

Mémoire de thèse
2018
Université de Toulouse - Institut national polytechnique de Toulouse
Dynafor UMR INRA - INP-ENSAT - INP-Purpan

Fondation de France

Le projet Terafor a été financé par la Fondation de France dans le cadre du programme Agroforesterie en zone tempérée

Remerciements

J'ai réalisé ma thèse grâce au financement de la Fondation de France et à son programme Agroforesterie en zone tempérée. Les rencontres et animations organisées dans le cadre de ce programme ont aussi été l'occasion de croiser les projets, d'échanger notamment avec les acteurs du développement et de recueillir des retours enrichissants.

Je remercie les membres du jury pour l'intérêt porté à mes travaux de thèse et d'avoir accepté de les évaluer. Vos retours et les échanges que nous avons eus lors et à la suite de la soutenance ont été riches et grandement portés sur les perspectives du modèle Terafor. Ils vont m'être utiles pour les suites à donner à mes travaux.
Merci aussi aux personnes qui étaient d'accord pour évaluer ma thèse mais qui n'ont finalement pas pu composer le jury.

Un grand merci à Laurent et Marc pour m'avoir soutenu dans le montage du projet Terafor puis pour avoir accepté d'encadrer mes travaux de thèse. Vous m'avez laissé une grande part d'autonomie, ce qui avait été convenu au départ étant donné vos agendas chargés. Cela m'a été appréciable, d'autant plus que vous avez, en fait, toujours été disponibles pour répondre à mes sollicitations et pour m'aider lors des choix critiques ou stratégiques. Vous avez aussi adhéré au rythme auquel je me suis consacré à ma thèse, et pas (uniquement…) par résignation, notamment en acceptant que je m'implique sur des activités en parallèle (enseignements, formations…), et m'avez soutenu dans ma manière d'orienter ma thèse pour qu'elle contribue à mon projet d'après thèse. Je mesure vraiment la chance que j'ai eu de travaillé à vos côtés durant ces cinq années cérébralement riches.

Merci à Céline qui, par son projet de fin d'études d'ingénieur, a amplement contribué à

mes travaux de thèse. Travailler ensemble a été pour moi plaisant et profitable. Ta volonté d'aller de l'avant et ton aspiration au pragmatisme a impulsé la concrétisation du modèle Terafor. Tu m'as ainsi bien aidé à laisser un peu de côté les aspects conceptuels pour aborder des considérations plus terre à terre et engager la phase d'implémentation.
J'ai aussi apprécié croiser le chemin d'Angel's. Nous avons travaillé ensemble du fait de la proximité de nos sujets d'étude. Nos points de vue sur l'évolution resteront certainement à jamais radicalement divergents, mais j'appréciais réussir à en discuter avec toi toujours en bonne intelligence.

Merci aussi à Mehdi et Nelson qui, dans le cadre de leur projet APIL, ont développé un partenariat avec Dynafor et une connexion avec ma thèse. Notre collaboration a été fertile, agréable et l'occasion de nombreuses rencontres enrichissantes. Elle m'a aussi servi à rester en contact avec les réalités du terrain, ce qui m'a été très profitable.

Je suis reconnaissant aux quinze experts qui ont accepté de consacrer de leur temps et de transmettre leurs connaissances sur les fonctions des espaces arborés. Ces rencontres ont toutes été des moments de discussion intéressante qui ont largement étoffé le modèle Terafor.
Je remercie Dominique Soltner pour la discussion "entre voisins" que nous avons eu sur les arbres, leur rôle… Je n'ai pas formellement inclus cette discussion dans mon travail d'identification des fonctions des espaces arborés, mais elle a toutefois contribué à affiner certains points dans ma thèse.

Je remercie Catherine Cibien, Hubert de Foresta, Sylvie Guillerme, Claude Monteil et David Sheeren d'avoir accepté de constituer mon comité de thèse. A l'occasion de nos trois rencontres, vous avez été à l'écoute et m'avez fait part de vos regards avisés sur mes travaux. Vous m'avez ainsi aidé à prendre du recul et à faire des choix en connaissance de cause durant ma thèse.

L'école doctorale Sevab, l'INRA et l'INP de Toulouse m'ont permis de réaliser ma thèse dans de bonnes conditions. Les procédures administratives n'ont pas toujours été simples à suivre, surtout pour la fin de thèse, mais le résultat est là.

Merci aux collègues de Dynafor qui composent un environnement de travail agréable et

une ambiance joviale. J'ai eu la chance de réaliser ma thèse dans ce petit labo où la bienveillance à largement sa place. Je pense au secrétariat et aux techniciens et ingénieurs (François, les Jérôme (x3), les Laurent (x2), Richard, Sylvie, Valérie, Wilfried…) : vous ne faîtes pas (tous…) de bruit mais vous avez toujours été à l'écoute et pris le temps de répondre à mes questions, de solutionner n'importe quels problèmes. Je pense aussi aux chercheurs (Alain, Annie, Antoine, Aude, Cécile, Claude, Clélia, David, Émilie, Floriane, Georges, Jean-Philippe, Julien, Magali, Marc, Michel…) : par votre attention, vos points de vue différents et vos critiques constructives, vous m'avez aidé à avancer, à faire des choix, à prendre du recul. Et je n'oublie pas mes voisins de bureau (Christian, Sylvie, Véronique et les stagiaires) : grâce à vous, le fond du couloir était convivial.
Merci aussi aux collègues des labos voisins (AGIR, ODR) avec qui j'ai pu échanger lors de séminaires de recherche ou autres rencontres, et notamment à Jacques-Éric qui m'a appris à évoluer plus agilement dans DEXi.

J'ai beaucoup apprécié mes années de thèse aussi avec l'activité d'enseignement que j'ai effectuée à l'Ensat. Merci donc à mes collègues enseignants, de la scolarité et de l'administration qui m'ont permis de prendre plaisir dans cette activité : Anne (x2), Annie, Aude, Benjamin, Benoît, Bruno (x2), Camille (x2), Caroline (x2), Cécile, Christelle, Christiane, Clémentine, Corine, David, Élana, François, Geneviève, Georges, Grégory, Hélène, Hervé, Ingrid, Jean-Pierre, Julie, Katia, Laurie, Magali, Marion, Maritxu, Paule, Pierre, Sandrine, Séverine, Valérie, Zulma…

Merci à Nicolas, mon compagnon de bureau. Bien que nous n'ayons, ni l'un ni l'autre, pu finir notre thèse dans notre petit bureau, je me souviendrai longtemps de ce lieu propice à nos moments de discussions parfois légères, généralement sérieuses, très souvent interminables, mais toujours enrichissantes et qui nous transportaient bien au-delà de notre box de stockage anti-amiante, tentative de reconversion totalement manquée, ou de notre salle d'expériences plutôt réussies sur les fourmis mais complétement infructueuses sur les souris…

Merci aussi aux autres compagnons doctorants, tout particulièrement Clémence, Eugénie, Maïlys, Romain et Sandrine : quand je pense à vous une tranche de pâté me vient à l'esprit. Mais il y a aussi les anciens ou ceux que j'ai moins côtoyés : Anthony, Antoine, Emmanuelle, Floriane, Hugo, Johana, Laurent, Noelline, Pierre-Alexis, Virginie ; et les plus

jeunes que je n'ai pas pris le temps de côtoyer beaucoup : Alexis, Corinne, Nicolas, Nirina, Yousra.

Merci aux copains de l'INRA avec qui j'ai passé de bons moments à la cantine, au ski, au foot, au badminton, au squash… : Alexis, Anne, Benoît, Camille (x2), Cathy, Célia, Céline, Clément, Damien, Germain, Grégory, Gwen, Hélène, Julie, Julien, Maëlys, Marc, Marina, Marion, Nicolas (x2), Pierre, Romain, Sandrine, Thomas, Tiago, Vincent…

Merci à mes parents de m'avoir toujours incité à aller le plus loin possible dans mes études. Vous n'imaginiez pas (moi non plus d'ailleurs) que je prenne autant vos propos à la lettre. Mais vos incitations m'ont conforté à engager une thèse. Et c'est sans regret.
Merci aussi à mes frère et sœurs pour m'avoir soutenu et tout particulièrement sur la fin. Vous vous êtes toujours demandé comment je tiendrais les délais pour un tel travail : vous avez maintenant la réponse…
Mes beaux-parents et ma belle-famille se sont aussi intéressés à mon travail et m'ont bien encouragé pour que j'atteigne le but. Merci à vous.

Incommensurablement merci à toi, Sarah, qui as réussi à ce que le temps de ma thèse ne soit jamais un moment à part de la vie : il y a NOTRE belle aventure que nous avons confortée, il y a eu des petits et grand évènements auxquels nous avons assisté et il y a aussi eu toutes les choses et tous les instants de notre quotidien dont nous avons pu profiter, grâce à toi. Et, d'un autre côté, si je n'ai pas écrit ces lignes en 2020 ou 2021, c'est aussi grâce à toi. Tu as été pour moi comme des racines qui ont maintenu mon esprit ancré à la réalité sans qu'il ne s'évade trop longtemps dans les considérations conceptuelles dans lesquelles la recherche mène souvent (et dans la procrastination à laquelle je m'adonne facilement…). Et tu as aussi été comme des charpentières qui m'ont aidé à maintenir le cap et explorer des pistes toujours pour penser la place de ma thèse dans ma (notre…) vie et dans mon projet professionnel. Merci pour ton soutien et merci aussi pour ta patience que j'ai mise à rude épreuve.

Je finirai sur une note plus légère. Certains moments de ma thèse m'ont paru moins fastidieux grâce à Danakil, Dub Inc., The Lumineers, Madness, Of monsters and men... Je me sentais aussi visé à chaque fois que j'écoutais Gauvain Sers, même si je n'ai jamais pris le bus 96. Je suis curieux de voir comment je vais percevoir cette chanson désormais…



"***Essentially, all models are wrong,***
but some are useful."

George Box et Norman Draper

"L'arbre est un organisme tellement généreux
qu'il offre son ombre
à ceux qui viennent l'abattre."

Francis Hallé

Table des matières

Remerciements 1

Table des matières 9

Table des tableaux 15

Table des illustrations 16

Introduction 19

- 1 - L'agroforesterie en zone tempérée et les défis à relever pour poursuivre son développement 25

1.1. Le développement récent de l'agroforesterie tempérée 25

1.1.1. L'agroforesterie au sens large et le soutien à son développement en Europe et en France 25

1.1.2. Le projet APIL comme exemple de développement de l'agroforesterie 27

1.2. Les espaces arborés dans les territoires agricoles 29

1.2.1. Des arbres dans tous les territoires agricoles en zone tempérée européenne et en France 29

1.2.2. Positionnement et délimitation des "espaces arborés dans les territoires agricoles" 30

1.2.3. Premier défi de l'agroforesterie : prendre en compte tous les espaces arborés dans les territoires agricoles 32

1.3. Les acteurs concernés par les espaces arborés 33

1.3.1. Les arbres à la jonction entre de nombreux acteurs dans les territoires agricoles 33

1.3.2. Des acteurs différents engagés dans les structures d'encadrement et de conseil en agroforesterie 34

1.3.3. Deuxième défi de l'agroforesterie : prendre en compte tous les acteurs concernés par les espaces arborés des territoires agricoles 35

1.4. Les multiples fonctions des espaces arborés 36

1.4.1. Les fonctions des espaces arborés et les services écosystémiques de

l'agroforesterie 36
1.4.2. L'agroforesterie : pratiquer l'agroécologie grâce aux arbres 38
1.4.3. Troisième défi de l'agroforesterie : prendre en compte l'ensemble des fonctions des espaces arborés 40
1.5. Le modèle Terafor pour relever les trois défis de l'agroforesterie : vers un outil d'aide à la discussion sur les fonctions des espaces arborés 41
1.5.1. Concevoir des outils pour réunir les connaissances et dépasser le manque de recul sur l'agroforesterie 41
1.5.2. L'objectif et la finalité de la thèse : évaluer pour discuter de l'ensemble des fonctions des espaces arborés et construire des projets partagés de territoires agroforestiers 43

- 2 - Le positionnement de recherche adopté et la méthodologie générale de la thèse47

2.1. L'articulation des trois notions structurantes du positionnement de recherche : développement territorial, démarches participatives et approche systémique 47
2.2. Le choix de la méthode découlant du positionnement de recherche : une analyse multicritère qualitative propice à la participation avec DEXi 52
2.2.1. Un panorama de l'analyse multicritère 52
2.2.2. Le choix d'une méthode d'analyse multicritère appropriée au sujet de ma thèse et la sélection de DEXi 56
2.3. Principes et fonctionnement de DEXi : une méthode d'analyse multicritère, hiérarchique, qualitative et experte 62

- 3 - Les fonctions des espaces arborés et leur identification pour le modèle Terafor . 71

3.1. Matériel et méthode : les fonctions des espaces arborés et leur identification 72
3.1.1. Les fonctions des espaces arborés et les services écosystémiques 72
3.1.2. L'identification des fonctions des espaces arborés à partir de la littérature technique et de vulgarisation 73
3.1.3. La rencontre d'experts pour conforter l'identification des fonctions des espaces arborés 75
3.1.4. L'analyse des fonctions des espaces arborés à partir de la littérature scientifique 77
3.1.5. Une base de connaissances pour capitaliser les informations sur les fonctions des espaces arborés 77
3.2. Résultat : les 77 fonctions retenues pour le modèle Terafor 79
3.2.1. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités forestières et agroforestières (fonctions 1 à 10) 80
3.2.2. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités d'élevage et apicoles (fonctions 11 à 23) 82

3.2.3. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités culturales (fonctions 24 à 39) 84
3.2.4. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités de gestion et d'aménagement de ces espaces et leurs abords (fonctions 40 à 44) 86
3.2.5. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités de résidence (fonctions 45 à 52) 87
3.2.6. Les fonctions des espaces arborés concernant l'attractivité du territoire et les activités récréatives (fonctions 53 à 59) 89
3.2.7. Les fonctions des espaces arborés concernant le fonctionnement écosystémique (fonctions 60 à 68) 90
3.2.8. Les fonctions des espaces arborés concernant les cycles biogéochimiques et le fonctionnement climatique régional (fonctions 69 à 77) 91
3.3. Discussion : une identification et une catégorisation des fonctions des espaces arborés adaptées à l'objectif de la thèse 93
3.3.1. Une identification et une catégorisation qui prépare la construction du modèle Terafor 93
3.3.2. Les fonctions des espaces arborés repositionnées selon les structures et processus biophysiques en amont 99
3.3.3. D'autres regards possibles sur les fonctions des espaces arborés 101

- 4 - Le modèle Terafor pour évaluer l'ensemble des fonctions des espaces arborés avec DEXi 109

4.1. Matériel et méthode : l'implémentation du modèle Terafor dans DEXi 110
4.1.1. Les principales exigences de DEXi structurant le modèle Terafor 110
4.1.2. Structurer les fonctions des espaces arborés pour expliciter les activités qu'elles influencent 112
4.1.3. Choisir les paramètres et définir leurs valeurs pour évaluer les fonctions des espaces arborés 113
4.1.4. Définir les valeurs des fonctions et supra-fonctions et les règles d'agrégations 116
4.1.5. Une typologie des espaces arborés pour affiner le modèle Terafor 118
4.2. Résultat : le modèle Terafor et l'évaluation des 77 fonctions pour les trois types d'espaces arborés (ponctuel, linéaire, surfacique) 120
4.2.1. La structuration hiérarchique générale et le choix des fonctions pour les trois types d'espaces arborés 120
4.2.2. Les paramètres pour l'évaluation des fonctions des espaces arborés. 123
4.2.3. Les valeurs des critères du modèle Terafor 125
4.2.4. Les règles d'agrégation pour l'évaluation des fonctions et des supra-fonctions des espaces arborés 128
4.3. Discussion : comportement du modèle et premiers enseignements sur son

utilisabilité 128
4.3.1. Une évaluation homogène des 77 fonctions des espaces arborés 128
4.3.2. Positionnement de l'organisation du modèle Terafor 131
4.3.3. Comportement et utilisabilité du modèle Terafor 133

- 5 - Discussion générale 139

5.1. Les apports et limites du modèle Terafor pour considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés 139
5.1.1. Le modèle Terafor : un modèle inédit concernant le nombre de fonctions, d'espaces arborés et d'activités couverts 139
5.1.2. Un modèle à adapter selon chaque situation et projet 141
5.1.3. Un modèle à enrichir avec les nouvelles connaissances 142
5.2. Les apports et les limites de la méthodologie adoptée pour la construction du modèle Terafor 143
5.2.1. DEXi : une méthode appropriée à l'évaluation des fonctions des espaces arborés 143
5.2.2. L'approche systémique supportée par le modèle Terafor 146
5.3. Les perspectives : du modèle Terafor à un outil d'aide à la discussion 148
5.3.1. Le modèle Terafor pour les démarches participatives et le développement territorial 148
5.3.2. Un modèle qui a sa place dans les démarches de construction de projets partagés de territoire 150
5.3.3. Vers un outil d'aide à discussion pour la construction de projets partagés de territoires agroforestiers 152

Conclusion : Le modèle Terafor pour l'apprentissage de l'agroforesterie, de l'agroécologie et de la multifonctionnalité 157

Bibliographie 161

Annexes 177

Résumé 343

Abstract 345

Table des tableaux

Tableau 1 : Les différentes méthodes d'analyse multicritère au regard des principales propriétés ou facultés recherchées pour le sujet de ma thèse 62

Tableau 2 : Termes combinés dans les requêtes pour l'identification des fonctions des espaces arborés 74

Tableau 3 : Renseignements sur les experts rencontrés 76

Tableau 4 : Les entrées de la base de connaissances utilisée pour enregistrer les informations collectées sur les fonctions présentées avec l'exemple des fonctions "Production de bois d'œuvre" et "Protection contre l'érosion éolienne" 78

Tableau 5 : Les catégories et sous-catégories de structures et processus biophysiques utilisées pour proposer une classification des fonctions des espaces arborés inventoriées et leurs effectifs de fonctions 100

Tableau 6 : Les différentes catégories de critères (ou différents niveaux) du modèle Terafor, classées dans le sens de l'analyse, et les trois étapes de l'implémentation du modèle dans DEXi s'y rapportant 112

Tableau 7 : Le nombre de fonctions retenues et les fonctions non retenues dans le modèle Terafor pour les trois types d'espaces arborés 123

Tableau 8 : Description quantitative des paramètres du modèle Terafor pour chaque type d'espaces arborés 125

Tableau 9 : Effectifs des différents types de critères du modèle Terafor selon le nombre de valeurs par gamme de valeurs attribuée au critère et le type d'espaces arborés..... 126

Table des illustrations

Figure 1 : Les territoires agricoles sont composés de divers espaces arborés, comme le montre ce paysage du sud-ouest de la France 30

Figure 2 : La "cascade" des services écosystémiques 37

Figure 3 : Les fonctions des espaces arborés sont multiples et concernent différents acteurs et activités des territoires agricoles 38

Figure 4 : Représentation de l'objet d'étude, de l'objectif et de la finalité de mes travaux de thèse..... 44

Figure 5 : Le cadre général de la conception du modèle Terafor 49

Figure 6 : Approche systémique et démarche participative pour traiter deux causes de la complexité du sujet de la thèse 51

Figure 7 : Classement des différents méthodes d'analyse multicritère..... 56

Figure 8 : Principes de fonctionnement de DEXi et terminologie..... 64

Figure 9 : Positionnement des fonctions des espaces arborés dans la "cascade" des services écosystémiques 73

Figure 10 : Présentation de l'interface du logiciel DEXi et des trois étapes de l'implémentation du modèle Terafor avec l'exemple de l'évaluation de la fonction "Production de bois d'œuvre"pour les espaces arborés linéaires..... 114

Figure 11 : Délimitation des trois types d'espaces arborés distingués dans le modèle Terafor..... 119

Figure 12 : La structuration hiérarchique du modèle Terafor : 77 fonctions des espaces arborés et 3 niveaux de supra-fonctions avec 14 activités et les 4 domaines d'activités mettant en exergue 22 acteurs concernés 121

Figure 13 : Description de l'évaluation de la fonction "Production de bois d'œuvre" pour les trois types d'espaces arborés 127

Figure 14 : Paramètres, fonctions et valeurs des espaces arborés dans la "cascade" des services écosystémiques 132

Figure 15 : Fréquence des valeurs du critère final (rôle des espaces arborés) obtenues avec le modèle Terafor pour chacun des types ponctuel, linéaire et surfacique lors d'une analyse de Monte-Carlo simulant l'évaluation de 1000 options (espaces arborés) par type 134

Figure 16 : Typologie des outils participatifs pour la construction de projets de territoire, selon leur fonction et la participation qu'ils mettent en œuvre 151

Introduction



Les arbres dans les territoires agricoles tempérés sont l'objet de nombreuses pratiques et constituent divers systèmes agroforestiers. Ces pratiques et systèmes sont remis au goût du jour dans de nombreux projets et actions, tant en recherche agronomique que pour le développement agricole et rural. L'agroforesterie, tout comme le courant récent de l'agroécologie dans lequel elle s'inscrit, est encouragée et soutenue actuellement par les pouvoirs publics et par l'ensemble des organismes s'occupant de son développement, en France et en Europe. En effet, les arbres peuvent apporter des réponses à nombre de préoccupations actuelles (changement climatique, énergie renouvelable, conservation des sols, qualité de l'eau, biodiversité, intensification écologique). Cela tient au fait que les arbres et les espaces arborés qu'ils composent sont susceptibles de porter différentes fonctions pouvant opérer sur toutes ces préoccupations.

Les fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles sont nombreuses et diverses, elles varient selon le type d'espaces arborés (arbre isolé, haie, bois), elles apportent des bénéfices mais peuvent aussi être préjudiciables selon les acteurs des territoires concernés ou selon la localisation, elles sont plus ou moins effectives selon de multiples caractéristiques morphologiques, de composition, spatiales, structurales des espaces arborés... Or, pour tirer le meilleur profit des arbres et des espaces arborés dans

les territoires agricoles, il est nécessaire de connaitre et de considérer ces fonctions (Ango *et al.* 2014 ; Barton *et al.* 2016). Cela implique de mobiliser une grande quantité d'informations pour l'ensemble des fonctions des différents espaces arborés. Parvenir à capitaliser et organiser toutes ces informations aiderait à concevoir et gérer des systèmes agroforestiers et à poursuivre le développement de l'agroforesterie. C'est ce à quoi s'attachent mes travaux de thèse.

Pour mener mes travaux de thèse, j'ai adopté un positionnement de recherche qui repose sur trois notions structurantes : le développement territorial, les démarches participatives et l'approche systémique. Le choix de ces notions et du positionnement de recherche qu'elles constituent s'explique à la fois par ma posture, que j'ai construite lors de mon parcours universitaire et professionnel, et par l'environnement de recherche, qui inclut les cadres scientifique et de financement.

J'ai proposé un projet de thèse qui intègre mes expériences universitaires et professionnelles. L'ingénierie territoriale a été une composante conséquente de ma spécialisation d'ingénieur agronome (SPET 2011) et les processus participatifs ont été au cœur du projet OPTIQ-Biodiversité (Outils et processus pour une territorialisation intégrée de la qualité de la biodiversité) (Bailly *et al.* 2014 ; Valenzisi *et al.* 2016) dans lequel je me suis impliqué en tant qu'ingénieur de recherche. Il s'agissait dans les deux cas de composer avec différentes représentations et motivations des acteurs pouvant mener à des rapports conflictuels concernant des ressources et des espaces dans un territoire (les ressources naturelles et agricoles pour le projet de ma spécialisation universitaire, la biodiversité et la gestion des espaces forestiers pour le projet OPTIQ-Biodiversité). L'objectif était à chaque fois d'identifier et de discuter les points d'accord, pour mettre à profit les consensus, et les points de désaccord, pour dépasser les antagonismes, afin de construire des projets partagés de territoire. J'ai inscrit mes travaux de thèse dans la continuité de ces expériences et les ai focalisés sur les arbres et les espaces arborés que j'étudie depuis plusieurs années (Vigan 2011 ; Bailly *et al.* 2014 ; Deconchat *et al.* 2014) avec une pointe de fascination.

En se consacrant aux espaces arborés et à leurs fonctions dans les territoires agricoles, ma thèse traite un objet d'étude familier du laboratoire Dynafor (Dynamiques et écologie des paysages agriforestiers) dans lequel j'étais hébergé. Ce laboratoire, créé en 2003, consacre ses travaux sur les espaces arborés (forêts et bois, haies, lisières forestières) et

les fonctions écologiques des espaces semi-naturels comprenant notamment ces espaces arborés. L'analyse et la compréhension des processus socio-écologiques jusqu'à l'échelle du paysage interviennent dans la plupart de ces travaux. Pour cela, le laboratoire s'adosse à plusieurs disciplines écologiques (écologie des paysages, écologie des communautés, écologie forestière), socio-économiques et sociotechniques (géographie, agronomie, zootechnie) ainsi qu'aux sciences informatiques et géomatiques (modélisation, télédétection, système d'information géographique) (Dynafor 2018). Cette approche pluridisciplinaire et ce regard à l'échelle du paysage ont naturellement guidé mes travaux sur les espaces arborés et leurs fonctions dans les territoires agricoles. Toutefois, je m'attache d'une part à considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés et leurs conséquences pour tous les acteurs concernés. D'autre part, je me place dans la perspective finalisée de contribuer à l'élaboration d'un outil participatif pour aider à la construction de projets partagés de territoire. Je traite ainsi un sujet tout à fait inédit au sein du laboratoire Dynafor. J'ai été encadré dans mes travaux de thèse par Marc Deconchat, écologue des paysages, et Laurent Simon, géographe. À leurs deux disciplines s'ajoute mon inscription dans le courant de l'agronomie des territoires (Benoît *et al.* 2012 ; Lardon *et al.* 2012). Cet encadrement a conforté la pluridisciplinarité de mes travaux de thèse. J'ai ainsi tenté de répondre à l'incitation de Boiffin (2004) à rapprocher l'agronomie, la géographie et l'écologie pour travailler sur les territoires agricoles, leurs composantes, leurs structures spatiales et leurs dynamiques.

Le financement de ma thèse m'a également incité à développer le caractère finalisé et la pluridisciplinarité dans mes travaux. En effet, mes travaux ont été financés par la Fondation de France dans le cadre de son programme Agroforesterie en zone tempérée. Ce programme existe depuis 2011 et a anticipé le fort soutien public et politique à l'agroforesterie affiché depuis 2014 en France. Il a pour ambition de combler le manque de connaissances sur ce sujet en soutenant des travaux de recherche sur les interactions entre les arbres, les productions agricoles et les hommes en zone tempérée et, en particulier, sur la conception de systèmes agroforestiers jusqu'à l'échelle du territoire. Pour cela, la Fondation de France encourage les travaux pluridisciplinaires, à visée finalisée et en partenariat entre la recherche et le développement (Fondation de France 2013 ; Fondation de France 2018). L'ensemble des projets réalisés dans le cadre de ce programme font l'objet de présentations et de discussions avec les acteurs du développement, notamment lors des journées d'échanges annuelles (Fondation de

France 2015).

Ainsi, ma posture, le cadre scientifique et le contexte de financement ont largement empreint le positionnement de recherche et le sujet de ma thèse. Ils sont à l'origine de l'acception large de la notion d'agroforesterie, à l'échelle du territoire, que je retiens pour mes travaux et du recours à l'approche systémique et de modélisation pour réussir à traiter l'agroforesterie jusqu'à cette échelle. Ils expliquent aussi le choix d'une finalité opérationnelle et de son inscription dans un cadre alliant le développement territorial et les démarches participatives.

Dans une première partie, je présente le contexte du développement récent de l'agroforesterie et décris l'agroforesterie dans son acception couvrant i) tous les espaces arborés, ii) toutes leurs fonctions et iii) tous les acteurs concernés dans les territoires agricoles. Le projet APIL (L'Agroforesterie aux pieds des Pyrénées, carrefour des innovations et créatrice de liens entre agriculteurs) en Ariège, auquel j'ai collaboré, vient illustrer cette acception. L'acception large d'agroforesterie, au regard du positionnement de recherche adopté, amène à définir trois défis : prendre en compte chacun des trois points i), ii) et iii) listés précédemment dans le développement de l'agroforesterie. L'objectif et la finalité de mes travaux de thèse ont été définis pour contribuer à relever ces défis. Ils consistent à identifier et à évaluer l'ensemble des fonctions des espaces arborés pour aider à la discussion entre acteurs sur ces fonctions et à la construction de projets partagés de territoires agroforestiers. Au terme de la première partie, je présente cet objectif et cette finalité qui ont conduit à faire de l'ensemble des fonctions des espaces arborés l'objet d'étude de ma thèse et à centrer sur cet objet le modèle Terafor résultant de mes travaux.

La deuxième partie détaille d'abord le positionnement de recherche et l'articulation de ses trois notions constitutives : l'approche systémique forme le cadre méthodologique pour répondre à l'objectif alors que le développement territorial et les démarches participatives forment le cadre opérationnel dans lequel s'inscrit la finalité. Pour satisfaire ce positionnement, j'ai opté pour l'analyse multicritère comme méthodologie de mes travaux de thèse. Je propose donc ensuite un panorama de l'analyse multicritère pour présenter la diversité des méthodes d'analyse multicritère et mettre en évidence les plus

appropriées au sujet de ma thèse. Je décris finalement DEXi, le logiciel d'analyse multicritère qualitative hiérarchique basée sur des règles de décision, que j'ai sélectionné pour supporter le modèle Terafor.

Les troisième et quatrième parties décrivent la construction du modèle Terafor qui s'est déroulée en deux étapes. La troisième partie se consacre à la première étape qui a consisté à identifier l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles. Je précise d'abord ce que j'entends par fonctions des espaces arborés et présente la méthode d'identification à partir de la littérature et de la rencontre d'experts. Puis, je décris les 77 fonctions identifiées et catégorisées selon les activités qu'elles concernent. Enfin, je discute ce résultat qui constitue une base étoffée pour entamer la seconde étape de la construction du modèle Terafor et je replace l'ensemble des fonctions identifiées au regard d'autres catégorisations.
La quatrième partie se consacre à la seconde étape lors de laquelle l'ensemble des fonctions des espaces arborés identifiées a été structuré et l'évaluation des fonctions a été définie pour implémenter le modèle Terafor dans DEXi. Je décris d'abord la méthode de construction du modèle qui respecte des exigences pour répondre à l'objectif et à la finalité de ma thèse et pour satisfaire les contraintes imposées par DEXi. Puis, je présente la structuration qui regroupe les 77 fonctions en quatorze activités et quatre domaines d'activités ainsi que leur évaluation à partir des paramètres qui caractérisent les espaces arborés dont on souhaite connaitre les fonctions. Enfin, je discute l'évaluation homogène de l'ensemble des fonctions des espaces arborés ainsi que l'organisation, le comportement et l'utilisabilité du modèle Terafor.

La cinquième partie présente une discussion générale de mes travaux. Je montre d'abord que le modèle Terafor répond à l'objectif d'évaluer l'ensemble des fonctions des espaces arborés et qu'il pourra s'adapter aux nouvelles connaissances et aux situations dans lesquelles il sera utilisé. Je discute ensuite la méthodologie adoptée avec les avantages et les limites de l'analyse multicritère avec DEXi, de l'approche systémique appliquée et de l'approche centrée sur les activités pour traiter des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles. Enfin, j'étudie les perspectives du modèle Terafor dans le cadre des démarches participatives et du développement territorial, son positionnement parmi les outils participatifs et les travaux à engager pour l'opérationnaliser.

- 1 -
L'agroforesterie en zone tempérée et les défis à relever pour poursuivre son développement



1.1. Le développement récent de l'agroforesterie tempérée

1.1.1. L'agroforesterie au sens large et le soutien à son développement en Europe et en France

L'agroforesterie consiste à associer des productions agricoles et des arbres. Elle correspond à plusieurs acceptions. La plus restreinte ne considère que les pratiques consistant à planter des arbres au sein de parcelles cultivées (JORF 2015). Mais l'agroforesterie peut aussi comprendre d'autres productions agricoles en plus des cultures, telles que l'élevage, et d'autres arbres en plus de ceux plantés dans les parcelles agricoles, tels que les arbres spontanés (non plantés) ou se trouvant en bordure des parcelles (Bayala *et al.* 2011 ; EURAF 2017). En plus de se placer à l'échelle de la parcelle et ses abords, l'acception la plus large considère les associations agroforestières aux échelles des exploitations agricoles et des territoires qui juxtaposent voire superposent productions agricoles et arbres (Leakey 1996). Parmi ces différentes acceptions d'agroforesterie, j'ai retenu la plus large pour mes travaux de thèse. Je la considère ainsi jusqu'à l'échelle du territoire et comme étant l'intégration aussi bien des arbres

dans les pratiques ou les espaces agricoles que des productions agricoles dans les pratiques forestières ou les espaces arborés (Vigan *et al.* 2017).

Avec l'acception large de la notion d'agroforesterie, mes travaux de thèse prennent en compte tous les espaces arborés dans les territoires agricoles. La grande majorité des territoires agricoles tempérés européens sont ainsi concernés, comme nous le verrons ultérieurement (partie 1.2.1, p. 29). Dans ces territoires, les espaces arborés connaissent constamment des évolutions en réponse aux usages des arbres et aux pratiques agricoles (Pointereau et Bazile 1995 ; Plieninger *et al.* 2012). Les transformations de l'agriculture durant la deuxième moitié du 20ème siècle (mécanisation, remembrement, agrochimie, délaissement des terres les moins productives) n'ont que rarement épargné les systèmes agroforestiers traditionnels en Europe, soit par la suppression des espaces arborés dans les zones de forte modernisation de l'agriculture (Pointereau 2002), soit par leur abandon dans les zones de déprise agricole (Sitzia *et al.* 2010 ; Moreno *et al.* 2014). Ces systèmes agroforestiers ont alors connu une forte régression, tout particulièrement durant les années 1960 à 1990 dans la plupart de l'Europe (Pointereau 2002). Malgré cela, certains de ces systèmes traditionnels ont réussi à se maintenir par endroits (bocages dans l'ouest de la France, *dehesa* du sud-ouest de la péninsule ibérique). Aujourd'hui, les espaces arborés regagnent en intérêt et une agroforesterie moderne se développe avec des projets de (ré)implantation ou de valorisation de systèmes agroforestiers.

Le développement de l'agroforesterie intraparcellaire moderne a débuté dans les années 1990 avec l'implantation de parcelles expérimentales en France, pays considéré comme pionnier dans ce domaine en Europe (RMT Agroforesteries 2017). C'est, par ailleurs, dans ces mêmes années que les premières associations locales de développement de l'agroforesterie ont été créées : Prom'Haies Poitou-Charentes (1989), Arbre et paysage du Gers (1990), Mission bocage (1991), Arbres et paysages d'Autan (1995), Mission Haies Auvergne (1996)… Ces associations se sont organisées au niveau national plus de vingt ans plus tard avec la création en 2007 de deux associations fédératrices : l'Association française Arbres champêtres et agroforesteries (AFAC-Agroforesteries) et l'Association française d'agroforesterie (AFAF). Cette dynamique de fédération s'est aussi accomplie au niveau européen avec l'EURAF (*European Agroforestry Federation*) qui a été créée en 2011.

Les soutiens publics et politiques forts en France datent de moins de cinq ans. La loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, qui a officiellement instauré l'agroécologie en France et par la même occasion a lancé les bases du soutien public envers l'agroforesterie, a été votée en 2014. Si quelques mesures de la Politique agricole commune (PAC) encourageaient le maintien et l'implantation de certains espaces arborés (haies et parcelle complantée) depuis 2006, la révision de la PAC en 2015 a considérablement renforcé cet encouragement en ajoutant de nouvelles mesures en faveur du développement de l'agroforesterie, considérée dans un sens plus large qu'auparavant, et pour la préservation de l'ensemble des arbres sur les exploitations agricoles (AFAF 2014). Cet encouragement a aussi été soutenu par deux rapports sur la promotion des systèmes agroforestiers (Balny *et al.* 2015) et sur le développement de l'agroforesterie (MAAF 2015a). C'est dans le cadre de cette impulsion que le réseau mixte technologique (RMT) AgroforesterieS a été agréé par le Ministère en charge de l'agriculture dès 2014. Ce réseau regroupe une cinquantaine d'organismes français de recherche, de développement et d'enseignement autour de l'agroforesterie.

Tous ces soutiens viennent conforter une agroforesterie actuellement en vogue, bien qu'aucune politique et aucun budget n'aient encore été instaurés pour l'agroforesterie à part entière au niveau national ou européen (Labant 2017). Cependant, le développement de l'agroforesterie moderne en France a débuté il n'y a qu'une vingtaine d'année. Le dynamisme qu'il connait est très récent et il ne bénéficie donc que de peu de recul.

1.1.2. Le projet APIL comme exemple de développement de l'agroforesterie

Au cours de ma thèse, j'ai suivi et contribué au projet de développement de l'agroforesterie APIL (L'Agroforesterie aux pieds des Pyrénées, carrefour des innovations et créatrice de liens entre agriculteurs) dont le laboratoire Dynafor, auquel je suis rattaché, était l'un des partenaires. Ce projet a été financé dans le cadre du CASDAR (Compte d'affectation spéciale Développement agricole et rural) "Mobilisation collective pour l'agroécologie" sur la période 2014 - 2017. Il était porté par l'association ariègeoise Bois paysan qui était accompagnée par la Chambre d'agriculture de l'Ariège pour son montage et sa mise en œuvre. Son objectif était d'améliorer les performances économiques et environnementales des exploitations agricoles grâce à l'arbre et au bois. Pour cela, des conseils et supports techniques ont été établis pour encourager et

accompagner les agriculteurs à déployer des activités agroforestières sur leurs exploitations. De plus, des actions et réflexions ont été menées afin que des synergies se développent entre acteurs agricoles (agriculteurs, coopératives agricoles) ainsi qu'avec d'autres acteurs du territoire (syndicats de rivière, collectivités territoriales) concernés par la valorisation des arbres et du bois.

Le projet APIL illustre la diversité des systèmes et projets agroforestiers qu'il est possible de développer pour tirer profit des associations entre les arbres et les productions agricoles. En effet, des territoires contrastés avec des problématiques variées et des pratiques différentes sont concernés :

- la plaine céréalière du nord du département de l'Ariège se caractérise, d'une part, par une faible quantité d'arbres. Des projets d'implantation, notamment de haies, ont donc été réalisés et continuent de se développer pour accroitre le nombre d'arbres et leurs bénéfices. D'autre part, les sols cultivés de cette plaine connaissent une chute du taux de matière organique. Cette perte de fertilité des sols pourrait être résorbée par l'arrêt de l'exportation des pailles, notamment vers les élevages du piémont. Pour cela, la valorisation du bois présent sur ces exploitations d'élevage en litière s'est développée avec l'achat collectif de matériel de production de bois déchiqueté pour se substituer à la paille importée de la plaine ;
- les coteaux en polyculture-élevage au nord-est du département de l'Ariège se composent de bois, qui occupent surtout les pentes nord, et des cultures sur les autres pentes et les fond de vallées. Des projets de plantations d'arbres en alignements intraparcellaires sur les pentes cultivées visent à pallier les problèmes d'érosion et à améliorer la continuité entre les espaces arborés séparés. De plus, les ripisylves mal entretenues réduisent la zone d'expansion des crues et provoquent des embâcles dans les cours d'eau. Des projets pour encourager l'entretien et la valorisation du bois de ces rives arborées, mais aussi des alignements d'arbres de bord de route et des forêts publiques, ont impliqué des discussions avec des techniciens de rivière et des responsables de collectivités territoriales ;
- le piémont au centre du département de l'Ariège occupé par l'élevage est confronté à l'expansion des accrus qui provoquent la fermeture des espaces agricoles. Pour maîtriser ces accrus, des projets collectifs de valorisation des produits issus de ces espaces arborés (bûches, plaquettes forestières, bois raméal fragmenté) prévoient

de rentabiliser leur entretien.

Une collaboration et de nombreux apports réciproques ont eu lieu entre le projet APIL et mes travaux de thèse. Mais, la coordination étroite envisagée, notamment avec l'application du modèle Terafor dans le cadre de ce projet, n'a pas pu avoir lieu à cause de temporalités différentes entre le déroulement de ce projet et la production du modèle Terafor. Toutefois, le projet APIL m'a permis d'être au fait des réflexions et des actions sur le front du développement de l'agroforesterie. Il a constitué un retour d'expérience et a corroboré les trois défis de l'agroforesterie que je cherche à relever avec mes travaux de thèse : la prise en compte de tous les espaces arborés (partie 1.2, p. 29), des différents acteurs concernés (partie 1.3, p. 33) et de l'ensemble des fonctions de ces espaces (partie 1.4, p. 36).

1.2. Les espaces arborés dans les territoires agricoles

1.2.1. Des arbres dans tous les territoires agricoles en zone tempérée européenne et en France

Les arbres sont omniprésents dans les territoires agricoles européens. Tous les paysages agricoles distingués par Meeus *et al.* (1990) en sont pourvus, qu'il s'agisse des paysages par définition très arborés (bocages, *coltura promiscua*, *montados*), des paysages qui le sont moins (semi-bocages, montagnes) ou même des paysages qui en sont pourtant dégarnis (openfields, polders, deltas, *highlands*). Ces paysages présentent une grande diversité d'agencements des arbres et donc une grande diversité des espaces arborés qu'ils composent. Cette diversité est visible au sein d'un même territoire avec généralement la présence de différents types d'espaces arborés (Figure 1, page suivante).

La diversité des espaces arborés s'observe aussi au sein d'un même type d'espaces arborés, selon les territoires par exemple : haies brise-vent de Cyprès dans la Vallée du Rhône, haies de Hêtres de hauts jets sur talus du Pays de Caux, haies à plusieurs strates et à essences diversifiées des bocages de l'ouest de la France, haies basses du Charolais-Brionnais.
La quantité ou la densité d'arbres, leur localisation et les espaces qu'ils composent

résultent de l'organisation et de la gestion pluriséculaires des territoires dans lesquels ils se trouvent (Lebeau 2012).

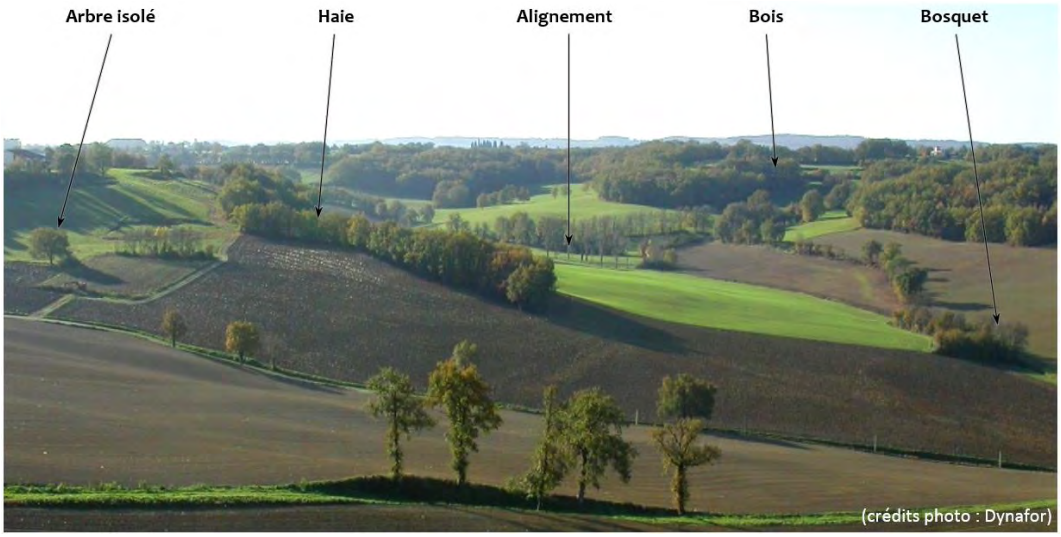


Figure 1 : Les territoires agricoles sont composés de divers espaces arborés, comme le montre ce paysage du sud-ouest de la France

Ces espaces arborés sont de types différents concernant par exemple leur forme. Ils peuvent être ponctuels (arbre isolé, bosquet), linéaires (haie, alignement d'arbres, ripisylve) ou surfaciques (forêt, bois, parcelle agricole complantée, parcours boisé, verger). Leur type est parfois ambigu, comme l'illustrent les cinq arbres au premier plan : s'agit-il de plusieurs arbres isolés ou d'un alignement et d'un arbre isolé ou encore d'un bosquet clairsemé ?

1.2.2. Positionnement et délimitation des "espaces arborés dans les territoires agricoles"

La délimitation des objets considérés lorsque l'on s'intéresse aux arbres n'est pas universelle du fait notamment des diverses formes qu'ils déploient et des divers regards que l'on peut porter sur eux (Galochet et Simon 2003). Les arbres, comme nous l'avons vu juste avant, composent différents espaces dans les territoires agricoles : arbres isolés, alignements, haies, bosquets, vergers, bois… Me plaçant dans la perspective du développement et de l'aménagement des territoires, c'est bien ces espaces arborés que je considère et non les arbres en tant que tels. Ainsi, j'utilise le terme "espaces arborés", car avec "espace" je me focalise sur des portions de territoire et je m'intéresse particulièrement aux caractéristiques géographiques (localisation, forme, conditions locales) de ces portions. Avec le qualificatif "arboré" je me concentre sur les espaces

composés d'arbre(s). Le terme "arbre" est compris ici dans un sens large et inclut les arbres au sens strict (plantes ligneuses de plus de 7 mètres de hauteur, souvent avec un tronc marqué), les arbustes (plantes ligneuses de moins de 7 mètres de hauteur et avec un tronc marqué) et les arbrisseaux (plantes ligneuses ramifiées dès la base, donc sans tronc marqué, comprises entre 1 mètre et généralement 7 mètres de hauteur) (Rameau *et al.* 1989). J'écarte donc des espaces arborés d'éventuels espaces composés de ligneux uniquement de types sous-arbrisseaux (plantes ligneuses ramifiées dès la base, donc sans tronc marqué, et inférieures à 1 mètre de hauteur) ou lianes.
Mes travaux se concentrent sur les espaces arborés dans les territoires agricoles. Ils ne se destinent donc pas à couvrir les arbres et leurs spécificités dans les territoires exclusivement urbains ou exclusivement forestiers.

L'expression "espaces arborés dans les territoires agricoles" rappelle d'autres dénominations communément utilisées avec lesquelles apparaissent certaines proximités mais dont il se différencie sur certains points. Les "arbres hors forêts" (Guillerme *et al.* 2009 ; De Foresta *et al.* 2013) se distinguent par l'inclusion des arbres hors zones agricoles, notamment urbains, qui ne sont pas considérés ici, et par l'exclusion des arbres forestiers qui sont considérés ici dès lors qu'ils se mêlent à des espaces agricoles. Les "arbres champêtres" correspondent aux arbres hors forêts en zone agricole. Les arbres forestiers (mises à part éventuellement les arbres des lisières) en sont donc aussi exclus. Les "arbres agroforestiers" sont les arbres associés à des activités agricoles. Ils correspondent aux arbres champêtres (mis à part les arbres des vergers spécialisés à vocation uniquement agricole) auxquels s'ajoutent les arbres des forêts ou bois incluant des activités agricoles. Le terme "arbres agroforestiers" couvre une bonne partie des arbres des "espaces arborés dans les territoires agricoles". Mais ces derniers comprennent, en plus des arbres agroforestiers, les arbres uniquement forestiers (forêts ou bois) présents dans les territoires agricoles, les arbres à vocation uniquement agricole (vergers spécialisés), les arbres d'alignement et d'ornement (alignements de bord de route, arbres de cours de ferme).

Les "espaces arborés" ont également un sens proche d'autres termes couramment utilisés. Les termes "formations arborées" ou "formations ligneuses" (Labant *et al.* 2003 ; Guillerme *et al.* 2009) traduisent souvent une focalisation sur la composition ou la

structure des ensembles d'arbres ou d'espèces ligneuses. Avec ces deux termes, le regard est moins porté sur des portions de territoires et sur leurs caractéristiques géographiques qu'avec "espaces arborés". Par ailleurs, les termes combinant d'une part "surfaces", "couverts" ou "couvertures" et d'autre part "arborés" ou "boisés" se focalisent souvent sur la délimitation ou l'étendue des ensembles d'arbres. Les aspects auxquels s'attachent ces termes ne sont pas aussi centraux ou aussi complets que les précisions géographiques véhiculées par les "espaces arborés" auxquelles je m'intéresse.

1.2.3. Premier défi de l'agroforesterie : prendre en compte tous les espaces arborés dans les territoires agricoles

Associer les arbres et les productions agricoles a pour objectif de profiter de complémentarités et de synergies entre les deux et d'améliorer le fonctionnement du système (parcelle, exploitation, territoire) agroforestier. En se plaçant au niveau du territoire, tous ces effets complémentaires et synergiques sont pris en considération, quelle que soit l'échelle à laquelle ils se produisent. Ces effets dépendent de l'agencement des arbres et donc de l'espace arboré qu'ils composent. Les effets d'une haie peuvent être très différents de ceux d'un arbre isolé ou de ceux d'un bois par exemple. En me plaçant à l'échelle du territoire et pour considérer tous les effets de complémentarité et de synergie dans les systèmes agroforestiers, je me suis intéressé à tous les espaces arborés présents dans les territoires agricoles.

Tous les espaces arborés sont aussi pris en compte dans le projet APIL pour développer l'agroforesterie jusqu'à l'échelle du territoire. En effet, dans ce projet les pratiques et systèmes agroforestiers concernent les haies, les forêts, les ripisylves, les arbres de bord de routes, les alignements intraparcellaires, pour lesquels des moyens parfois collectifs sont mis en œuvre pour leur gestion et leur valorisation. Le projet APIL démontre ainsi l'opérationnalité de l'acception large d'agroforesterie.

La prise en compte de tous les espaces arborés complique la réflexion et la pratique de l'agroforesterie. En effet, elle nécessite de composer avec de nombreux agencements possibles des arbres. Cela demande aux chercheurs, conseillers, gestionnaires de mobiliser de vastes connaissances et compétences pour chaque agencement afin de maîtriser la conception des projets agroforestiers, l'implantation des espaces arborés, la

mise en place des pratiques de gestion. Cela demande aussi de consigner et manipuler beaucoup d'informations pour parvenir à comparer les différents agencements (Paul *et al.* 2017) et à déterminer les fonctions que l'on peut attendre des arbres, notamment selon les espaces arborés qu'ils composent. En cela, réussir à prendre en compte tous les espaces arborés dans les territoires agricoles est un premier défi pour le développement de l'agroforesterie.

1.3. Les acteurs concernés par les espaces arborés

1.3.1. Les arbres à la jonction entre de nombreux acteurs dans les territoires agricoles

De nombreux acteurs peuvent être concernées par les espaces arborés, c'est-à-dire en avoir des attentes ou des perceptions. C'est particulièrement le cas dans les territoires ruraux européens, car ces derniers sont (Lebeau 2012) :

- fortement humanisés et accessibles (voie de communication, aménagements de vie, espaces gérés),
- globalement constitués de petites propriétés et de parcellaires très découpés, notamment en France où, suite à la Révolution, les grands domaines aristocratiques ont été partagés,
- diversifiés en matière d'activités, historiquement et souvent encore actuellement,
- intégrés dans un maillage territorial et administratif complexe.

De ces caractéristiques résultent la présence, la proximité et le côtoiement de divers acteurs au sein de ces territoires et de diverses utilisations ou perceptions de portions de ces territoires. Cela est particulièrement le cas lorsque ces portions sont des espaces arborés, car les attentes et les perceptions à leur égard peuvent être très différentes. Dès lors que l'on souhaite considérer ces espaces dans des projets partagés de territoire, il semble indispensable de gérer la diversité de ces attentes et perceptions.

Les acteurs des espaces arborés, c'est-à-dire les personnes prenant des décisions et agissant sur ces espaces, sont nombreux dans les territoires agricoles. En effet, bien qu'ils soient souvent un seul à intervenir par espace arboré, parfois deux lorsque les arbres sont à l'interface entre deux activités (une haie entre les parcelles de deux agriculteurs, une

lisière entre la parcelle d'un agriculteur et celle d'un forestier), les gestionnaires de l'ensemble des espaces arborés d'un territoire sont divers et différents d'un espace arboré à l'autre (exploitants agricoles, exploitants forestiers, services publics, entrepreneurs). D'autres personnes peuvent également prendre part aux décisions concernant l'usage et la gestion de ces espaces (propriétaire, pouvoirs publiques). En outre, ces gestionnaires et décideurs ne sont pas les seules personnes concernées par les espaces arborés. D'autres acteurs dans les territoires agricoles ont aussi des attentes et des perceptions concernant ces espaces (habitants, chasseurs, apiculteurs, touristes, naturalistes).

Dans mes travaux de thèse, je m'intéresse à tous ces acteurs des territoires agricoles concernés par les espaces arborés. Pour mentionner ces acteurs de façon concise, j'utilise le terme "acteurs concernés" ou me limite même parfois à "acteurs". Le terme "bénéficiaires" est souvent utilisé pour désigner ces acteurs. Mais je ne l'emploie pas, car, à mon sens, il exclut les acteurs qui ne perçoivent pas positivement les espaces arborés, c'est-à-dire les acteurs pour qui les arbres occasionnent des préjudices (obstacle à la mécanisation agricole ou assombrissement d'un lieu de vie par exemple).

1.3.2. Des acteurs différents engagés dans les structures d'encadrement et de conseil en agroforesterie

La diversité des acteurs concernés par les espaces arborés s'observent jusque parmi les structures d'encadrement et de conseil en agroforesterie. Les fondateurs et parfois encore les administrateurs actuels des associations locales de développement de l'agroforesterie sont différents d'une association à l'autre (Balny *et al.* 2015) :

- des forestiers, comme c'est le cas de la Mission Haies (Auvergne) dont l'objectif est de sensibiliser, préserver, replanter et valoriser les haies et le bocage (Mission Haies 2016),
- des structures agricoles et environnementalistes, comme c'est le cas pour la Mission bocage (Maine-et-Loire) qui contribue au développement durable du territoire grâce à la multifonctionnalité des arbres champêtres et des haies (Mission Bocage 2018),
- des agriculteurs et agroforestiers, comme c'est le cas pour Arbre et paysage du Gers ou Arbres et paysages d'Autan qui promeuvent l'arbre de pays pour la sauvegarde et la restauration du paysage (Arbre et paysage 32 2013 ; Arbres et paysages d'Autan 2018),

- des habitants et des élus, comme c'est le cas pour Prom'Haies (Poitou-Charentes) dont l'objectif est d'informer sur les intérêts et d'agir en faveur de la haie, de l'arbre hors forêt et de l'agroforesterie (Prom'Haies 2017).

Ces associations sont généralement soutenues par les collectivités locales (communes, communautés de communes, départements). De plus, en partenariat ou en complément de ces associations, diverses autres structures locales proposent aussi un appui technique pour développer des projets agroforestiers : les chambres d'agriculture, telles que celle de l'Ariège (Chambre d'agriculture de l'Ariège 2018), les départements, tels que celui de la Haute-Garonne (Conseil général 31 2014), les fédérations de chasseurs, telles que celle de la Haute-Garonne (Fédération des chasseurs de la Haute-Garonne 2018).

La variété des structures d'encadrement et de conseil en agroforesterie atteste de la diversité des acteurs concernés par les espaces arborés dans les territoires agricoles. Ces différents acteurs n'ont pas tous les mêmes attentes et perceptions des arbres et espaces arborés. Celles-ci peuvent transparaître dans les motivations et objectifs des structures d'encadrement et de conseil en agroforesterie ainsi que dans les objectifs des projets agroforestiers.

1.3.3. Deuxième défi de l'agroforesterie : prendre en compte tous les acteurs concernés par les espaces arborés des territoires agricoles

Divers acteurs des territoires agricoles sont ainsi concernés par les arbres et les espaces arborés. Toutefois, ils ne les perçoivent pas de la même manière ou n'en ont pas les mêmes attentes. De plus, des antagonismes apparaissent entre leurs attentes ou perceptions. Par conséquent et de prime abord, tous les acteurs ne s'accordent pas forcément sur les fonctions des espaces arborés et les moyens, concernant leur gestion par exemple, d'atteindre ces fonctions. Le projet APIL illustre cette diversité des acteurs concernés et des points de vue. Cette diversité ressort avec les différentes problématiques selon les situations, c'est-à-dire selon les trois zones (plaine, coteaux, piémont) et, au sein de ces zones, selon les acteurs concernés (agriculteurs, éleveurs, gestionnaires des rivières, collectivités) et selon les espaces arborés (haies, ripisylves, alignements intraparcellaires, accrus, bois).

Un deuxième défi consiste donc à impliquer tous les acteurs concernés dans les projets agroforestiers. De cette façon, leurs différentes perceptions et attentes des espaces arborés pourront être prises en compte dans les pratiques et les systèmes agroforestiers. Il sera alors possible de parvenir à des projets partagés par le plus grand nombre et qui s'inscrivent dans le développement durable des territoires.

1.4. Les multiples fonctions des espaces arborés

1.4.1. Les fonctions des espaces arborés et les services écosystémiques de l'agroforesterie

La diversité des acteurs concernés et leurs différentes perceptions et attentes s'expliquent par les multiples fonctions que supportent les espaces arborés dans les territoires agricoles. En effet, en formant différents écosystèmes ou parties d'écosystèmes, les arbres et les espaces arborés sont des lieux d'accomplissement de fonctions écologiques. De ces fonctions découlent de nombreux biens et services écosystémiques potentiels pour diverses attentes. Lorsque ces biens et services écosystémiques sont effectifs et identifiés comme tels par des acteurs, ils apportent des bénéfices à ces derniers (Figure 2).

L'agroforesterie, avec les différents espaces arborés qu'elle comprend, fournit de multiples biens et services écosystémiques (Jose 2009 ; Fagerholm *et al.* 2016 ; Göbel 2016 ; Torralba *et al.* 2016). Les travaux concernant les services écosystémiques en agroforesterie, notamment en Europe, étudient majoritairement ces services en les distinguant par type de systèmes de production agroforestiers. Soit ces systèmes incluent plusieurs espaces arborés à la fois (par exemple les bocages reliant des haies, bois et bosquets, ou les paysages arborés composés d'une mosaïque d'arbres isolés et de bois), soit ils ciblent un espace arboré particulier (par exemple la *dehesa*, les pré-vergers, les arbres têtards) (Fagerholm *et al.* 2016 ; Göbel 2016 ; Torralba *et al.* 2016). Dans le cadre de ma thèse, je considère différemment les biens et services de l'agroforesterie, car j'ai focalisé mes travaux sur les espaces arborés dans les territoires agricoles et non sur les systèmes agroforestiers existants. Toutefois, les deux approches sont liées car ces systèmes agroforestiers peuvent être reproduits en combinant ces espaces et en

définissant leur composition.

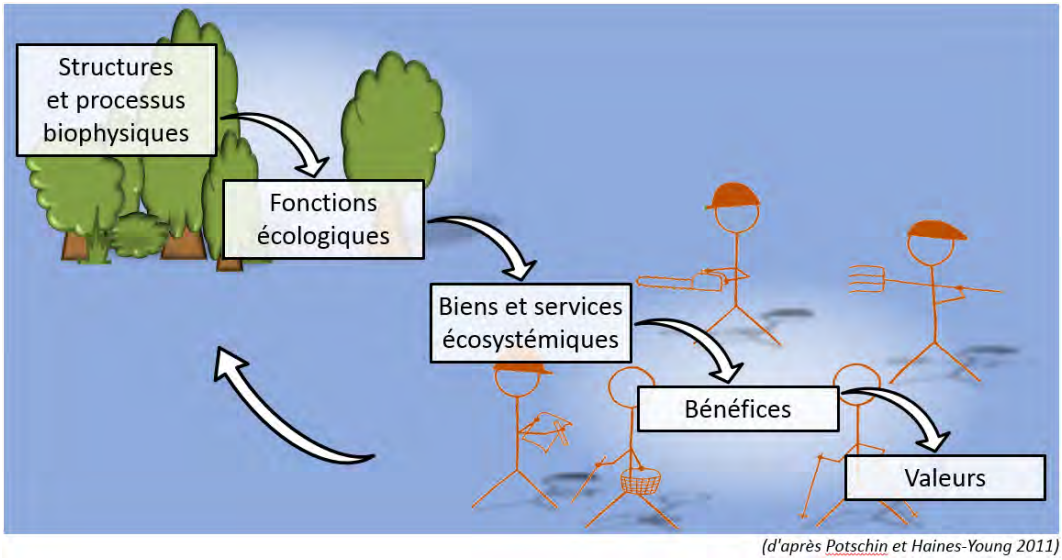


Figure 2 : La "cascade" des services écosystémiques

Les écosystèmes ou parties d'écosystème, tels que les espaces arborés, se caractérisent par des structures et processus biophysiques (photosynthèse par exemple) qui établissent des fonctions écologiques (production de biomasse par exemple). Ces fonctions peuvent fournir des biens et services écosystémiques (production de bois de chauffage par exemple) pour les acteurs concernés qui en perçoivent des bénéfices (source d'énergie par exemple) auxquels ils attribuent des valeurs (économiques par exemple) (De Groot et al. *2010 ; Potschin et Haines-Young 2011). La cascade se boucle par les interventions des acteurs modifiant les écosystèmes et ce qu'ils en perçoivent (Potschin et Haines-Young 2011).*

Le terme "fonctions" appliqué aux espaces arborés dépassent parfois les seules fonctions écologiques de ces espaces et couvrent aussi les biens et services écosystémiques. C'est particulièrement le cas dans le domaine du développement de l'agroforesterie (CDAF 2014a ; Prom'Haies 2018). Pour mes travaux de thèse, j'utilise aussi le terme "fonctions" dans ce sens large.

Les fonctions des espaces arborés sont multiples, c'est-à-dire nombreuses et diverses. Elles influencent différentes activités et concernent différents acteurs dans les territoires agricoles (Figure 3, page suivante). Cependant, toutes les fonctions ne sont pas supportées par chaque espace arboré et certaines peuvent être incompatibles entre elles. C'est ce qui explique les perceptions et attentes différentes voire antagonistes entre les acteurs concernés et selon les espaces arborés.

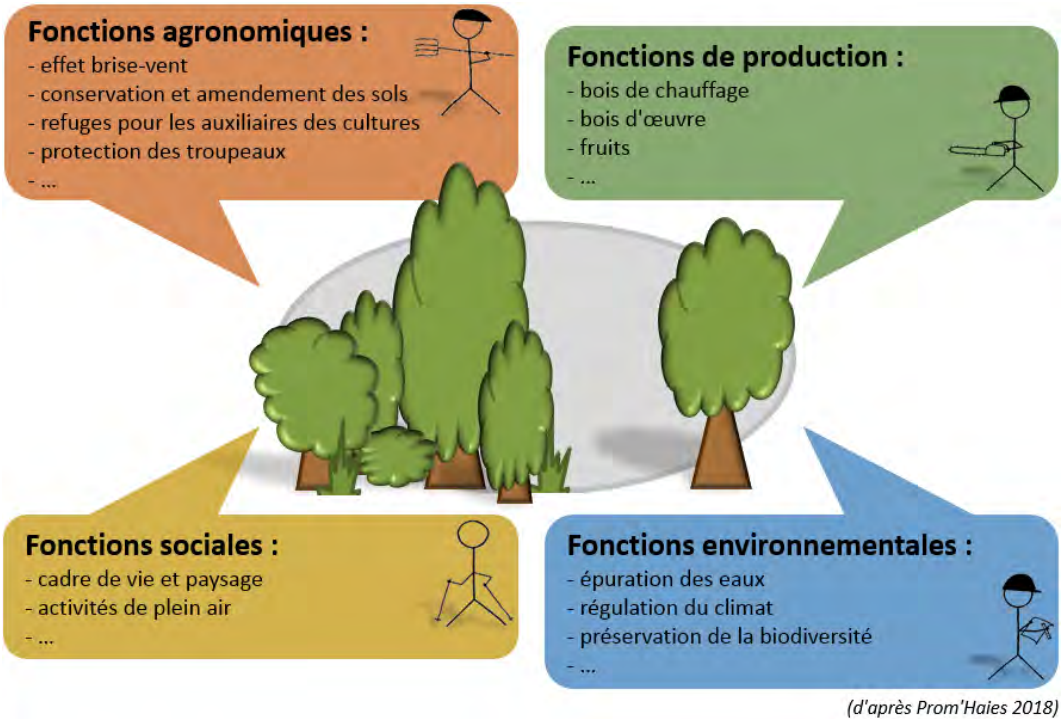


Figure 3 : Les fonctions des espaces arborés sont multiples et concernent différents acteurs et activités des territoires agricoles

En plus des biens et services écosystémiques et des bénéfices qui en découlent, l'agroforesterie comporte aussi des aspects perçus négativement par les acteurs concernés (Garcia de Jalon *et al.* 2017). Ces aspects négatifs sont en partie liés à des disservices que fournissent les espaces arborés et aux préjudices qu'ils provoquent. Ces disservices et préjudices ne sont majoritairement pas pris en compte dans le champ des services écosystémiques (Von Döhren et Haase 2015 ; Shackleton *et al.* 2016) qui se concentre surtout sur la protection des écosystèmes et leurs bienfaits, ainsi que dans le développement de l'agroforesterie qui s'attache surtout à promouvoir les espaces arborés et leurs avantages. À la différence de cette tendance majoritaire, j'intègre aussi explicitement les disservices dans les fonctions des espaces arborés.

1.4.2. L'agroforesterie : pratiquer l'agroécologie grâce aux arbres

L'agroécologie consiste à mobiliser l'écologie pour étudier les systèmes de productions agricoles et pour développer des agroécosystèmes et des systèmes alimentaires durables (Altieri 1989 ; Francis *et al.* 2003). Elle vise à apporter des réponses aux attentes parfois nouvelles de la société concernant les modes de productions agricoles et la qualité des

produits, la préservation de la qualité de l'environnement et des paysages ruraux, le maintien du dynamisme socio-économique des territoires ruraux. L'agroécologie nécessite de croiser plusieurs regards ou disciplines (agronomie, écologie, sociologie, économie, géographie) et de prendre en compte plusieurs échelles (organisme, habitat, parcelle, population, exploitation, communauté, écosystème, système alimentaire, territoire) (Altieri 1989 ; Dalgaard *et al.* 2003 ; Wezel *et al.* 2009). Elle appelle ainsi à recourir à l'approche systémique pour l'étudier et la mettre en œuvre. Dans la pratique, elle consiste en des modes de production agricole qui reposent sur la mise à profit ainsi que la conservation des fonctions des écosystèmes et des ressources naturelles (Wezel *et al.* 2009).

En cherchant à tirer profit des multiples fonctions des arbres et des espaces arborés, l'agroforesterie a toute sa place en agroécologie (Duru *et al.* 2014 ; JORF 2015 ; MAAF 2015a ; Vigan *et al.* 2016 ; Vigan *et al.* 2017). Les espaces arborés concourent à la diversification des productions, des espèces (domestiques et sauvages) et des agroécosystèmes, et fournissent un grand nombre de services agroenvironnementaux (Duru *et al.* 2014 ; Wezel *et al.* 2014 ; Debarge 2015 ; Dubois 2016). Ils peuvent être intégrés dans les agroécosystèmes pour diverses finalités et sont ainsi à l'origine de nombreuses pratiques agroécologiques.

La transition vers des pratiques agroécologiques s'accomplit classiquement en trois étapes (Wezel *et al.* 2014). Les pratiques de production agricoles en place sont d'abord maintenues mais l'amélioration de leur performance est recherchée en y intégrant la prise en compte de fonctions des écosystèmes (par exemple, une haie peut être maintenue et gérée pour réduire les dérives de pulvérisation ou le ruissellement de produits phytosanitaires). De nouvelles pratiques sont ensuite définies sur la base des fonctions des écosystèmes qui se substituent pleinement aux pratiques antérieures (par exemple redéfinir les méthodes de luttes contre les bioagresseurs en implantant des arbres pour favoriser les populations d'auxiliaires des cultures). Enfin, les agrosystèmes dans leur ensemble sont recomposés et toutes les pratiques sont repensées comme à l'étape précédente pour constituer des agroécosystèmes (par exemple l'élaboration de systèmes agroforestiers avec des pratiques nouvelles basées sur les multiples fonctions des espaces arborés et avec des ateliers créés pour valoriser des produits des arbres). Les exemples

proposés démontrent l'implication possible des espaces arborés dans toutes les étapes de la transition agroécologique. Cette transition peut s'amorcer directement à la troisième étape, comme avec la mise en place de systèmes agroforestiers (Wezel *et al.* 2014).

Tout comme l'agroécologie, la mise en œuvre de l'agroforesterie requière une réflexion systémique des pratiques et un niveau de technicité et d'organisation élevé (Duru *et al.* 2014). En effet, il s'agit, d'une part, de favoriser les complémentarités et synergies entre les arbres et les activités agricoles (ombrage des animaux par les arbres, effet brise-vent des arbres pour les cultures, fumure des arbres par les animaux) pour améliorer les productions (agricoles et des arbres). Mais cela demande, d'autre part, de maîtriser certaines contraintes et de limiter certains préjudices (compétition entre les cultures et les arbres pour la lumière ou l'eau, contraintes sur la mécanisation à cause des arbres, dégâts du bétail sur les arbres) qui sinon réduiraient les bénéfices recherchés (Vigan *et al.* 2017). Par imitation de processus et structures biophysiques naturels et en se rapprochant des écosystèmes forestiers, l'agroforesterie constitue des systèmes durables et résilients (Malézieux 2012 ; Wilson et Lovell 2016). Elle représente ainsi une des voies les plus prometteuses de l'agroécologie (Smith *et al.* 2012).

1.4.3. Troisième défi de l'agroforesterie : prendre en compte l'ensemble des fonctions des espaces arborés

Dans le développement de l'agroforesterie, il est conseillé de considérer les multiples fonctions des espaces arborés pour répondre à différents enjeux, et d'éviter, pour chacun de ces espaces, de se focaliser sur une seule de ces fonctions (Mission Bocage 2018 ; Prom'Haies 2018). Le courant de l'agroécologie, dans lequel s'inscrit l'agroforesterie, incite aussi à prendre en compte la diversité des services que les écosystèmes, tels que les espaces arborés, peuvent fournir. Il s'agit donc de tenir compte du bouquet de services que les espaces arborés peuvent rendre. La notion de bouquet de services écosystémiques a été développée pour considérer et représenter les multiples services rendus par les différents écosystèmes ou espaces d'un territoire (Raudsepp-Hearne *et al.* 2010 ; Lavorel *et al.* 2016). Elle s'attache aussi à tenir et à rendre compte des inévitables compromis entre services. En effet, s'il existe des synergies, les services présentent aussi

des antagonismes entre eux. Tous les services ne peuvent pas être rendus par un même écosystème. Ainsi, tous les écosystèmes ou espaces d'un territoire, selon leurs caractéristiques, rendent des services différents les uns des autres et contribuent inégalement au bouquet de services écosystémiques. Comme à tout écosystème ou partie d'écosystème, la notion de compromis entre services s'applique aux espaces arborés.

En plus des biens et services écosystémiques, les fonctions des espaces arborés peuvent également engendrer des disservices écosystémiques (partie 1.4.1, p. 36). Or, en agroforesterie, les pratiques sont définies en cherchant l'équilibre entre services et disservices (Ango *et al.* 2014). Par exemple, les pratiques proposées dans le cadre du projet APIL visent aussi bien à tirer profit des services des espaces arborés (production de bois, habitat et corridor écologique, limitation de l'érosion) qu'à limiter les disservices (accrus, embâcles, compétition avec les cultures). La conception et la gestion des systèmes agroforestiers méritent donc de considérer autant les services que les disservices.

Parvenir à considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés constitue un troisième défi. Le relever devrait aider à développer un maximum de bénéfices provenant de ces espaces, d'une part, en gérant les synergies et antagonismes entre services et, d'autre part, en limitant les disservices et les préjudices qui en découlent. Ainsi, il sera possible de répondre au mieux à toutes les attentes sur les espaces arborés, qu'elles soient portées par un ou plusieurs acteurs.

1.5. Le modèle Terafor pour relever les trois défis de l'agroforesterie : vers un outil d'aide à la discussion sur les fonctions des espaces arborés

1.5.1. Concevoir des outils pour réunir les connaissances et dépasser le manque de recul sur l'agroforesterie

L'acception large d'agroforesterie qui est présentée précédemment (partie 1.2.3, p. 32) et que je retiens pour mes travaux de thèse couvrent des systèmes agroforestiers très divers. Les contextes et les mises en pratique de ces systèmes sont tout autant diverses comme l'illustre la description du projet APIL faite précédemment (partie 1.1.2, p. 27). Pour gérer cette diversité de situations et apporter des préconisations techniques

adaptées lors du projet APIL, plusieurs outils ont dû être élaborés : un outil de diagnostic agroforestier et agroécologique des exploitations agricoles, un outil de détermination des pratiques agroforestières à conseiller ou à éviter sur la base des résultats du diagnostic, des fiches thématiques de conseil technique aux agriculteurs sur les pratiques agroforestières à appliquer, un outil de suivi des pratiques agroforestières appliquées. L'élaboration de différents outils est nécessaire pour mobiliser toutes les connaissances sur l'agroforesterie afin de conduire la diversité des projets agroforestiers et répondre à la variété des questions que posent la conception et la gestion des systèmes agroforestiers (Ellis *et al.* 2004). Ainsi, de nombreux outils existent, tant pour la recherche que pour le développement en agroforesterie (Ellis *et al.* 2004 ; Agroof 2018 ; FAO 2018).

Mais ces outils ne couvrent pas toute l'ampleur du sujet. La recherche et le développement concernant les systèmes agroforestiers modernes ont débuté récemment et disposent de peu de recul (partie 1.1.1, p. 25). Certains champs de l'agroforesterie n'ont été que peu étudiés et, même dans les champs largement étudiés, des manques de connaissances existent encore (Nair 2007). Tous les types d'espaces arborés n'ont notamment pas été autant pris en compte et explorés dans le cadre de systèmes agroforestiers : la haie et les alignements intraparcellaires ont par exemple été beaucoup plus étudiés que les arbres isolés ou les bois. De plus, certaines fonctions des espaces arborés ont concentrées les expérimentations et les mesures, telles que la réduction de la vitesse du vent, la production ligneuse, la préservation de la biodiversité, alors que d'autres sont plus rarement évaluées. Les connaissances sur l'agroforesterie sont ainsi lacunaires et leurs niveaux de précision ou d'incertitude très hétérogènes. Mais, l'agroforesterie est actuellement en vogue, notamment en France suite à un soutien affiché par les pouvoirs publics (partie 1.1.1, p. 25). Les recherches et les applications se déploient et produisent des connaissances nouvelles et des retours d'expérience. L'actuel foisonnement de projets et de questions concernant les systèmes agroforestiers appelle à la création de nouveaux outils. En effet, ces systèmes requièrent la production de nouvelles connaissances, la mobilisation de nouveaux concepts et donc la création de nouveaux modèles et outils spécifiques (Malézieux *et al.* 2009).

Afin que les nouveaux outils promeuvent effectivement l'agroforesterie, plusieurs propriétés sont préconisées. Ces outils devraient être avant tout destinés à aider à la

décision quant à l'adoption, la planification et la mise en œuvre de l'agroforesterie (Ellis *et al.* 2004 ; EIP-AGRI Focus Group Agroforestry 2017). Pour cela, ils devraient être capables, d'une part, de prendre en charge des informations nombreuses et diverses de par leurs origines (scientifique, expérimentale, empirique), leurs formats (qualitatif, quantitatif), les niveaux de connaissances et d'incertitudes qui y sont associés, et, d'autre part, d'en intégrer facilement de nouvelles pour à la fois se mettre à jour des nouvelles connaissances et s'adapter à différentes situations. Pour gérer toutes ces informations, il est conseillé d'envisager des outils informatiques disposés à être couplés à d'autres de manière flexible (Ellis *et al.* 2004). De plus, les systèmes agroforestiers s'inscrivant indéniablement sur le long terme, les outils de modélisation seraient bien indiqués pour simuler, tester et évaluer ces systèmes *a priori* afin de produire des connaissances et aider à la décision en agroforesterie.

1.5.2. L'objectif et la finalité de la thèse : évaluer pour discuter de l'ensemble des fonctions des espaces arborés et construire des projets partagés de territoires agroforestiers

Mes travaux de thèse se sont attachés à relever les trois défis de l'agroforesterie décrits précédemment : prendre en compte l'ensemble des fonctions (partie 1.4.3, p. 40) de tous les espaces arborés (partie 1.2.3, p. 32) et pour les différents acteurs concernés (partie 1.3.3, p. 35) dans les territoires agricoles. À ma connaissance, aucun outil n'a encore été construit pour relever conjointement ces trois défis. Pour parvenir à un tel outil, j'ai visé la finalité et défini l'objectif que je présente dans cette partie.

De nombreux acteurs des territoires agricoles sont concernés par les espaces arborés. Or, tous ces acteurs n'en n'ont pas les mêmes attentes ou perceptions (partie 1.3, p. 33). Pour envisager des projets agroforestiers à l'échelle du territoire, il apparait pertinent de considérer tous les acteurs concernés pour qu'ils s'accordent sur les fonctions attendues des espaces arborés puis sur les pratiques à mettre en œuvre afin que ces fonctions soient effectives et répondent à leurs attentes. Pour cela, je propose de concevoir un outil d'aide à la discussion sur les fonctions des espaces arborés pour la construction de projets partagés de territoires agroforestiers. Cet outil d'aide à la discussion et sa destination constitue la finalité de mes travaux de thèse (Figure 4, page suivante).

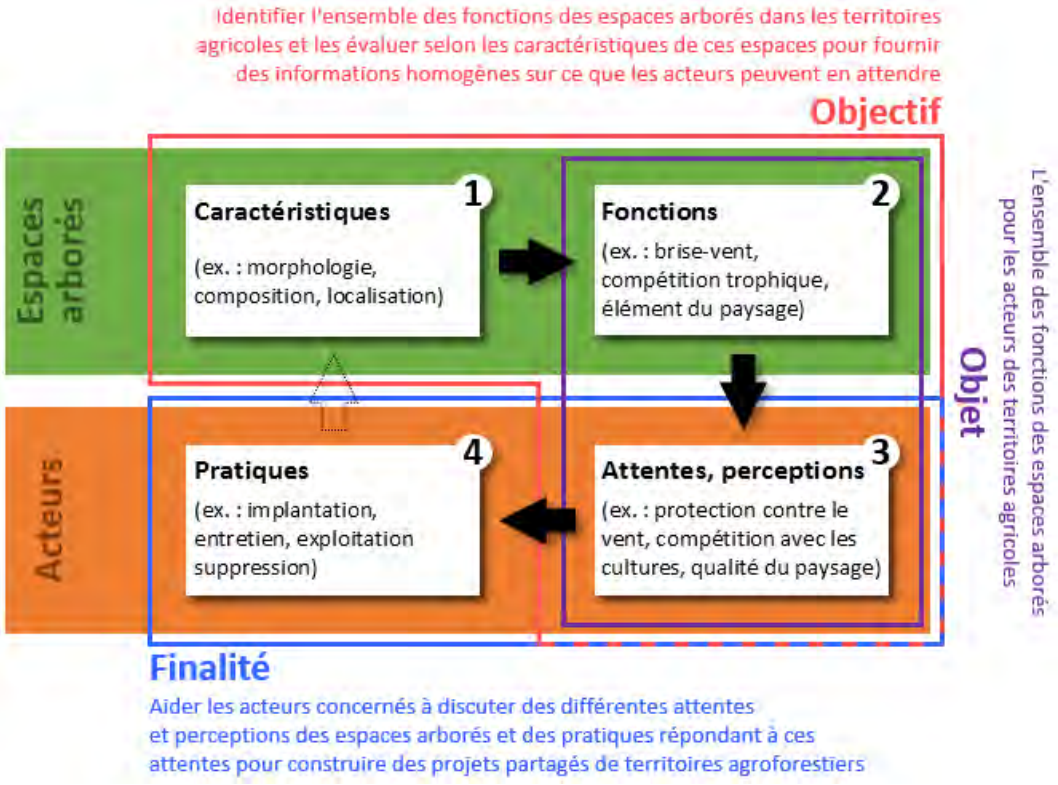


Figure 4 : Représentation de l'objet d'étude, de l'objectif et de la finalité de mes travaux de thèse

Les caractéristiques (1) des espaces arborés conditionnent les fonctions (2) de ces espaces. Les attentes et perceptions (3) des acteurs concernés tirent leur origine de ces fonctions. Des pratiques (4) pouvant modifier les caractéristiques des espaces arborés sont mises en œuvre pour tirer profit des fonctions.

L'ensemble des fonctions des espaces arborés, sur lequel porte cette finalité, forme l'objet d'étude de ma thèse. Pour alimenter les discussions sur l'ensemble de ces fonctions, les acteurs concernés doivent pouvoir mobiliser des informations sur tous les espaces arborés et toutes leurs fonctions. Comme ces fonctions varient d'un espace arboré à l'autre selon les caractéristiques (localisation, forme, composition, conditions locales) de ces espaces, je prévoie de préciser ces informations pour chaque espace arboré considéré. Pour cela, j'ai défini deux tâches qui constituent l'objectif de mes travaux de thèse : d'une part, identifier l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles et les caractéristiques de ces espaces qui conditionnent ces fonctions, et, d'autre part, évaluer l'ensemble des fonctions à partir des caractéristiques de chaque espace arboré étudié pour fournir des informations de façon homogène sur toutes ces fonctions et sur ce que peuvent en attendre les acteurs concernés (Figure 4). Le résultat de l'identification et le dispositif d'évaluation sont destinés à former la base de l'outil proposé pour parvenir à la finalité de mes travaux.

Le positionnement de recherche que j'ai adopté a guidé la définition de la finalité et de l'objectif de mes travaux de thèse. En effet, j'ai traité l'agroforesterie en recourant aux notions de développement territorial, de démarches participatives et d'approche systémique. Ces trois notions constitutives du positionnement de recherche et leur articulation sont présentées ci-après (partie 2.1, p. 47).

Le modèle Terafor a été construit pour répondre à l'objectif et contribuer à la finalité de mes travaux de thèse. Pour ce faire, j'ai cherché à appliquer les préconisations présentées précédemment (partie 1.5.1, p. 41) quant aux propriétés des outils à concevoir pour le développement de l'agroforesterie (aide à la décision, prise en charge d'informations nombreuses et diverses, adaptation selon les situations et les nouvelles connaissances, flexibilité de couplage avec d'autres outils, modélisation *a priori*). Cela apparait dans les choix méthodologiques que j'ai effectués et que je présente ultérieurement, notamment avec l'application de l'analyse multicritère (partie 2.2, p. 52) et la sélection du logiciel DEXi (partie 2.3, p. 62) comme support du modèle Terafor.

- 2 -
Le positionnement de recherche adopté et la méthodologie générale de la thèse



2.1. L'articulation des trois notions structurantes du positionnement de recherche : développement territorial, démarches participatives et approche systémique

Le positionnement de recherche que j'ai adopté pour mener mes travaux de thèse repose sur trois notions structurantes. Nous allons voir dans cette partie comment développement territorial et démarches participatives sont associés et comment la troisième notion, l'approche systémique, émane de la complexité de l'objet d'étude et de l'association des deux premières notions.

Le développement territorial repose sur les principes du développement durable (Gumuchian *et al.* 2000). Il est ainsi l'application aux projets de territoire de la recherche d'une réponse aux besoins des populations actuels et futurs, attachée aux conditions écologiques et sociales locales, et résultant d'une approche intégrée que les acteurs locaux s'approprient. Il correspond à un processus d'aménagement et de gestion d'espaces géographiques qui se distingue des autres types de développement, notamment des développements local et régional, sur tout ou partie des quatre points suivants (Torre 2015) :

- l'application à un territoire, c'est-à-dire un espace essentiellement social et construit par les acteurs de cet espace, plus qu'un espace ayant une réalité biophysique ou institutionnelle,
- l'implication de nombreuses parties prenantes du territoire, lesquelles s'ajoutent aux acteurs politiques et économiques habituels du développement (états, firmes, filières) voire les remplacent,
- le positionnement au centre des préoccupations de la question de l'usage du sol ou de l'occupation de l'espace,
- l'apparition de nouvelles pratiques ou d'une nouvelle organisation sociales voire institutionnelles sur le territoire et la volonté des acteurs locaux à conduire le développement qu'ils souhaitent.

Ces quatre points, et tout particulièrement les trois derniers, s'observent pour le développement de l'agroforesterie considérée dans son acception la plus large (partie 1.1.1, p. 25). Prendre le développement territorial pour cadre général de l'étude des espaces arborés et de leurs fonctions dans les territoires agricoles semble donc pertinent.

La diversité à la fois des espaces arborés, des acteurs concernés, de ce que ces acteurs peuvent en attendre et des modes de gestion de ces espaces conduit inévitablement à des antagonismes (partie 1.3, p. 33 et partie 1.4, p. 36). Se pose alors la question de comment réussir à dépasser ces antagonismes et donc à construire des projets partagés de territoire, c'est-à-dire des projets de développement territorial recueillant l'approbation de tous les acteurs concernés. La participation est, parmi les réponses possibles, celle que j'ai choisie. Je comprends la participation comme la mobilisation des citoyens sur un projet à l'initiative d'un décideur, l'une des trois formes de participation que Bresson (2014) identifie. Les démarches mettant en œuvre la participation sont un moyen pour prendre en charge les antagonismes et définir des projets basés sur des consensus, sur des compromis ou au moins sur la compréhension par tous les acteurs concernés des tenants et aboutissants des actions composant les projets. En effet, les démarches participatives favorisent, au minimum, l'expression par les acteurs de leurs attentes. En augmentant le degré de participation (partenariat, délégation de pouvoir, auto-mobilisation), tous les acteurs peuvent disposer d'un réel pouvoir de décision (Arnstein 1969 ; Pretty 1995). Ils sont alors impliqués dans le choix et dans la définition

des actions à entreprendre voire jusque dans leur mise en œuvre et dans leur conduite. Ainsi, les démarches participatives, avec les outils mis en œuvre durant celles-ci et servant à identifier, croiser et intégrer les différentes attentes des acteurs (Vigan *et al.*, article soumis) (Annexe **1**), favorisent la construction de projets partagés de territoire.

Les deux premières notions structurantes du positionnement de recherche que nous venons de voir, le développement territorial avec la réalisation de projets partagés de territoire et les démarches participatives recourant à des outils participatifs, représentent la finalité appliquée aux espaces arborés et à l'ensemble de leurs fonctions dans les territoires agricoles. Elles constituent aussi le cadre opérationnel du modèle Terafor, c'est-à-dire les perspectives ou ce à quoi il est prévu qu'il contribue. Ainsi, elles ont largement dirigé le travail de modélisation (Figure 5, partie haute en bleu).

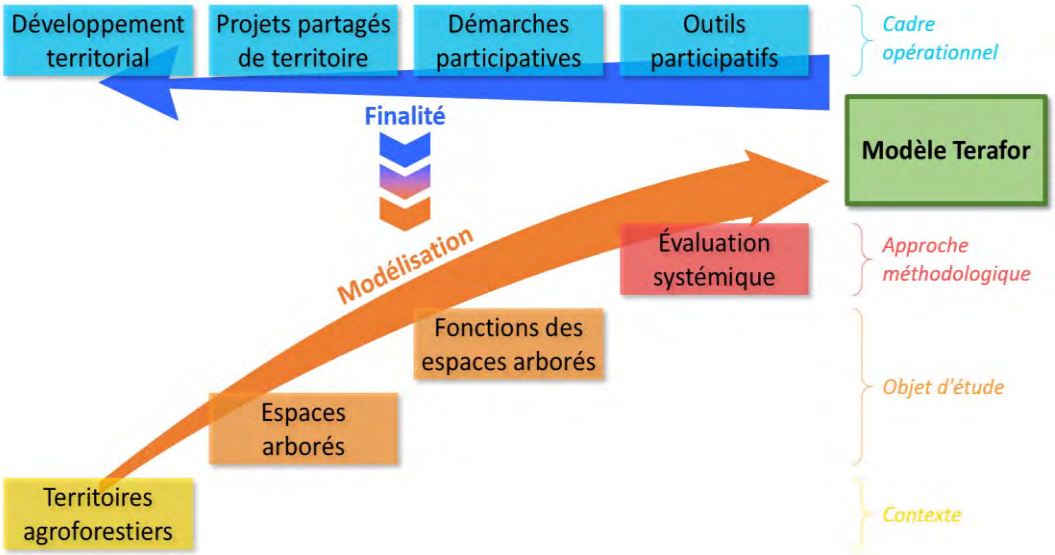


Figure 5 : Le cadre général de la conception du modèle Terafor

La finalité de ma thèse est à la fois le cadre opérationnel qui a empreint et infléchi le travail de modélisation et les perspectives, et ce à quoi contribuera le modèle Terafor, résultat de cette modélisation. La flèche orange (modélisation) indique le sens du processus de construction du modèle d'évaluation multicritère du système complexe que constituent les fonctions des espaces arborés. La flèche bleue (finalité) indique la progression envisagée de la contribution du modèle dans les différentes composantes emboitées de la finalité. L'épaisseur des deux flèches indique le degré de prégnance des composantes de la modélisation et de la finalité dans la construction du modèle Terafor.

La troisième notion structurante du positionnement de recherche est l'approche systémique. La première raison pour laquelle j'ai opté pour cette approche est le choix de

traiter l'objet d'étude dans toute sa complexité : l'ensemble des fonctions de tous les espaces arborés dans les territoires agricoles (Figure 5, page précédente, partie basse en orangé). D'une part, ce choix tient naturellement à l'objet d'étude lui-même, complexe de par les multiples éléments qui le composent (nombreuses et diverses fonctions, caractéristiques conditionnant ces fonctions et interactions). D'autre part, en associant développement territorial et démarches participatives, la finalité incite à traiter cet objet dans toute sa complexité, ce qui a infléchi le travail de modélisation dans ce sens (Figure 5, page précédente). En effet, dans la perspective de projets partagés de territoires agroforestiers, la prise en compte de tous les acteurs concernés est essentielle (partie 1.3.3, p. 35). Cela passe, dans notre cas, par la considération de toutes les fonctions des espaces arborés, afin de prendre en compte toutes les attentes des acteurs concernés, et par la production d'informations sur ces fonctions, afin de connaitre leur capacité à répondre aux attentes selon les caractéristiques des espaces arborés.

La deuxième raison est que les territoires, notamment agricoles dans notre cas, sont eux aussi des systèmes complexes. Les considérer comme tels aide à la compréhension de leur fonctionnement et à leur aménagement (Moine 2006). Ainsi, dans la perspective du développement territorial, l'approche systémique est tout indiquée pour comprendre le fonctionnement des territoires agroforestiers et construire des projets de ces territoires. L'approche systémique propose de découper tout système étudié en sous-systèmes impliqués dans son fonctionnement afin de comprendre et d'agir sur ce système (Donnadieu *et al.* 2003). Mes travaux de thèse portent sur les espaces arborés, des composantes ou sous-systèmes omniprésents dans les territoires agricoles (partie 1.2.1, p. 29). En recourant à l'approche systémique, ces travaux contribueront ainsi à la compréhension des territoires agricoles et faciliteront l'adoption de cette même approche systémique pour le développement de l'agroforesterie dans ces territoires.

Dans le cadre des systèmes sociaux et du management, la complexité d'un système dépend du niveau de connaissance sur sa composition et son fonctionnement et du niveau d'accord des acteurs du système sur sa finalité et les moyens de parvenir à cette finalité (Parsons 2007 ; Stacey 2011). Un système devient complexe lorsque, d'une part, le manque de connaissances ou les incertitudes et, d'autre part, les désaccords ou les antagonismes sont importants. Dans le cas des systèmes agroforestiers, les espaces

arborés et l'ensemble de leurs fonctions se caractérisent par des niveaux élevés d'incertitudes et d'antagonismes. C'est pour réussir à dépasser ces deux caractéristiques et la complexité qu'elles engendrent que je combine approche systémique et démarches participatives (Figure 6).

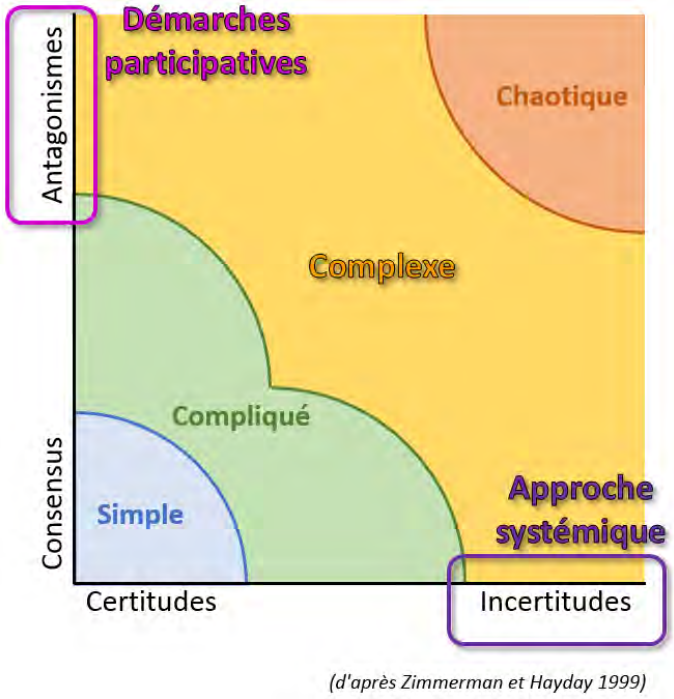


Figure 6 : Approche systémique et démarche participative pour traiter deux causes de la complexité du sujet de la thèse

La complexité d'un système peut être considérée au regard i) des connaissances que l'on a sur les composantes et le fonctionnement d'un système (certitudes / incertitudes, en absisses), et ii) du niveau d'accord entre les acteurs sur ce qui est attendu du système et sur les actions à entreprendre (consensus / antagonismes, en ordonnées) (Zimmerman et Hayday 1999 ; Parsons 2007 ; Stacey 2011). Cette représentation de la complexité convient bien à l'ensemble des fonctions des espaces arborés pour lesquelles les niveaux d'incertitudes et d'antagonismes peuvent être élevés. L'association de l'approche systémique et des démarches participatives vise à prendre en charge les incertitudes et les antagonismes relatifs à ces fonctions dans les projets de territoire intégrant les espaces arborés.

Dans mon projet de thèse initial, je prévoyais de consacrer un temps important à la mise en œuvre d'une démarche participative pour étudier la faisabilité de considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans des projets de territoire. Mais, il est apparu que réussir à considérer toute la complexité de l'objet d'étude était un préalable à la finalité de mes travaux. Ce préalable fondamental représentait à lui seul un travail conséquent. J'ai donc décidé d'en faire le sujet central de ma thèse et de considérer la

finalité comme les perspectives auxquelles les résultats de mes travaux devront contribuer. Ainsi, deux notions structurantes du positionnement de recherche, le développement territorial et les démarches participatives, sont devenues la visée finalisée de mes travaux et constituent le cadre opérationnel du modèle Terafor. La troisième notion structurante, l'approche systémique, constitue quant à elle l'approche méthodologique que j'ai adoptée pour construire ce modèle. Toutefois, ces trois notions ont toutes guidé le choix de la méthode que j'ai utilisée pour construire le modèle Terafor et répondre à l'objectif de ma thèse.

2.2. Le choix de la méthode découlant du positionnement de recherche : une analyse multicritère qualitative propice à la participation avec DEXi

L'analyse multicritère apparait parfaitement indiquée dès lors que, dans la perspective d'une prise de décision, on veut considérer ensemble des points de vue différents, qui plus est souvent non commensurables et apportés par plusieurs personnes (Schärlig 1985). Les différentes fonctions des espaces arborés concernent divers acteurs et sont autant de points de vue possibles qui ne sont effectivement pas commensurables : il n'existe pas une commune mesure qui permettrait de les relier mathématiquement. L'analyse multicritère semble donc pertinente pour traiter le sujet de ma thèse. Cependant une multitude de méthodes d'analyse multicritère existe et toutes ces méthodes n'ont pas les mêmes propriétés et facultés. Je propose donc un panorama de l'analyse multicritère avant de spécifier les méthodes les plus appropriées à l'évaluation de l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans la perspective d'un outil participatif.

2.2.1. Un panorama de l'analyse multicritère

L'analyse multicritère est une approche des sciences de la décision qui a émergé à la fin des années 1960 (Roy et Vincke 1981 ; Hajkowicz et Collins 2007). Elle a pour but d'aider aux décisions complexes, c'est-à-dire aux décisions qui nécessitent de considérer différents points de vue souvent contradictoires (Pardalos *et al.* 1995). Elle s'attache fondamentalement à représenter les préférences dans un ensemble d'options pour aider à choisir, trier, classer ou décrire (Figueira *et al.* 2005). Il s'agit en fait de trouver le meilleur

compromis entre tous les critères ou points de vue sur ces options, plutôt que l'optimum sur un ou quelques critères (Ben Mena 2000).
L'analyse multicritère est appliquée à de très nombreux domaines. Elle est notamment employée, depuis le début de son développement, pour la gestion des ressources et espaces naturels, forestiers et agricoles (Romero et Rehman 1987 ; Rehman et Romero 1993 ; Hayashi 2000 ; Kiker *et al.* 2005 ; Mendoza et Martins 2006 ; Diaz-Balteiro et Romero 2008 ; Ananda et Herath 2009). Elle est couramment nommée aide multicritère à la décision (*multicriteria decision aid* (MCDA) au sein du courant européen et *multicriteria decision making* (MCDM) au sein du courant américain de l'analyse multicritère) (Pardalos *et al.* 1995 ; Ben Mena 2000).

L'aide multicritère à la décision peut se distinguer en deux catégories de méthodes : celles pour l'aide à la décision multi-objectif d'une part et celles pour l'aide à la décision multi-attribut d'autre part (Hwang et Yoon 1981).
Les méthodes d'aide à la décision multi-objectif consistent en de la programmation mathématique multi-objectif. Le principe général de cette programmation est d'optimiser un ensemble de critères contradictoires, représentant différents objectifs quantifiables et commensurables, en soumettant les calculs à des contraintes traduites mathématiquement, représentant par exemple des seuils à respecter sur les critères (Figueira *et al.* 2005 ; Sadok *et al.* 2008). Les méthodes d'aide à la décision multi-objectif sont des méthodes quantitatives dites continues car elles considèrent une infinité d'options (Munda *et al.* 1994 ; Hajkowicz et Collins 2007 ; Sadok *et al.* 2008). Elles servent à la conception ou à la planification (Hwang et Yoon 1981 ; Tzeng et Huang 2011) en précisant les meilleurs paramétrages des systèmes analysés.

Les méthodes d'aide à la décision multi-attribut servent à l'évaluation de différentes options en considérant plusieurs de leurs attributs (ou propriétés). Ces méthodes sont dites discrètes car elles considèrent un nombre limité d'options qui peuvent alors être comparées, classées ou ordonnées pour faire ressortir la ou les meilleures d'entre elles (Hwang et Yoon 1981 ; Sadok *et al.* 2008). Au sein de l'aide à la décision multi-attribut, trois types de méthodes se distinguent (Figueira *et al.* 2005 ; Sadok *et al.* 2008).
Le premier type regroupe les méthodes d'agrégation complète conduisant à la détermination d'une utilité ou valeur multi-attribut. Les différentes options sont alors

comparées sur la base de leur utilité ou valeur multi-attribut résultant de l'analyse et correspondant à un critère unique de synthèse (agrégation complète) (Ben Mena 2000). Ces méthodes opèrent donc en effectuant d'abord une agrégation des informations sur les critères puis une comparaison des résultats agrégés (Grabisch 2005). Ces méthodes sont quantitatives et mobilisent des critères nécessairement commensurables pour être agrégés (Schärlig 1985 ; Ben Mena 2000).

Le deuxième type regroupe les méthodes de surclassement. Les options sont comparées deux à deux pour préciser, sur chaque critère, s'il y a préférence (stricte ou faible), indifférence ou incomparabilité entre l'une et l'autre (Ben Mena 2000). Ces méthodes opèrent donc en effectuant d'abord une comparaison des informations sur chaque critère puis une agrégation des résultats de cette comparaison (Grabisch 2005). La comparaison des options aboutit au calcul, pour chaque paire d'options, d'indices quantitatifs de concordance et de discordance par critère puis agrégés (Pardalos *et al.* 1995) pour parvenir à ordonner ou classer les options. Une option en surclasse une autre dès lors qu'elle est au moins aussi bonne pour la majorité des critères (concordance) et nettement plus mauvaise pour aucun critère (non-discordance) que cette autre option (Roy et Vincke 1981). Ces méthodes sont quantitatives mais supportent l'incommensurabilité des critères (Sadok *et al.* 2008), puisque ces derniers sont indirectement agrégés par l'intermédiaire des indices de concordance et de discordance.

Le troisième type regroupe les méthodes mixtes, ainsi nommées car conçues pour prendre en charge, en plus des informations quantitatives, des informations qualitatives explicitement, c'est-à-dire directement sous la forme nominale ou ordinale et donc sans transformation en information cardinale et commensurable (entrainant ensuite l'utilisation d'une méthode quantitative) (Munda *et al.* 1994 ; Sadok *et al.* 2008). Les méthodes mixtes sont parfois confondues avec les méthodes dites non classiques lesquelles couvrent, en plus des méthodes mixtes, les méthodes conçues pour prendre en charge l'incertitude sur les informations mobilisées dans l'analyse (Guitouni et Martel 1998 ; Figueira *et al.* 2005). Cette prise en charge de l'incertitude se fait généralement en couplant l'analyse multicritère avec un modèle stochastique ou de logique floue. Ce couplage est possible avec toutes les méthodes d'analyses multicritères, aussi bien avec celles d'aide à la décision multi-attribut qu'avec celles d'aide à la décision multi-objectif, et ne constitue donc pas véritablement une distinction en matière de principe d'analyse multicritère (Sadok *et al.* 2008 ; Tzeng et Huang 2011), ni une distinction propre aux

méthodes d'aide à la décision multi-attribut. C'est pourquoi nous considérerons dans ce troisième type uniquement les méthodes mixtes d'aide à la décision multi-attribut. Certaines méthodes de surclassement, décrites précédemment, prennent explicitement en charge les informations qualitatives et ont leur place parmi les méthodes mixtes (Sadok *et al.* 2008). Les autres méthodes mixtes sont celles basées sur un ensemble de règles de décision. Avec ces méthodes, les préférences sont exprimées grâce à des règles de décision, de la forme "si… alors…", consignées sous forme de tableau ou d'arbre de décision. L'ensemble de ces règles constitue un système expert avec lequel l'expression des préférences est naturelle et l'analyse, ne reposant pas sur des formules mathématiques, est transparente et flexible (Zopounidis et Doumpos 2002 ; Figueira *et al.* 2005 ; Sadok *et al.* 2008).

La typologie des méthodes d'analyse multicritère présentée ci-dessus repose sur la diversité des méthodes et des dispositifs d'implémentation de ces méthodes mis en œuvre dans divers domaines. Les différents types qui ressortent de cette typologie peuvent être classés selon deux propriétés des méthodes : d'une part, les caractéristiques des critères pris en charge dans l'analyse et tout particulièrement le fait que ces critères puissent être incommensurables et qualitatifs pour prendre conjointement en compte des informations hétérogènes, et, d'autre part, l'intelligibilité des méthodes pour le décideur et notamment la transparence du processus d'analyse pour faciliter l'appropriation du dispositif et des résultats par les différents acteurs impliqués (Figure 7, page suivante). L'intérêt de ces deux propriétés pour le sujet de ma thèse est développée ultérieurement (partie 2.2.2, p. 56).

Toutefois, d'autres propriétés des méthodes d'analyse multicritère peuvent servir à les différencier, telles que celles que nous avons vu précédemment dans cette partie (méthodes continues ou discrètes, méthodes par agrégation complète ou par surclassement). L'étude de ces propriétés sert à s'assurer qu'une méthode et le dispositif de son implémentation sont appropriés au sujet traité (Guitouni et Martel 1998). L'analyse multicritère en général apparait pertinente pour traiter la gestion des ressources ou des espaces naturels, forestiers ou agricoles et aider à la décision dans les domaines de l'environnement, agronomique et forestier (Romero et Rehman 1987 ; Rehman et Romero 1993 ; Hayashi 2000 ; Kiker *et al.* 2005 ; Mendoza et Martins 2006 ;

Diaz-Balteiro et Romero 2008 ; Ananda et Herath 2009). Elle semble donc aussi pertinente pour le sujet de ma thèse qui s'inscrit dans ces domaines. J'ai alors pris en compte plusieurs propriétés pour choisir une méthode en particulier d'analyse multicritère appropriée.

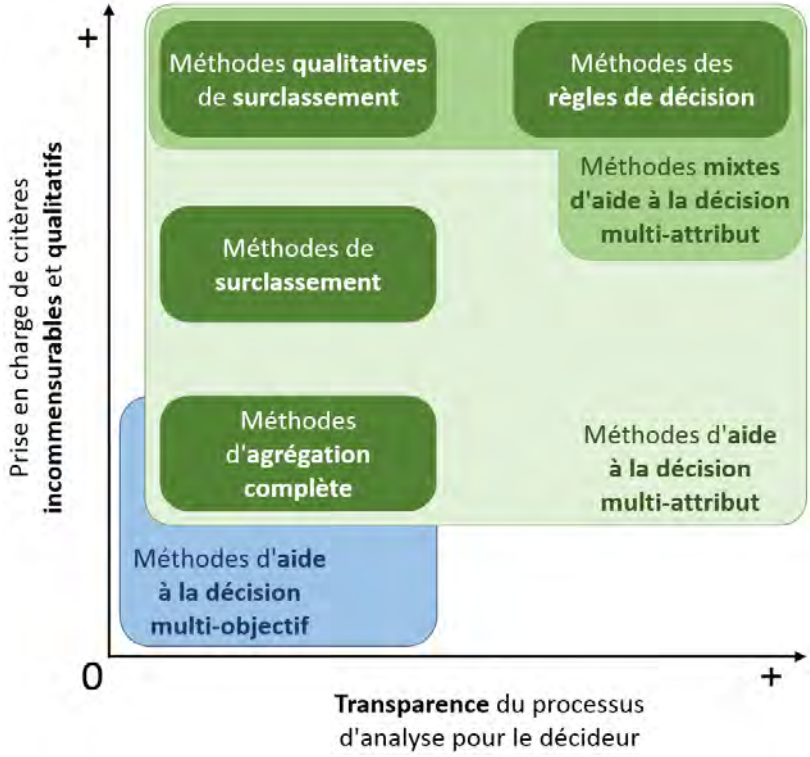


Figure 7 : Classement des différents méthodes d'analyse multicritère

Le classement est effectué selon, d'une part, la transparence pour les décideurs du processus d'analyse (axe des abscisses) et, d'autre part, la capacité de l'analyse à prendre en charge des critères incommensurables et qualitatifs (axe des ordonnées) (d'après Ben Mena (2000), Figueira et al. *(2005) et Sadok* et al. *(2008))*

2.2.2. Le choix d'une méthode d'analyse multicritère appropriée au sujet de ma thèse et la sélection de DEXi

Les quatre types de méthodes d'analyse multicritère identifiés précédemment (Figure 7) présentes des propriétés différentes. Ces propriétés sont décrites dans cette partie en focalisant sur les méthodes utilisées dans les domaines de l'environnement, agronomique et forestier afin d'étudier la pertinence de chaque type pour traiter le sujet de ma thèse.

Les méthodes d'aide à la décision multi-objectif

De nombreuses méthodes d'aide à la décision multi-objectif existent (Hwang *et al.* 1980), telles que les méthodes *Goal programming* (Ignizio 1978), *Multi-objective optimization* (Wierzbicki 1980) et *Compromise programming* (Zelany 1974). Ces méthodes ont été très utilisées dans les domaines de l'environnement, agronomique et forestier (Romero et Rehman 1987 ; Rehman et Romero 1993 ; Diaz-Balteiro et Romero 2008 ; Ananda et Herath 2009). Elles s'inscrivent généralement dans un objectif de planification et, pour cela, servent à définir ou paramétrer la meilleure option à concevoir pour obtenir la meilleure performance possible pour chaque critère pris en compte (Romero *et al.* 1987 ; Hayashi 2000). Une infinité d'options est initialement envisageable, car les critères pris en compte dans les opérations mathématiques sont des variables quantitatives continues (Munda *et al.* 1994 ; Hajkowicz et Collins 2007 ; Sadok *et al.* 2008).

Pour les travaux de ma thèse, je considère différents espaces arborés déjà existants. L'ensemble des options analysées est donc limité. En outre, je cherche à évaluer les fonctions des espaces arborés pour décrire et comparer ces espaces. Il ne s'agit donc pas de concevoir de nouvelles options pour parvenir à un optimum ou au meilleur compromis entre les différents critères. Ainsi, les méthodes d'aide à la décision multi-objectif, particulièrement destinées à prendre en charge des ensembles d'options infinis et à servir pour la conception ou la planification, apparaissent peu pertinentes pour le sujet de ma thèse.

Les méthodes d'agrégation complète

Deux types de méthodes composent principalement l'ensemble des méthodes d'aide à la décision multi-attribut recourant à une agrégation complète. Le premier repose sur la théorie de l'utilité multi-attribut (Multi-attribute utility theory (MAUT)) dont le principe est la définition d'une fonction mathématique dite d'utilité qui prend en compte plusieurs attributs des options étudiées et affecte une utilité (ou niveau de préférence) à chacune des options afin de les comparer (Fishburn 1970 ; Abdellaoui et Gonzales 2006). Le deuxième type repose sur un processus analytique hiérarchique (Analytic hierarchy process (AHP)) qui, à partir de comparaison des options deux à deux pour chacun des attributs pris en compte dans l'analyse, calcule des priorités (ou valeurs) locales, une par

attribut pour chaque option, puis une priorité globale pour chacune des options afin de les comparer (Saaty 1986 ; Ishizaka et Labib 2011).

Les méthodes "MAUT" sont largement utilisées pour la gestion de l'environnement (Kiker *et al.* 2005 ; Huang *et al.* 2011). Elles sont toutefois connues pour être parmi les plus difficiles à mettre en œuvre à cause de la complexité à intégrer les préférences des décideurs dans les modèles d'analyses (Rehman et Romero 1993 ; Ananda et Herath 2009). Cette limite apparaît particulièrement inadéquate pour traiter le sujet de ma thèse. En effet, je vise un modèle au sein duquel les informations des décideurs et autres acteurs sont faciles à introduire afin de favoriser son appropriation par les acteurs et son adaptation à leur territoire. Au contraire, les méthodes "AHP ", plus simples, flexibles et intelligibles, sont moins concernées par cette limite (Ananda et Herath 2009) et, certainement pour cette raison, majoritairement utilisées pour aider à la décision dans les domaines de l'environnement, agronomique et forestier (Kiker *et al.* 2005 ; Diaz-Balteiro et Romero 2008 ; Sadok *et al.* 2008 ; Ananda et Herath 2009 ; Huang *et al.* 2011).

Quelles que soient les méthodes d'agrégations complètes, elles sont des méthodes d'optimisation qui définissent la meilleure option, au sein d'un ensemble d'options étudiées, sur la base du score obtenu pour un unique critère agrégé. Cette agrégation consiste en des fonctions mathématiques sur les critères intermédiaires quantitatifs (Kiker *et al.* 2005). Il n'est donc pas possible, avec ces méthodes, de considérer directement des informations qualitatives qui doivent alors être transformées en données commensurables.

Les méthodes de surclassement

Les méthodes d'analyse multicritère par surclassement les plus connues sont les méthodes ELECTRE (Élimination et choix traduisant la réalité) (Roy 1968) et PROMETHEE (*Preference ranking organization method for enrichment evaluation*) (Brans *et al.* 1986) regroupant chacune plusieurs versions (Jolly et Yannou 2008 ; Behzadian *et al.* 2010 ; Figueira *et al.* 2013). Ces méthodes sont aussi les méthodes de surclassement les plus utilisées dans les domaines de l'environnement, agronomique et forestier (Kangas *et al.* 2001 ; Ananda et Herath 2009 ; Huang *et al.* 2011). Dans certains domaines, comme la gestion des ressources en eau, elles priment même sur toutes les autres méthodes d'analyse multicritère (Hajkowicz et Collins 2007).

Les méthodes de surclassement déterminent les relations de surclassement entre les différentes options étudiées, à la manière d'un graphe orienté, pour comparer et classer ces options. Elles définissent alors l'ensemble (ou noyau) des options non surclassées, sans préciser la meilleure option dans ce noyau (Bouyssou 2008). Ainsi, en ne proposant pas un résultat péremptoire, elles sont adaptées à une utilisation lors de processus délibératifs de prise de décision avec les différentes parties prenantes (Huang *et al.* 2011). En outre, certaines méthodes de surclassement sont capables de prendre en charge des informations qualitatives (telles que les méthodes REGIME (Hinloopen *et al.* 1983) ou QUALIFLEX (Paelinck 1978)).

Cependant, les méthodes de surclassement, en procédant sur la base de comparaison par paire des options, n'analysent pas individuellement les options et ne produisent donc pas une description de chacune d'elles et de chacun de leurs attributs. Cette particularité est aussi vraie pour les méthodes "AHP" du type précédent, qui développent aussi une comparaison par paire des options. Or, dans le cadre de mes travaux, l'évaluation des options (les espaces arborés) et de leurs attributs (les fonctions des espaces arborés) individuellement fait partie de l'objectif de ma thèse. En effet, je cherche à décrire et à apporter des informations sur les espaces arborés et leurs fonctions afin d'aider à la discussion lors de la construction de projets partagés de territoires agroforestiers. Les méthodes de surclassement, ainsi que les méthodes "AHP", paraissent donc mal adaptées au sujet de ma thèse.

Les méthodes basées sur des règles de décision

Les méthodes d'analyse multicritères basées sur des règles de décision sont qualifiées de non classiques (Figueira *et al.* 2005 ; Sadok *et al.* 2008). Elles apparaissent très peu utilisées dans les domaines de l'environnement, agronomique et forestier en comparaison des autres types présentés précédemment. Parmi ces méthodes, la méthode DRSA (*Dominance-based rough set approach*) (Greco *et al.* 1998) parait être la plus mentionnée et la plus comparée aux méthodes d'analyses multicritères classiques (Greco *et al.* 2005 ; Cinelli *et al.* 2014 ; Massei *et al.* 2014). À la différence des méthodes classiques présentées précédemment, les méthodes basées sur des règles de décision ne déterminent pas les préférences à l'aide de programmations mathématiques mais grâce à des approches d'apprentissage inductif (Zopounidis et Doumpos 2002). Elles recourent

aux techniques d'intelligence artificielle ou aux systèmes experts mobilisant les règles de décision notamment de la forme "si… alors…" (Zopounidis et Doumpos 2002 ; Greco *et al.* 2005 ; Sadok *et al.* 2008). De cette manière, ces méthodes sont reconnues pour être plus transparentes, intelligibles, flexibles et fidèles aux informations directement exprimées par les décideurs, notamment en prenant en charge des informations qualitatives ou incommensurables ainsi que des relations entre informations et des préférences difficiles à modéliser mathématiquement (non-linéarité, incohérence, manque de données) (Greco *et al.* 2001 ; Greco *et al.* 2005 ; Sadok *et al.* 2008 ; Cinelli *et al.* 2014).

La méthode DEX (Decision expert) est aussi une méthode d'analyse multicritère basée sur des règles de décision (Bohanec et Rajkovic 1990 ; Sadok *et al.* 2008 ; Bohanec *et al.* 2013) et fait valoir les avantages énoncés précédemment (Craheix *et al.* 2015). Cette méthode est utilisée pour les sciences de l'environnement (Znidarsic *et al.* 2006) et en agronomie, notamment en France pour évaluer la durabilité de systèmes agricoles (Gerber *et al.* 2009 ; Sadok *et al.* 2009 ; Craheix *et al.* 2015). En outre, Tojnko *et al.* (2011) ont utilisé la méthode DEX pour évaluer la multifonctionnalité d'espaces agroforestiers (pré-vergers) et ont notamment conclu sur son utilité pour l'évaluation des systèmes agroforestiers en général.

Le choix pour ma thèse d'une méthode basée sur des règles de décision

Il apparait la plupart du temps que l'application de méthodes d'analyse multicritère différentes à un même cas produit des résultats d'analyse très proches voire identiques (Hajkowicz et Collins 2007 ; Huang *et al.* 2011). Il est alors conseillé de choisir la méthode de manière à ce qu'elle soit bien adaptée au sujet plutôt que d'ajuster le sujet à la méthode et, pour cela, plusieurs propriétés et facultés des méthodes peuvent être analysées (Guitouni et Martel 1998). Bien que le choix d'une méthode d'analyse multicritère constitue en soi un problème de prise de décision multicritère (Rehman et Romero 1993), recourir dans ce cas à un outil d'aide multicritère à la décision reviendrait à s'engager dans un cercle vicieux (Guitouni et Martel 1998). Pour éviter cet écueil, j'ai repris l'objectif et la finalité de mes travaux (partie 1.5.2, p. 43) et les ai mis en regard des propriétés ou facultés que la méthode d'analyse multicritère devraient posséder pour y parvenir. L'objectif est d'évaluer l'ensemble des fonctions des espaces arborés pour fournir des informations sur ce que les acteurs peuvent en attendre. Cette évaluation des

fonctions, effectuée à partir des caractéristiques des espaces arborés, requière de s'adapter à une diversité des informations sur ces fonctions et ces caractéristiques : niveaux de connaissance et incertitudes hétérogènes, natures (qualitative ou quantitative) différentes, incommensurabilité. Nous avons vu précédemment (partie 2.2.1, p. 52) que l'incertitude peut généralement être prise en charge quelle que soit la méthode d'analyse multicritère. En revanche, les autres particularités des informations disponibles pour l'évaluation incitent à opter pour i) une méthode prenant en charge des critères qualitatifs et incommensurables. L'objectif de ma thèse inclut la fourniture d'informations sur les fonctions des espaces arborés. Ces informations correspondent aux résultats finaux des analyses, mais également aux données en entrée, aux critères d'analyse, aux préférences, aux résultats intermédiaires. Cela implique de recourir à ii) une méthode qui produit une description des options avant tout, la faculté à choisir, trier ou classer les options étant ici secondaire. La finalité de ma thèse est d'aider les acteurs concernés à discuter sur leurs différentes attentes des espaces arborés et à définir des pratiques répondant à ces attentes pour construire des projets partagés de territoire intégrant ces espaces. Pour aider à la discussion, je propose de développer un outil participatif, c'est-à-dire sur lequel les différents acteurs concernés par les espaces arborés pourront facilement s'impliquer. Pour que les acteurs puissent prendre part à la discussion des résultats mais également à leur obtention (compréhension voire prise en main du fonctionnement de l'outil, notamment du processus d'analyse multicritère), il est important de choisir iii) une méthode transparente et intelligible. Les discussions porteront sur des espaces arborés existants pour préciser leurs fonctions et éventuellement sur des espaces arborés simulés pour tester quelques options alternatives d'implantation ou de gestion afin de déterminer leur place dans des projets de territoire. Le nombre d'options à considérer dans l'analyse multicritère est donc limité et oriente vers iv) une méthode discrète.

Ainsi, quatre propriétés ou facultés principales de la méthode à retenir ressortent pour parvenir à l'objectif et à la finalité de ma thèse. L'analyse des différentes méthodes présentées précédemment au regard de ces propriétés ou facultés recherchées place les méthodes basées sur les critères de décision comme les plus pertinentes pour le sujet de ma thèse (Tableau 1, page suivante).

J'ai choisi d'utiliser le logiciel DEXi pour implémenter le modèle Terafor. Ce logiciel repose

sur la méthode DEX, une méthode d'analyse multicritère basée sur des règles de décision (Bohanec et Rajkovic 1990 ; Sadok *et al.* 2008 ; Bohanec *et al.* 2013). Il apparait donc pertinent pour le sujet de ma thèse (Tableau 1). De plus, DEXi est largement utilisé sur des sujets présentant des proximités avec celui de ma thèse. Il est activement utilisé en France par une communauté de recherche en agronomie (Bergez 2010) qui l'a notamment mis en œuvre lors de démarches participatives et a conclu sur son appropriation pour une telle application (Craheix *et al.* 2015). En outre, DEXi est facilement accessible (logiciel gratuit, téléchargement et installation simples et rapides) et continue d'être régulièrement développé (maintenance, mises à jour, nouvelles versions) (Bohanec 2017).

Tableau 1 : Les différentes méthodes d'analyse multicritère au regard des principales propriétés ou facultés recherchées pour le sujet de ma thèse

Propriétés ou facultés recherchées	**Méthodes d'aide à la décision multi-objectif**	**Méthodes d'agrégation complète**	**Méthodes de surclassement**	**Méthodes basées sur des règles de décision**
Analyse d'un nombre limité d'options existantes	**Non** (méthodes continues)	**Oui**	**Oui**	**Oui**
Description (évaluation) des options	**Non** (conception, paramétrage)	- MAUT : **Oui** - AHP : **Non** (comparaison par paire)	**Non** (comparaison par paire)	**Oui**
Prise en charge directe d'informations qualitatives et incommensurables	**Non** (fonctions mathématiques)	**Non** (fonctions mathématiques)	- Méthodes quantitatives : **Non** (fonctions mathématiques) - Méthodes qualitatives : **Oui**	**Oui**
Transparence et intelligibilité de l'analyse pour le décideur	**Non** (programmation mathématique)	**Non** (programmation mathématique)	**Non** (interprétation difficile des résultats)	**Oui**

2.3. Principes et fonctionnement de DEXi : une méthode d'analyse multicritère, hiérarchique, qualitative et experte

DEXi est un logiciel conçu pour aider à la prise de décision complexe (Bohanec 2015). Pour cela, il aide d'une part à analyser le système sur lequel porte la prise de décision en le

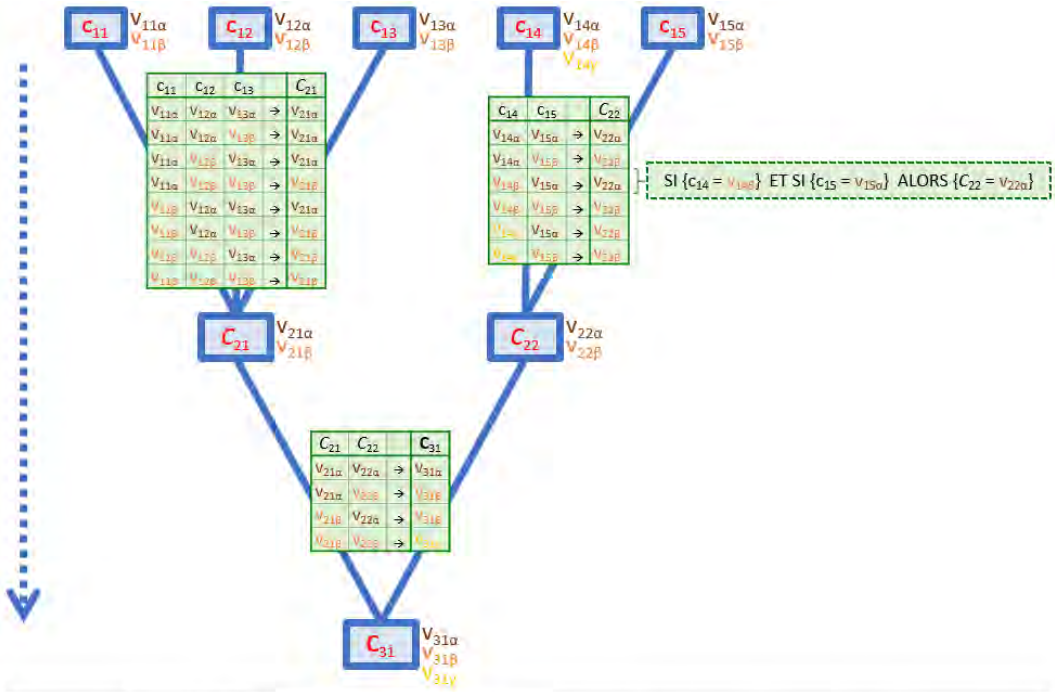
décomposant en plusieurs sous-systèmes plus simples à analyser et d'autre part à évaluer plusieurs options pour les comparer et faciliter le choix parmi elles. Les sous-systèmes correspondent à différents attributs (ou propriétés) du système et forment les différents critères d'analyse du système considéré. Chaque attribut peut être à son tour décomposé en d'autres attributs, ce qui génère plusieurs niveaux de critères organisés hiérarchiquement. Les critères sont évalués qualitativement : ils prennent des valeurs discrètes non numériques soit qualificatives (sous la forme de mots, par exemple "notable", "négligeable") soit semi-quantitative (sous la forme de tranches de valeurs numériques séparées par des valeurs-seuils, par exemple "supérieur à 100 m", "inférieur à 100 m"). Cette évaluation se produit grâce à un système expert consignant des règles de la forme "si… alors…" qui déterminent la valeur de chaque critère ("alors…") en fonction des valeurs prises par des critères de niveau(x) précédent(s) ("si…").
Ainsi, DEXi combine i) une méthode d'analyse multicritère, ii) une organisation hiérarchique, iii) une évaluation qualitative et iv) un système expert (Figure 8, page suivante). Ces quatre principes sont décrits ci-après de façon à présenter plus précisément le fonctionnement général de DEXi.

Aspect multicritère

DEXi propose une méthode d'analyse multicritère pour considérer les multiples attributs du système étudié. La modélisation du système débute par la définition de critères d'analyse (Figure 8, page suivante, en rouge) représentant les différents attributs à prendre en compte dans l'analyse. Les attributs (ou propriétés) sont les composantes ou les caractéristiques du système étudié et les critères sont les attributs sélectionnés et modélisés pour l'analyse de ce système. Le modèle obtenu peut aussi bien être qualifié de multicritère ou de multi-attribut (Bohanec 2015) selon que l'on s'intéresse respectivement à son organisation ou à ce qu'il représente.

Dans les modèles sous DEXi, trois catégories de critères se distinguent. La première englobe les critères de base. Ces critères sont l'entrée du modèle et leurs valeurs sont renseignées par l'utilisateur pour lancer l'évaluation par DEXi des autres critères.
Dans le cadre du modèle Terafor, j'utilise la dénomination de paramètres pour désigner ces critères de base. Ces paramètres renseignent sur les caractéristiques de chaque

espace arboré étudié pour en évaluer ses fonctions, comme nous le verrons ultérieurement (partie 4.1.3, p. 113).



		Terminologie de DEXi (d'après Bohanec 2015)	Terminologie utilisée pour le modèle Terafor	Descriptions
Aspect multicritère	c_{nx}	Attributs (critères) de base (feuilles)	Paramètres	Les paramètres sont les entrées du modèle. L'utilisateur du modèle renseigne les valeurs de ces critères pour lancer, aux niveaux suivants, l'analyse des critères composés.
	C_{nx}	Attributs (critères) agrégés intermédiaires	Fonctions, supra-fonctions et infra-fonctions (critères composés)	Les critères composés sont analysés sur la base d'agrégations de critères de niveaux précédents. Leurs valeurs sont produites automatiquement et sont des sorties intermédiaires du modèle.
	$\mathbf{C}_{nx}$	Attribut (critère) agrégé final (racine)	Rôle de l'espace arborée (critère composé final)	Le dernier critère est analysé sur la base de l'agrégation de critères de niveaux précédents. Sa valeur est produite automatiquement et est la sortie ultime du modèle.
Aspect qualitatif	v_{nxz}	Valeurs qualitatives	*idem*	Les valeurs que peuvent prendre les critères sont qualitatives. Une gamme composé de valeurs est déterminée pour chaque critère. Chaque gamme de valeurs est discrète, finie et usuellement ordonnée.
Pour c, C, C et v, l'indice n correspond aux numéros identifiant les niveaux hiérarchiques dans la structuration et l'indice x correspond aux numéros identifiant les critères au niveau n. Pour v, l'indice z correspond aux lettres identifiant les valeurs du critère x au niveau n.				
Aspect hiérarchique		Arbre hiérarchique	Structuration hiérarchique	Les critères sont successivement agrégés sur plusieurs niveaux de manière hiérarchique jusqu'au dernier critère.
		Sens des agrégations Sens de l'analyse	*idem*	L'analyse des critères agrégés d'un niveau repose sur les valeurs des critères de niveau(x) précédent(s) et produit les valeurs utilisées pour l'analyse des critères de niveau(x) suivant(s).
Aspect expert		Règles de décision	Règles d'agrégation	Les règles d'agrégation, de la forme "si... alors...", servent à définir la valeur de chaque critère composé en fonction des valeurs des critères qui le composent.
		Fonctions d'utilité (ou d'agrégation)	Tableaux d'agrégation	L'ensemble des règles d'agrégation de chaque critère composé est consigné dans un tableau. Chaque règle occupe une ligne de ce tableau et correspond à une des combinaisons possibles de valeurs de chacun des critères composant le critère composé.

Figure 8 : Principes de fonctionnement de DEXi et terminologie

La deuxième catégorie de critères regroupe les critères intermédiaires. Ces critères sont

évalués automatiquement à partir des valeurs renseignées des critères de niveaux précédents (critères de base pour le premier niveau de critères intermédiaires et critères de base et/ou critères intermédiaires pour les niveaux suivants). Les critères de niveaux précédents sont agrégés en suivant des règles expertes enregistrées dans le modèle pour produire une valeur pour chaque critère intermédiaire à partir des valeurs de critères de niveaux précédents. Les critères intermédiaires sont donc des critères composés. Leurs valeurs sont des sorties intermédiaires du modèle pouvant être utilisées pour l'analyse du système étudié.
Dans le cadre du modèle Terafor, les critères intermédiaires correspondent aux fonctions des espaces arborés ainsi qu'à leurs décompositions en infra-fonctions ou leurs regroupements en supra-fonctions (partie 4.1.2, p. 112 et partie 4.1.3, p. 113).

Les critères intermédiaires sont à leur tour agrégés pour composer des critères de niveaux suivants, jusqu'au critère final. Ce dernier critère forme la troisième catégorie. Il est un critère composé et sa valeur est à la sortie ultime du modèle. Il est théoriquement le seul critère sur lequel repose la comparaison des options évaluées puis la prise de décision (choix), fonction première de DEXi.
Dans le cadre du modèle Terafor, ce dernier critère pourrait représenter une vue globale du rôle de chaque espace arboré évalué. Mais l'objectif étant ici d'apporter des informations sur les fonctions, ce niveau extrême d'agrégation présentera peu d'intérêt.

Aspect hiérarchique

Pour faciliter l'analyse d'un système, DEXi repose sur la décomposition de ce système en plusieurs niveaux de sous-systèmes de plus en plus simples à analyser. Les sous-systèmes correspondent à différents attributs (ou propriétés) du système étudié pris en charge sous forme de critères dans le modèle représentant ce système. La décomposition progressive du système aboutit à un modèle organisant les critères sous la forme d'un arbre hiérarchique (Figure 8, page précédente, en bleu). L'analyse d'un attribut *A* du système étudié s'effectue en réunissant l'information sur les attributs *a* de l'attribut *A*. Cela se traduit, dans DEXi, par l'évaluation d'un critère *C* du modèle représentant le système étudié en agrégeant les valeurs des critères *c* composant le critère *C*. Ainsi, l'évaluation de chaque critère repose sur les valeurs de critères de niveau(x) précédent(s) et produit

une valeur utilisée pour l'évaluation d'un critère d'un niveau suivant.

Dans le cadre du modèle Terafor, j'ai choisi d'utiliser le terme "structuration hiérarchique" pour éviter la confusion entre le terme "arbre hiérarchique" dans DEXi et l'objet "arbres" dans mes travaux. Le processus de décomposition d'un problème ou d'un système complexe décrit ci-dessus a été appliqué pour définir les paramètres utilisés pour l'évaluation de chacune des fonctions des espaces arborés prises en compte dans le modèle Terafor. En revanche, cette décomposition n'a pas été appliquée pour le reste du modèle. En effet, les fonctions ont été organisées pour faciliter leur prise en compte toutes ensemble et la représentation du résultat de leur évaluation. Pour cela, des regroupements successifs ont été réalisés et ont abouti à des critères produits par regroupement (composition) et non par décomposition. La décomposition, réalisée pour l'évaluation de chacune des fonctions, et la composition, réalisée pour considérer l'ensemble des fonctions et leur évaluation, se retrouve dans le travail de structuration hiérarchique du modèle Terafor. Cette structuration permet de faire ressortir plusieurs niveaux dans l'analyse de l'ensemble des fonctions des espaces arborés (les fonctions une à une, des regroupements de fonctions (supra-fonctions) par activité puis par domaine d'activités) (partie 4.1.2, p. 112 et partie 4.2.1, p. 120). Les différents niveaux étant successivement reliés entre eux, il est possible de faire des allers-retours entre ces niveaux et donc d'expliciter les tenants et les aboutissants d'un niveau à l'autre concernant les critères et la détermination de leurs valeurs. Cela constitue de l'information, tout autant que le résultat de l'évaluation des critères, pour analyser l'ensemble des fonctions des espaces arborés et aider les acteurs à en discuter.

Aspect qualitatif

L'analyse d'un système avec DEXi repose sur une évaluation qualitative des critères du modèle de ce système. Pour cela, les valeurs que prennent les critères sont qualitatives (Figure 8, p. 64, en ocre) : elles peuvent être soit qualificatives et prendre la forme de mots ou de symboles (par exemple "notable", "négligeable"), soit semi-quantitatives et prendre la forme d'intervalles limités par des valeurs seuil numériques (par exemple "< 3 m", "> 3 m"). Une gamme de valeurs est déterminée et enregistrée dans DEXi pour chaque critère du modèle. Ces gammes de valeurs sont discrètes et finies. Elles sont aussi

usuellement ordonnées : les différentes valeurs de la gamme d'un critère *c* sont classées les unes par rapport autres au regard de leur répercussion sur le critère *C* dans lequel est agrégé le critère *c*. Par exemple, on peut considérer qu'une haie a un effet brise vent (critère *C*) notable dès lors que sa hauteur (critère *c*) est supérieure à 3 m, sinon cette effet est négligeable. Ainsi, au regard de cette fonction brise vent considérée comme bénéfique, la valeur de hauteur de la haie "> 3 m" est meilleur que la valeur "< 3 m". Les valeurs comportent donc aussi un jugement de valeur sur la base duquel elles peuvent être ordonnées.

L'enregistrement dans DEXi de l'ordre des valeurs au sein des gammes n'est pas obligatoire, mais il est très utile car il donne accès à des fonctionnalités facilitant la construction des modèles. La constitution de gammes de valeurs ordonnées a donc été privilégiée lors de la construction du modèle Terafor, notamment pour faciliter la définition des règles régissant l'évaluation des critères (partie 4.1.4, p. 116 et partie 4.2.4, p. 128). En outre, l'évaluation qualitative est bien indiquée pour prendre en compte dans le modèle Terafor la diversité des fonctions des espaces arborés et la diversité des informations, en particulier des paramètres, disponibles pour évaluer ces fonctions (partie 4.1.3, p. 113 et partie 4.2.2, p. 123).

Aspect expert

L'évaluation de chaque critère composé dans DEXi repose sur d'autres critères de niveau(x) précédent(s) : la détermination de la valeur d'un critère *C*, parmi la gamme de valeurs de ce critère, s'effectue en fonction des valeurs prises par les critères c_x composant le critère *C*. Pour cela, DEXi recourt à un système expert (Figure 8, p. 64, en vert) rassemblant les règles qui régissent l'agrégation des critères et leur évaluation. Ces règles expertes sont de la forme "si… alors…". Par exemple, si une haie a une hauteur (critère c_1) supérieure à 3 m, si elle a une porosité (critère c_2) faible et si elle a un sens d'implantation (critère c_3) perpendiculaire au sens du vent dominant, alors sa fonction de brise vent (critère *C*) sera notable. Au contraire, si cette haie a une hauteur inférieure à 3 m, si elle a une porosité élevée et si elle a un sens d'implantation parallèle au sens du vent dominant, alors sa fonction de brise vent sera négligeable. Dans cet exemple, plusieurs autres règles sont nécessaires pour couvrir tous les cas de figure entre les deux extrêmes

présentées. Cela requière de définir, lors de la construction du modèle, une règle pour chacune des combinaisons possibles de valeurs de chacun des critères c_x composant le critère *C*. La façon dont sont agrégés les critères composant un critère composé pour évaluer ce dernier est ainsi consignée grâce à un ensemble de règles expertes.
Le modèle Terafor est un modèle d'évaluation avant tout voulu pour apporter de l'information et aider à la discussion, bien plus que pour aider directement à la décision. L'expression "règles d'agrégation" pour désigner les règles expertes sur lesquelles se base l'évaluation a donc été préférée à l'expression "règles de décision" utilisée dans DEXi.

Pour définir les règles d'agrégation d'un critère composé *C*, DEXi présente dans un tableau toutes les combinaisons possibles de valeurs de chacun des critères c_x composant le critère *C*. Chaque combinaison occupe une ligne de ce tableau. Le concepteur du modèle définit alors la valeur du critère *C* pour chacune des combinaisons et l'inscrit au bout de chaque ligne correspondante. Chaque critère composé est pourvu d'un tableau consignant l'ensemble des règles d'agrégation des critères qui le composent. Cet ensemble de règles constitue la fonction servant à déterminer la valeur du critère composé à partir de celles des critères qui le composent.
Dans DEXi, les ensembles de règles d'agrégation sont nommés "fonctions d'utilité (ou d'agrégation)". Pour le modèle Terafor, l'expression "tableaux d'agrégation" a été choisie pour éviter la confusion avec l'objet "fonctions des espaces arborés" étudié. Les tableaux d'agrégation sont remplis de manière à intégrer les connaissances disponibles sur les liens entre les critères pris en compte dans le modèle Terafor (partie 4.2.4, p. 128).

- 3 -
Les fonctions des espaces arborés et leur identification pour le modèle Terafor



L'identification des fonctions des espaces arborés est l'opération initiale de la construction du modèle Terafor. L'objectif consiste à inventorier l'ensemble des fonctions de tous les espaces arborés, dans tous les territoires tempérés agricoles et pour tous les acteurs concernés dans ces territoires. L'identification comporte aussi un travail de catégorisation des fonctions selon les activités qu'elles influencent.

Cette partie présente tout d'abord ce que j'entends par fonctions des espaces arborés dans le modèle Terafor et leur position au regard du champ des services écosystémiques. Elle précise aussi la méthode d'identification de ces fonctions. Cette méthode repose sur la littérature technique et de vulgarisation confortée par la littérature scientifique ainsi que sur des entretiens avec des experts. Puis, cette partie décrit les 77 fonctions résultant de ce travail d'identification et leur regroupement par activité qu'elles influencent. Enfin, elle propose une discussion du résultat et de la méthode qui l'a généré.

3.1. Matériel et méthode : les fonctions des espaces arborés et leur identification

3.1.1. Les fonctions des espaces arborés et les services écosystémiques

Le terme "fonction" a une étendue variable (partie 1.4.1, p. 36). Pour mes travaux de thèse, j'emprunte le terme "fonction" au champ des services écosystémiques. Toutefois, je m'en distancie quelque peu sur deux points (Figure 9).

i) J'y regroupe à la fois les fonctions et les biens et services de la cascade généralement acceptée "structures et processus biophysiques – fonctions écologiques – biens et services écosystémiques – bénéfices – valeurs" (De Groot *et al.* 2010 ; Potschin et Haines-Young 2011). En effet, je m'intéresse à la fois :

- aux fonctions qui ne sont pas reliées à un acteur, ce qui correspond à des fonctions écologiques,
- aux fonctions qui sont reliées à un acteur mais lequel est absent, ce qui correspond à des biens ou services écosystémiques potentiels,
- aux fonctions qui sont reliées à un acteur présent mais lequel n'identifie pas ces fonctions, ce qui correspond à des biens ou services écosystémiques non identifiés,
- aux fonctions qui sont reliées à un acteur présent et lequel identifie ces fonctions, ce qui correspond à des biens ou services écosystémiques identifiés.

ii) J'y ajoute les disservices que les espaces arborés peuvent apporter et qui peuvent aboutir à des préjudices (par exemple source de bioagresseurs des cultures). En employant le terme "fonctions", je souhaite éviter l'ambiguïté du terme "services (écosystémiques)" qui, très souvent, occulte les disservices que peuvent aussi générer les écosystèmes.

Les travaux de recherche se rapportant au champ des services écosystémiques sont minoritaires à considérer les disservices au même titre que les services (Von Döhren et Haase 2015 ; Shackleton *et al.* 2016). Nous en discuterons les raisons ultérieurement (partie 3.3.1, p. 93). Pour autant, le concept de disservices écosystémiques est de plus en plus adjoint à celui de services et des travaux montrent l'importance de prendre en compte autant les disservices que les services (Ango *et al.* 2014 ; Lyytimäki 2015 ; Shackleton *et al.* 2016). Cela sert à mettre en balance les services et les disservices de manière à gérer les écosystèmes non seulement en favorisant les services mais également

en limitant les disservices. Cette recherche d'équilibre entre services et disservices est une préoccupation continuelle des acteurs de terrain et sert à la définition des pratiques de gestion, particulièrement dans les systèmes agroforestiers pour maîtriser toutes les interactions, bénéfiques et préjudiciables, entre espaces arborés et productions agricoles (Ango *et al.* 2014). Partageant l'intérêt de considérer les disservices au même titre que les services, j'ai pris en compte les deux dans mes travaux de thèse (Figure 9).

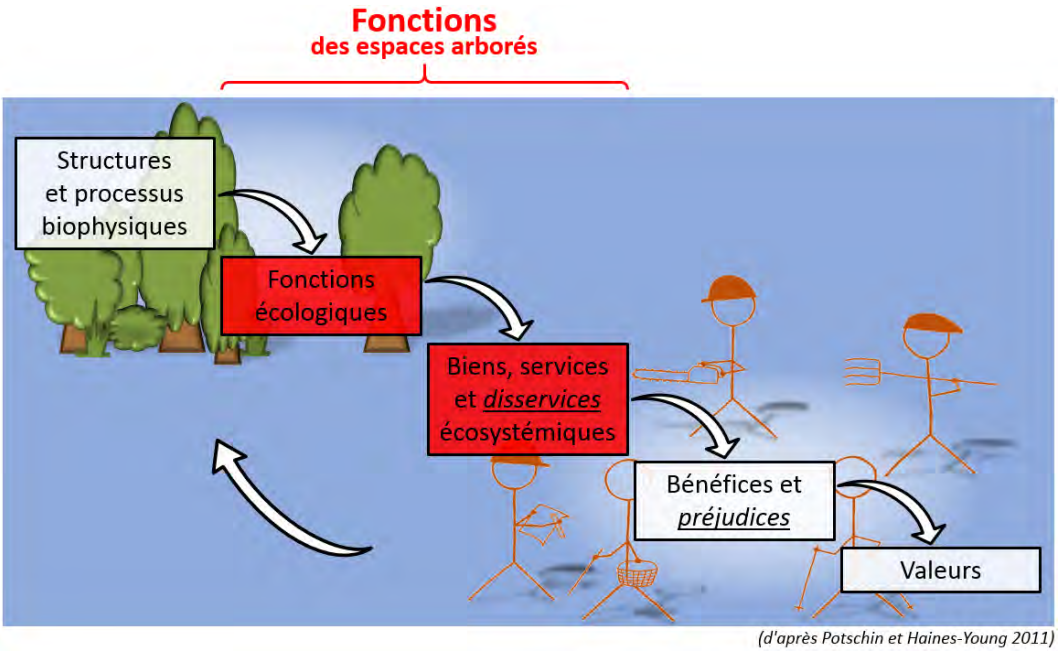


Figure 9 : Positionnement des fonctions des espaces arborés dans la "cascade" des services écosystémiques

Les fonctions des espaces arborés, telles que je les définie dans ma thèse, couvrent les fonctions écologiques et les biens et services écosystémiques de cette cascade fournis par les espaces arborés. J'y intègre également les disservices écosystémiques résultant de certaines fonctions écologiques et générant des préjudices.

3.1.2. L'identification des fonctions des espaces arborés à partir de la littérature technique et de vulgarisation

Les fonctions des espaces arborés prises en compte dans le modèle Terafor sont issues d'un inventaire conduit en enchainant plusieurs opérations. La première, présentée dans cette partie, a consisté en une revue de littérature focalisée sur des ouvrages techniques et de vulgarisation. Le choix de ce type d'ouvrages a été fait car je suppose que :

- ils proposent une synthèse de résultats scientifiques ou expérimentaux qu'il aurait

été fastidieux de collecter un à un dans la littérature scientifique notamment,

- ils sont publiés pour apporter des réponses aux attentes ou perceptions des différents acteurs concernés, ceux-là mêmes que je souhaite considérer dans le modèle Terafor,
- ils informent sur les caractéristiques qui conditionnent les fonctions des espaces arborés. Ils proposent des mesures ou observations simples ou vulgarisées de ces caractéristiques qui sont ainsi faciles à prendre en compte par les acteurs concernés et que j'ai pu mobiliser pour définir les paramètres nécessaires à l'évaluation des fonctions dans le modèle Terafor.

De plus, dans l'optique d'un outil utilisable par les acteurs, notamment non scientifiques, ces ouvrages m'assurent de me focaliser sur des connaissances accessibles et reconnues par des gestionnaires et des acteurs de terrain. Les moteurs de recherche Archipel (bibliothèques de l'Université de Toulouse) et généraliste (pour la littérature grise notamment) ont principalement été utilisés. La majorité des ouvrages consultés se rattachait au contexte tempéré en France ou en Europe et étaient en français. Lors de cette opération, les requêtes combinaient un terme concernant les arbres et/ou un terme concernant leur rôle et/ou un terme concernant le contexte (Tableau 2).

Tableau 2 : Termes combinés dans les requêtes pour l'identification des fonctions des espaces arborés

Thème	**Termes** (liste non exhaustive)
arbre	- "arbre", "espace arboré", "formation arborée", "formation ligneuse" - "arbre isolé", "haie", "ripisylve", "bosquet", "bois", "complantation", "lisière" - "agroforesterie"
rôle	- "rôle", "fonction", "contribution" - "service", "bénéfice" - "disservice", "inconvénient", "préjudice"
contexte	- "agricole", "rural" - "territoire"

Pour réaliser l'identification, j'ai été épaulé par Céline Ottogali lors de son projet de fin d'études d'ingénieur en agriculture (Ottogali 2015). Comme notre objectif était de couvrir l'ensemble des fonctions, nous avons passé en revue les fonctions source de bénéfices ainsi que celles source de préjudices pour les différentes activités qu'elles influencent. Bien qu'en matière de gestion il y ait un intérêt à considérer les disservices autant que les services (partie 3.1.1, p. 72), les disservices sont rarement explicitement pris en compte

dans le développement de l'agroforesterie (partie 1.4.1, p. 36, en particulier la Figure 3). Ce moindre égard concernant les disservices des espaces arborés se rencontre dans les ouvrages techniques et de vulgarisation, qui font en général la promotion de ces espaces en soulignant leurs bénéfices. Nous avons donc porté une attention particulière aux disservices, souvent largement moins développés.

Afin de couvrir l'ensemble des fonctions des espaces arborés, j'ai aussi fait l'exercice de chercher le pendant de chaque fonction, c'est-à-dire, en quelque sorte, le disservice de chaque service et inversement. Cet exercice s'est parfois appuyé sur la littérature : par exemple la compétition pour la lumière avec les cultures contiguës (disservice), et au contraire l'émission par réflexion de lumière bénéficiant aux cultures contiguës (service). Mais il a surtout été un travail réflexif : par exemple l'intégration paysagère (service) et au contraire l'obturation de panoramas (disservice) que je n'ai trouvée dans aucun ouvrage. Les anti-fonctions référencées ainsi que celles non référencées mais probantes ont été retenues dans l'inventaire.

L'activité potentiellement influencée par chacune des fonctions a aussi été explicitée afin de les catégoriser. Des fonctions qui couvraient plusieurs activités ont ainsi été scindées en plusieurs fonctions pour qu'elles apparaissent dans chaque catégorie concernée. C'est le cas, par exemple, de la fonction support pour la chasse qui a été divisée en deux fonctions : support pour des activités économiques cynégétiques et support pour des activités récréatives cynégétiques.

L'identification des fonctions des espaces arborés a pris fin lorsque j'ai estimé qu'une saturation empirique (Pires 1997) était atteinte. À ce stade, les nouveaux ouvrages consultés n'aboutissaient plus à l'identification de nouvelles fonctions mais seulement et au mieux à des informations supplémentaires sur les fonctions déjà identifiées.

3.1.3. La rencontre d'experts pour conforter l'identification des fonctions des espaces arborés

Une fois qu'une première liste de fonctions a été établie et n'évoluait plus avec les nouvelles lectures, la deuxième opération de l'identification des fonctions des espaces arborés a consisté en la rencontre d'experts. Les entretiens ont été conduits par Céline

Ottogali et/ou moi sur la base d'une liste structurée des fonctions qui présentait le résultat de l'inventaire issu de la littérature et servait à conduire les échanges (Ottogali 2015). Pour sélectionner les experts, nous nous sommes limités à la région Midi-Pyrénées et avons cherché à couvrir une diversité d'opérateurs et de chercheurs concernés par les espaces arborés forestiers ou agricoles. Au total, 15 experts ont été rencontrés (Tableau 3). Ils ont conforté la liste en confirmant les fonctions inventoriées, en apportant des précisions sur certaines d'entre elles et en la complétant de quelques fonctions qui n'étaient pas ressorties des ouvrages consultés.

Tableau 3 : Renseignements sur les experts rencontrés

	Experts	**Organismes**	**Intervieweurs**
1	Chargée d'études	Association Arbres et paysages d'Autan	C
2	Président Directeur	Association française d'agroforesterie Association Arbre et paysage du Gers	C et M
3	Chargé du suivi des programmes R&D	Association française d'agroforesterie	C et M
4	Chargé de projets	Association française d'agroforesterie	C et M
5	Technicien spécialisé "Forêt, arbres et bois"	Chambre d'agriculture de l'Ariège	C et M
6	Conseiller "Forêt, arbres et bois"	Chambre d'agriculture de l'Ariège Chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées	C et M
7	Conseiller agricole	Chambre d'agriculture de Haute-Garonne	C et M
8	Ingénieur de développement	Centre national de la propriété forestière	M
9	Conseiller agricole	Département de Haute-Garonne	C
10	Agricultrice	Exploitation maraîchère de Haute-Garonne	C et M
11	Coordinateur "Environnement" et "Plans de gestion"	Fédération des chasseurs de Haute-Garonne	C
12	Chargée de mission "Environnement et agriculture"	Fédération des chasseurs de Midi-Pyrénées	C
13	Chargé de recherche écologue forestier	Institut national de la recherche agronomique	M
14	Chargée de recherche écologue	Institut national de la recherche agronomique	M
15	Ingénieur de recherche	Institut pour le développement forestier	C et M

C : Céline Ottogali, M : Martin Vigan

3.1.4. L'analyse des fonctions des espaces arborés à partir de la littérature scientifique

La rencontre des experts a stabilisé la liste des fonctions des espaces arborés identifiées. Un travail d'approfondissement sur la base de la littérature scientifique a ensuite été entrepris et constitue la troisième opération de l'identification. Ce travail a servi à corroborer et affiner certaines informations sur les fonctions des espaces arborés, sur les caractéristiques des espaces arborés qui conditionnent ces fonctions et sur les effets de ces fonctions. Des informations supplémentaires à celles trouvées dans la littérature technique et de vulgarisation ont été recueillies pour préparer la structuration et l'évaluation des fonctions avec DEXi. La revue de littérature scientifique avait aussi pour objectif de faire un état des connaissances et du niveau de connaissance sur chacune des fonctions afin de distinguer celles bien étudiées, documentées et établies de celles, au contraire, pour lesquelles on dispose de connaissances limitées, contradictoires ou incertaines.

Les références scientifiques ont été recherchées grâce à des moteurs de recherche de littérature scientifique (Google scholar, Web of science). Les requêtes consistaient en des termes, en français ou en anglais, se rapportant aux fonctions individuellement. Il s'agissait donc de la fonction directement et/ou d'éléments qui sous-tendent l'accomplissement de cette fonction et/ou d'éléments qui sont touchés par l'effet de cette fonction. Par exemple, les termes "érosion éolienne", "porosité", "exportation de sol", "arbre" ont pu être combinés pour préciser l'influence de la densité des espaces arborés sur la réduction de l'érosion éolienne et les effets attendus sur la limitation de la perte de sol due au vent.

3.1.5. Une base de connaissances pour capitaliser les informations sur les fonctions des espaces arborés

Lors de l'identification, toutes les informations disponibles sur les fonctions des espaces arborés, sur les caractéristiques qui conditionnent chacune de ces fonctions et sur les effets de ces fonctions ont été recueillies afin de préparer la construction du modèle Terafor. Une base de connaissances a été créée pour compiler ces informations et enregistrer leurs sources (Tableau 4, page suivante).

Tableau 4 : Les entrées de la base de connaissances utilisée pour enregistrer les informations collectées sur les fonctions présentées avec l'exemple des fonctions "Production de bois d'œuvre" et "Protection contre l'érosion éolienne"

Fonction *[valeurs]*	**Paramètres retenus pour l'évaluation** *[valeurs] {pondération}*	**Paramètres secondaires**	**Références** (selon le niveau d'information)		
			Fonctions	Paramètres	Valeurs/ pondération
Production de bois d'œuvre *[]*	- Présence d'arbres d'essences d'intérêt dans l'espace arboré *[] {}* - Entretien et conduite des arbres d'essences d'intérêt *[] {}* - Adéquation entre les essences d'intérêt et la station *[] {}*		Pointereau et Bazile (1995) Soltner (1998) ANORIBOIS (2006)	Liagre (2006)	
Protection contre l'érosion éolienne *[]*	- Orientation de l'espace arboré par rapport au vent *[bonne protection avec une orientation perpendiculaire au vent et protection faible ou nulle avec une orientation parallèle au vent] {}* - Porosité de l'espace arboré *[bonne protection avec une faible porosité et protection faible ou nulle avec une porosité élevée ou nulle] {}* - Hauteur de l'espace arboré *[protection sur 10 à 20 fois la hauteur] {}* - Longueur de l'espace arboré *[bonne protection (sur 10 à 20 fois la hauteur) avec une longueur de 40 fois la hauteur et plus] {}*	- Sensibilité du sol à l'érosion éolienne - Position topographique de l'espace arboré		Soltner (1998)	Unger (1989) Liagre (2006)

Ces informations ont servi à préciser les fonctions et les activités concernées. Elles ont aussi servi à déterminer les paramètres nécessaires à l'évaluation des fonctions dans le modèle Terafor en renseignant pour chaque fonction :

- les caractéristiques des espaces arborés conditionnant cette fonction, pour définir les paramètres utiles à son évaluation,
- la manière dont chaque caractéristique conditionne cette fonction, pour préciser les

modalités ou les seuils d'influence et ainsi définir les gammes de valeurs des paramètres,

- l'importance des caractéristiques entre elles, pour définir la pondération de chaque paramètre dans l'évaluation de cette fonction.

De même qu'elle a servi à construire le modèle Terafor, la base de connaissances a été réalisée pour capitaliser les informations et sources d'informations que les utilisateurs de ce modèle pourront ensuite mobiliser afin de l'adapter à leurs territoires et à leurs projets. Les informations et sources d'informations seront aussi utiles pour alimenter les discussions sur les fonctions des espaces arborés entre les acteurs impliqués dans la construction de leurs projets de territoire.

De plus, cette base pourra servir à repérer les fonctions des espaces arborés les moins documentées. Elle pourra ainsi aider à cibler les fonctions sur lesquelles il faudrait concentrer les efforts de recherche expérimentale ou de recueil de retours d'expérience.

3.2. Résultat : les 77 fonctions retenues pour le modèle Terafor

Au total, 77 fonctions des espaces arborés ont été identifiées. Pour cela, une quarantaine d'ouvrages ou documents techniques et de vulgarisation ont été consultés. Il s'avère toutefois que la majorité des fonctions sont mentionnées dans quatre ouvrages :

- Arbres des champs : haies, alignements, prés vergers ou l'art du bocage. Pour protéger, restaurer et gérer les arbres hors la forêt (Pointereau et Bazile 1995) (37 fonctions),
- L’arbre et la haie, pour la production agricole, pour l’équilibre écologique et le cadre de vie rurale (Soltner 1998) (36 fonctions),
- Les haies rurales. Rôles, création, entretien (Liagre 2006) (26 fonctions),
- Agroforesterie : des arbres et des cultures (Dupraz et Liagre 2008) (29 fonctions).

Ces ouvrages ont été fondamentaux pour l'identification. Mais, pour ne pas alourdir la rédaction par la répétition de ces références, ils ne sont pas cités dans la description des fonctions ci-dessous.

Les nombres indiqués entre parenthèses dans la partie qui suit signalent les différentes fonctions des espaces arborés. Ils correspondent au numéro des fonctions dans la

structuration du modèle Terafor présentée ultérieurement (partie 4.2.1, p. 120). Les fonctions n'étant pas décrites ici exactement dans le même ordre que celui de la structuration du modèle, ces nombres ne se suivent pas toujours de façon croissante.

3.2.1. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités forestières et agroforestières (fonctions 1 à 10)

Les espaces arborés peuvent être le support d'activités forestières et agroforestières. Ils peuvent procurer à ces activités des services, par l'approvisionnement en produits ligneux et non ligneux, et des disservices, par les contraintes et les coûts nécessaires à l'obtention de ces produits.

Les services d'approvisionnement en produits ligneux et non ligneux

Les espaces arborés sont le lieu de productions communément classées en productions ligneuses d'une part et non ligneuses d'autre part.

Les productions ligneuses couvrent une large gamme de produits. Ces produits ont été classés en quatre catégories. Le **bois d'œuvre (1)** correspond au bois de grumes destinées au sciage, tranchage, déroulage ou façonnage de pièces de bois de grande taille (poteaux, traverses). Le bois de haute valeur, pour la menuiserie, l'ébénisterie, la lutherie, la tournerie d'art, entre aussi dans cette première catégorie. La deuxième catégorie correspond au **bois de service (2)** c'est-à-dire au bois destiné à la fabrication de produits faiblement travaillés mais d'assez haute valeur tels que les piquets, les manches, le bois de vannerie. Le bois valorisable sous forme de **copeaux (3)** compose la troisième catégorie. Il comprend le bois destiné au déchiquetage pour la production de bois raméal fragmenté (BRF), de plaquette (bois énergie ou bois litière), ou à la trituration pour la production de pâte à papier, panneaux ou fibres. La quatrième catégorie correspond au bois de feu sous forme de **bûches et fagots (4)**.

Ces catégories ont été construites en discussion avec Van Lerberghe (2015, com. pers.) et confortées par les distinctions faites au sein de la filière bois (ANORIBOIS 2006 ; MAAF 2015b). En plus de se distinguer par l'aspect des produits obtenus, elles se différencient par :

- la valeur des produits obtenus pour laquelle elles se classent globalement dans

l'ordre décroissant suivant : bois d'œuvre puis bois de service et enfin copeaux et bûches et fagots ;

- le niveau de conduite des arbres et de qualité attendue du bois sur pied. Selon cet aspect, les catégories se classent dans le même ordre que précédemment ;
- le niveau d'équipement minimal nécessaire pour la récolte et le façonnage. Selon cet aspect, les catégories se classent dans l'ordre décroissant suivant : bois d'œuvre puis copeaux et enfin bois de service et bûches et fagots.

Ces trois critères de distinction différencient le bois de service du bois copeaux souvent regroupés dans la catégorie bois d'industrie (MAAF 2015b ; Poullette 2016 ; CNDB 2017). Les quatre catégories de produits bois ne sont pas exclusives. Un même espace arboré peut donc supporter plusieurs de ces services d'approvisionnement.

Outre les productions ligneuses, les espaces arborés peuvent aussi être source de produits non ligneux. Trois catégories de produits non ligneux ont été distinguées. Les **produits non ligneux issus des arbres (5)** forment la première catégorie. Il s'agit des fruits ou d'autres produits (feuilles, fleurs, sève) pouvant être récoltés pour leur commercialisation. Les espaces arborés peuvent aussi fournir des **produits non ligneux non issus des arbres (6)**. Cette catégorie regroupe les petits fruits, les plantes aromatiques ou médicinales, les champignons qui peuvent être commercialisés, voire le produit des cultures dans le cas de pratiques agroforestières par complantation. La troisième catégorie reconnait les espaces arborés en tant que support d'**activités économiques cynégétiques (7)**. Ces espaces peuvent effectivement être source de revenus grâce à la vente de gibiers ou à la location de chasse.

Les services d'approvisionnement en produits ligneux et non ligneux sont vus ici dans le cadre d'activités économiques forestières et agroforestières. Des services similaires apparaissent aussi plus loin dans le cadre d'autres activités, notamment agricoles et récréatives.

Les disservices liés aux productions forestières et agroforestières

L'obtention de produits ligneux et non ligneux des espaces arborés à des fins économiques n'est pas sans contrainte. Elle nécessite de prendre en compte la pression

de **bioagresseurs des ressources forestières et agroforestières (8)** favorisés par les espaces arborés eux-mêmes. C'est notamment le cas des ongulés sauvages qui peuvent provoquer des dégâts par l'abroutissement des arbres dont on attend une production.
Les deux autres disservices couvrent, d'une part, les **moyens pour l'entretien ou pour l'amélioration des ressources (9)** et, d'autre part, les **moyens pour la récolte et pour le façonnage des produits (10)**. Ces moyens englobent les besoins en équipements, en temps, pécuniaires et en connaissances (formation, conseil) pour valoriser les espaces arborés au travers d'activités économiques forestières ou agroforestières et s'apparente à des coûts de productions. Ils sont très souvent pointés parmi les principaux freins à la mise en œuvre des systèmes agroforestiers par les gestionnaires, en particulier les agriculteurs (Smith *et al.* 2012). C'est pourquoi ils ont été listés en tant que disservices. Toutefois, il ne s'agit pas à proprement parler de disservices des espaces arborés puisque ces moyens ne sont pas un effet direct de ces espaces mais bien un coût d'obtention des services de production décrits précédemment.

3.2.2. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités d'élevage et apicoles (fonctions 11 à 23)

Les services soutenant l'élevage et l'apiculture

Les espaces arborés peuvent contribuer au confort des animaux d'élevage en leur proposant un abri contre plusieurs éléments météorologiques. Ils peuvent en effet constituer une **protection contre la chaleur et le soleil (11)** en fournissant de l'ombre aux animaux. Ceux-ci peuvent alors profiter de températures moins élevées et éviter les coups de soleil. Une **protection contre le froid et le vent (12)** peut également avoir lieu. Ce service associe deux phénomènes : d'une part la limitation du vent, réduisant l'inconfort directement dû au vent ainsi que les déperditions de chaleur des animaux et, d'autre part, l'émission de chaleur (par réflexion et libération de rayonnement infrarouge) perceptible dans et aux abords des espaces arborés. Les espaces arborés peuvent proposer une **protection contre les précipitations (13)** en captant, dans leur houppier, tout ou partie de celles-ci. Cette dernière protection n'est valable que pour les animaux à l'extérieur alors que les deux premières le sont aussi pour les animaux en bâtiment.
Les espaces arborés, avec le tronc des arbres qui les composent, peuvent aussi participer

au confort des animaux d'élevage en leur servant **de support de grattage (14)**.

Les espaces arborés peuvent aussi contribuer à la bonne santé des animaux d'élevage. Ils peuvent d'une part, être une **source de plantes d'intérêt sanitaire (15)** pour les animaux. D'autre part, ils peuvent former une barrière procédant à la **limitation de la propagation de maladies (16)** entre troupeaux.

Les espaces arborés peuvent apporter des fourrages ou de la litière pour les animaux d'élevage. Deux services ont été distingués selon la provenance de ces produits : la **source de fourrage** (feuillage, fruits) **ou de litière** (feuilles) **issus des arbres (18)** et la **source de fourrage** (végétation herbacée, petits fruits) **ou de litière** (fougère) **non issus des arbres (19)**. Ces services d'approvisionnements n'ont pas été pris en compte avec les productions agroforestières (fonctions 1 à 7) dans la mesure où les produits obtenus ne sont ordinairement pas commercialisés mais valorisés dans le cadre d'une activité d'élevage.

Les espaces arborés peuvent participer à la **constitution de clôtures (21)** pour enclore les animaux d'élevage.

Les espaces arborés peuvent constituer des ressources pour les abeilles domestiques. Deux catégories de ressources ont été distinguées : d'une part, les **ressources bénéfiques à la vie des abeilles (22)** avec une végétation produisant une diversité de pollen, du miellat ou de la propolis, et, d'autre part, les **ressources mellifères pour les productions apicoles (23)** avec une végétation produisant du nectar et du pollen en quantité.

Les disservices contraignant l'élevage

En limitant le vent, les espaces arborés peuvent gêner les animaux dans la régulation de leur température lorsqu'il fait chaud. Ce disservice a été pris en compte en venant modérer le service de **protection contre la chaleur et le soleil (11)** présenté plus haut.

Les espaces arborés peuvent être néfastes concernant la santé des animaux. En effet, ils peuvent être **source de parasites ou de vecteurs de maladies (17)**.

Si les espaces arborés peuvent être sources de fourrages comme cela a été vu plus haut, ils peuvent aussi être **source de bioagresseurs des herbages (20)**. Ces bioagresseurs sont les espèces que les espaces arborés favorisent dans leur déplacement (sanglier par exemple) ou dans leur maintien (plante envahissante par exemple) et qui peuvent provoquer la dégradation de la ressource en fourrage dans les parcelles contiguës.

3.2.3. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités culturales (fonctions 24 à 39)

Les espaces arborés sont parfois vus comme incompatibles avec les cultures. Ces espaces peuvent effectivement fournir des disservices. Des services aux cultures sont aussi susceptibles d'être apportés par les espaces arborés, certains modérant directement les disservices.

Les disservices contraignant les activités de production végétale

Les espaces arborés peuvent entrer en compétition avec les productions des parcelles adjacentes. Il peut s'agir d'une **compétition pour la lumière avec les cultures (24)**, les arbres faisant de l'ombre. Une **compétition pour l'eau et les éléments nutritifs du sol avec les cultures (26)** au niveau racinaire peut aussi avoir lieu entre la végétation des espaces arborés, notamment les arbres, et les plantes cultivées.

Les espaces arborés de type haie peuvent provoquer une **accentuation des températures extrêmes (gel, coup de chaleur) au centre des cultures (31)**. En effet, les haies peuvent ralentir le vent qui tamponne alors moins les amplitudes de températures. Cet effet, ne semble pas avoir lieu avec d'autres types d'espaces arborés, peut-être parce qu'ils ne ralentissent pas aussi efficacement le vent et/ou viennent tamponner d'autre manière (effet de masse) ces amplitudes.

Les espaces arborés peuvent aussi constituer une **source de bioagresseurs des cultures (35)**. Ces espaces peuvent en effet représenter un habitat servant de refuge ou à la réalisation d'une partie de leur cycle à des bioagresseurs (ravageurs, agents pathogènes et leurs vecteurs, adventices).

Les services soutenant les productions végétales et la conservation des sols cultivés

Les compétitions avec les cultures décrites plus haut peuvent être en partie contrées par certaines fonctions des espaces arborés. Ceux-ci peuvent en effet être **source de lumière par réflexion des rayons solaires pour les cultures (25)**, une partie de la lumière arrivant sur les bords de ces espaces étant renvoyée, augmentant ainsi la lumière sur les cultures contiguës. Les espaces arborés peuvent, d'une part, retenir de l'eau dans et à proximité du volume de sol occupé par les racines des arbres et, d'autre part, jouer le rôle d'ascenseur hydraulique avec les arbres qui puisent l'eau en profondeur et en rendent une partie disponible plus en surface (Saugier 2010). De plus, avec l'eau, les éléments nutritifs du sol sont aussi plus disponibles pour les cultures. Ces phénomènes se retrouvent dans la fonction **source d'eau et amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures (27)**.

Les espaces arborés peuvent aussi créer un microclimat favorable aux cultures. En limitant le vent, ils peuvent réduire l'évapotranspiration et constituer ainsi une **protection des cultures contre le dessèchement (28)**, et peuvent assurer une **protection des cultures contre les dégradations dues au vent (29)** (verse, réduction du développement foliaire, défoliation). Les espaces arborés peuvent aussi entrainer une **augmentation de la température au sol dans les cultures contiguës (30)**, améliorant la précocité et protégeant des gelées.

Des espèces de polinisateurs sont favorisées par les espaces arborés qui leur fournissent un habitat et/ou des ressources pour tout ou partie de leur cycle de vie. Ainsi, ces espaces peuvent être une **source de pollinisateurs des cultures (32)**.

Tout comme les espaces arborés peuvent être un réservoir d'espèces de bioagresseurs, ils peuvent aussi, au contraire, participer à la régulation de ces espèces. En effet, ils peuvent constituer une **source d'ennemis naturels de bioagresseurs des cultures (33)** capable de limiter les populations de bioagresseurs. Ils peuvent aussi former une barrière entrainant la **limitation de la propagation des bioagresseurs des cultures (34)**.

Les espaces arborés peuvent participer à la protection contre l'érosion des sols cultivés.

En limitant la vitesse du vent, ils peuvent contribuer à la **limitation de l'érosion éolienne (36)**. La **limitation de l'érosion hydrique (37)** est aussi permise. Les espaces arborés peuvent intercepter une part des précipitations avec leur partie aérienne et faciliter l'infiltration de l'eau dans le sol avec leur système racinaire. Ces deux phénomènes limitent dans les deux cas le ruissellement et la perte de sol.

En plus de limiter les pertes de sols cultivés, les espaces arborés peuvent participer à la préservation de la qualité de ces sols. Cela passe par la **limitation de la stagnation de l'eau (drainage) et l'abaissement du niveau de la nappe phréatique (38)**, que les espaces arborés peuvent favoriser grâce à leur système racinaire en particulier dans les situations d'hydromorphie. Les espaces arborés peuvent aussi contribuer à l'**amélioration de la fertilité des sols (39)** en apportant de la matière organique (feuilles et radicelles) et des minéraux puisés en profondeur.

3.2.4. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités de gestion et d'aménagement de ces espaces et leurs abords (fonctions 40 à 44)

Les disservices contraignant la gestion et l'aménagement de l'espace

Les espaces arborés sont des structures physiques pérennes et peuvent ainsi représenter un **obstacle aux activités et aménagements (40)** (mécanisation agricole, développement ou entretien des réseaux publics). Ils peuvent aussi constituer une **surface occupée excluant d'autres usages (41)**. Les végétaux composant les espaces arborés croissent et se reproduisent. Ainsi, les **moyens nécessaires pour retenir l'expansion des espaces arborés (42)** peuvent représenter un disservice (besoins en équipements, en temps, pécuniaires).
Ces disservices concernent la gestion et l'aménagement du territoire ou de portion du territoire (en particulier les espaces arborés). Ces activités sont larges et les acteurs impliqués très divers, mais aucune spécificité de ces trois disservices n'est clairement apparue selon ces activités ou acteurs. J'ai donc décidé de laisser ces disservices à ce niveau de généralité, c'est-à-dire sans les spécifier selon les activités concernées.

Les espaces arborés peuvent astreindre les propriétaires, les locataires ou les exploitants,

et plus généralement les décideurs et responsables de ces espaces, à des **obligations ou contraintes réglementaires (44)** (Diraison 2003). Là aussi, les activités et les acteurs concernés par ce disservice sont divers (par exemple, les agriculteurs et les surfaces d'intérêt écologiques arborées sur leurs parcelles qu'ils doivent préserver vis-à-vis de la Politique agricole commune, les habitants et les haies entourant leurs lieux d'habitation qu'ils doivent contenir vis-à-vis de leurs voisins, les propriétaires forestiers qui doivent respecter le code forestier pour effectuer un défrichement) et il est difficile de spécifier le disservice pour chacun d'eux. J'ai donc décidé de définir cette fonction pour couvrir tous les cas de ce type de contraintes et obligations qui s'appliquent aux décideurs ou responsables des espaces arborés.

Les services soutenant le maintien ou l'implantation d'espaces arborés

Les espaces arborés peuvent faire l'objet de **soutiens institutionnels (43)** (aides financières, subventions de la politique agricole commune (PAC), exonérations fiscales) aux bénéfices des décideurs ou responsables de ces espaces suite à leur implantation ou maintien. Malgré la diversité des activités et acteurs concernés, j'ai décidé de définir une seule fonction pour les mêmes raisons que celles invoquées pour le disservice "obligations ou contraintes réglementaires (44)". Ce disservice est, en quelque sorte, le pendant du service présenté ici.

3.2.5. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités de résidence (fonctions 45 à 52)

Les services soutenant la qualité du cadre de vie des acteurs du territoire

Les espaces arborés peuvent servir à la **démarcation d'espaces (propriétés, parcelles) (45)**. Par exemple, certains arbres isolés sont implantés aux angles de parcelles agricoles, des alignements d'arbres marquent la limite de propriétés, des haies servent de séparation ou d'espacement entre deux usages. Les espaces arborés peuvent être implantés pour la **constitution d'un brise-vue (46)** afin de soustraire un espace de vie à la vue depuis l'extérieur. Ils peuvent aussi limiter la propagation du son et ainsi constituer une **protection contre les nuisances sonores (47)**. La perception des bruits de route

depuis un lieu de vie peut être atténuée par exemple.

Les espaces arborés peuvent aussi améliorer le confort d'un espace de vie en contribuant à la création d'un microclimat bénéfique. Ils peuvent assurer une **protection des bâtiments et lieux de vie contre le vent et ses méfaits (48)** grâce à sa capacité à ralentir ou détourner le vent. Cette protection limite la gêne due au vent et son bruit, les dégradations sur les bâtiments ou équipements, les dépenses en chauffage. Les espaces arborés peuvent également améliorer le microclimat en offrant un **ombrage des bâtiments et lieux de vie (49)**. La protection contre le soleil et la limitation des amplitudes de température, en extérieur comme en intérieur, par exemple s'inscrivent dans cette fonction.

Les espaces arborés peuvent améliorer la qualité de l'air. C'est le cas avec l'épuration de l'air par **absorption et adsorption de polluants volatiles (50)** (microparticules, composés organiques volatiles, produits phytosanitaires). D'une part, les plantes de ces espaces peuvent fixer des polluants en absorbant l'air lors des processus physiologiques d'échanges gazeux. Elles peuvent, d'autre part, grâce aux espèces ligneuses notamment, constituer une barrière fixant des polluants volatils à la surface des organes végétaux. Les espaces arborés peuvent ainsi protéger contre les dérives de pulvérisation de produits phytosanitaires par exemple. Ils peuvent aussi améliorer la qualité de l'air par l'**émission d'éléments bénéfiques dans l'air (51)**. Ces espaces sont effectivement source d'humidité et de dioxygène contribuant au bien-être et à la santé.

Les disservices dégradant la qualité du cadre de vie des acteurs du territoire

Les espaces arborés peuvent aussi dégrader le confort des lieux de vie. L'**ombrage des bâtiments et lieux de vie (49)** a été décrit plus haut pour les bénéfices qu'il peut apporter. Mais cette fonction est à moduler avec les préjudices que peut occasionner un tel obstacle au soleil qui limite alors l'éclairement et la chaleur dans les lieux de vie.

Les espaces arborés peuvent être source d'**émission d'éléments néfastes dans l'air (52)**. Ils peuvent tout particulièrement libérer des pollens allergéniques.

3.2.6. Les fonctions des espaces arborés concernant l'attractivité du territoire et les activités récréatives (fonctions 53 à 59)

Les services soutenant la qualité du territoire

Les espaces arborés sont des éléments fixes et marquants des paysages. Ils participent souvent à la qualité esthétique des paysages. Ils reflètent aussi souvent les pratiques locales concernant la gestion et l'usage de ces espaces mais également celles des espaces alentours, notamment agricoles. Ils peuvent ainsi contribuer à la typicité des territoires. Ces deux aspects, esthétique paysagère et marque culturelle, sont souvent étroitement liés. Ils ont donc été associés dans la fonction **esthétique du paysage et marque culturelle (53)**.

Les espaces arborés peuvent servir à l'**intégration paysagère de bâtiments ou aménagements (54)**. Les bâtiments ou aménagements qui altèrent l'esthétique du paysage sont alors dissimulés ou rendus moins visibles en se fondant dans le paysage.

Les espaces arborés peuvent participer à l'**image de marque du territoire ou du lieu (56)** et être utilisés pour la promotion de produits et d'activités commerciales ou récréatives sur ou issus de ce territoire ou ce lieu. Le symbole et la représentation de ces espaces arborés peuvent servir au marketing de produits (par exemple des prés-vergers ou des alignements d'arbres de châteaux vinicoles représentés pour mettre en avant respectivement des produits normands ou des vins, l'agroforesterie mentionnée pour mettre en avant des pratiques de production). La présence d'espaces arborés dans un lieu peut aussi être mise en avant pour attirer le public (touristes, visiteurs, consommateurs) (par exemple les forêts ou le bocage pour promouvoir le tourisme rural, une parcelle complantée pour servir de vitrine sur un point de vente ou de restauration).

En plus de la fonction d'objets de communication décrite ci-dessus, les espaces arborés peuvent aussi être directement le support d'activités récréatives. Ces activités ont été séparées en trois groupes avec chacun un service : les espaces arborés peuvent être une **source de produits pour la cueillette récréative (57)** (produits issus des arbres ou non), un **lieu ou support d'activités cynégétiques récréatives (58)** (chasse de loisir) et un **lieu ou support d'activités de loisir, sportives, spirituelles (59)** (randonnée en forêt, accrobranche, méditation).

Les disservices dégradant la qualité du territoire

Nous avons vu que les espaces arborés peuvent contribuer à l'esthétique paysagère et à la typicité des territoires. Mais s'ils sont mal entretenus ou composé d'essences exotiques par exemple, ils peuvent participer à la dégradation de la qualité du paysage. Cet aspect est intégré en venant moduler, éventuellement négativement, la fonction **esthétique paysagère et marque culturelle (53)**.

Les espaces arborés peuvent constituer un obstacle visuel et ainsi entrainer l'**obstruction du champ de visibilité (55)**. Ce disservice est le pendant des services "intégration paysagère (54)" et "brise-vue (46)".

3.2.7. Les fonctions des espaces arborés concernant le fonctionnement écosystémique (fonctions 60 à 68)

Les services des espaces arborés contribuant à la préservation de la biodiversité

Les espaces arborés forment des habitats pour diverses espèces. Cette capacité à maintenir une biodiversité a été séparée en deux services selon le type d'espèces concernées (Larrieu, com. pers.). Ainsi, les espaces arborés peuvent être favorables, d'une part, au **maintien d'espèces forestières sciaphiles (60)** uniquement lorsque les conditions forestières sont constituées, et, d'autre part, au **maintien d'espèces généralistes ou forestières héliophiles (61)** lorsque les conditions sont forestières également ou moins typiques.

Les espaces arborés peuvent aussi servir de corridors écologiques en connectant différents habitats. Ils peuvent alors contribuer à l'**amélioration du déplacement et de la dissémination d'espèces forestières ou généralistes (62)** (Bergès *et al.* 2010).

À l'inverse, les espaces arborés peuvent constituer une barrière pour certaines espèces. Cela peut-être un service lorsque cela entraine la **limitation de l'expansion d'espèces invasives (63)** qui sont des espèces préjudiciables à l'équilibre des écosystèmes.

Les espaces arborés peuvent procurer des **ressources pour la vie du sol (67)**. Ils produisent de la matière organique disponible dans le sol (radicelles) ou en surface (feuilles), ils retiennent ou libèrent de l'eau et des éléments nutritifs.

Les espaces arborés sont des portions de paysage parmi les plus stables et tout particulièrement concernant leurs parties souterraines non ou très peu perturbées. Ils constituent ainsi souvent des habitats favorables au **maintien d'espèces terricoles (68)**. C'est notamment le cas des espèces symbiotiques qui se développent avec les systèmes racinaires persistants et qui participent grandement au fonctionnement des écosystèmes terricoles.

Les disservices des espaces arborés fragilisant la biodiversité

Nous avons vu que les espaces arborés sont des habitats favorables au maintien de certaines espèces. Mais ils constituent aussi des milieux défavorables pour les espèces non adaptées à ces espaces. Ils peuvent alors entrainer une **diminution d'espèces d'habitats asylvatiques (64)** en diminuant la surface de milieux ouverts. Et même sans occuper une très grande surface, ils peuvent simplement être une barrière et provoquer la **limitation du déplacement et de la dissémination d'espèces d'habitats asylvatiques (65)** (Bergès *et al.* 2010).
Les espaces arborés, en formant des corridors écologiques, peuvent occasionner l'**expansion d'espèces invasives (66)** ce qui participe à la dégradation de la biodiversité.

3.2.8. Les fonctions des espaces arborés concernant les cycles biogéochimiques et le fonctionnement climatique régional (fonctions 69 à 77)

Les services des espaces arborés contribuant aux cycles biogéochimiques

Les espaces arborés peuvent contribuer à l'**altération de la roche-mère (69)** par leur développement et leur fonctionnement racinaires et ainsi participer à la pédogénèse. De plus leurs racines peuvent stabiliser le sol et permettre la **limitation de l'érosion (70)**. Il s'agit ici de la limitation des processus d'ablation de sol tels que le sapement des berges de cours d'eau, l'affaissement de talus, l'éboulement de pentes escarpées, les glissements de terrain.

Avec leur système racinaire, les espaces arborés peuvent participer à l'**épuration de l'eau (71)**. Deux processus soutiennent cette épuration. D'une part, les végétaux, et

notamment les arbres avec leurs racines profondes, peuvent capter par absorption racinaire puis fixer ou dégrader des polluants présents en solution dans le sol. C'est particulièrement le cas des éléments nutritifs (composés azotés, phosphatés). D'autre part, en favorisant l'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol grâce aux racines, notamment des arbres, les espaces arborés facilitent la fixation ou la dégradation des polluants par des organismes vivants, des éléments minéraux ou la matière organique dans le sol.

Les espaces arborés peuvent aussi contribuer à la **régulation des flux hydrologiques (72)**. Le processus d'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol grâce aux racines contribue à ce service en plus du processus d'interception et de restitution différée par les parties aériennes d'une part des précipitations. Ces deux processus réduisent la vitesse d'écoulement de l'eau vers les cours d'eau, les débits des cours d'eau et les crues.

Pour leur croissance et leur développement, les végétaux des espaces arborés, et en particulier les ligneux, fixent du dioxyde de carbone. Ces espaces peuvent ainsi concourir à la **séquestration du carbone (73)**.

Les fonctions des espaces arborés influençant le climat régional

Les espaces arborés, lorsqu'ils forment un maillage dense ou couvrent de vastes surfaces, peuvent influencer plusieurs caractéristiques du climat régional. En effet, ils peuvent contribuer à une **augmentation de la température et réduction de ses amplitudes à l'échelle régionale (74)** qui s'explique par la diminution de l'albédo avec la présence des arbres, une **augmentation et stabilisation du taux d'humidité de l'air à l'échelle régionale (75)**, les arbres émettant de l'eau dans l'air par respiration et maintenant l'humidité par leur ombre notamment, une **réduction de la vitesse du vent à l'échelle régionale (76)**, les espaces arborés augmentant la rugosité du paysage, freinant ainsi le vent, et une **répartition hétérogène des précipitations à l'échelle régionale (77)**, les espaces arborés influençant les écoulements d'air et donc le déplacement des précipitations. Ces quatre fonctions sont les seules, parmi les 77, pour lesquelles il n'est pas précisé si elles sont des services ou des disservices. Cela s'explique notamment parce qu'aucune activité n'a pu y être explicitement reliée pour définir si ces fonctions apportent potentiellement des bénéfices ou potentiellement des préjudices.

3.3. Discussion : une identification et une catégorisation des fonctions des espaces arborés adaptées à l'objectif de la thèse

3.3.1. Une identification et une catégorisation qui prépare la construction du modèle Terafor

Un ensemble étoffé de fonctions identifiées

Pour construire le modèle Terafor, il était nécessaire de fixer la liste des fonctions à prendre en compte. Pour décider de la fin du processus d'identification des fonctions, notamment à partir de la littérature technique et de vulgarisation, j'ai cherché à déceler une saturation des informations. J'ai estimé qu'à un certain moment, malgré l'ajout et la diversification des sources (différents domaines techniques, différents organismes de développement), les informations supplémentaires ne constituaient que des apports mineurs et aucune nouvelle fonction. Tout comme l'absence de nouveaux thèmes au cours d'une étude documentaire établie la saturation (Pires 1997), l'identification d'aucune nouvelle fonction, à partir de la littérature technique et de vulgarisation, a marqué la finalisation de la listes des fonctions des espaces arborés pris en compte dans le modèle Terafor. En outre, le fait que les experts rencontrés ont approuvé l'inventaire proposé et n'ont ajouté que peu de fonctions, mais plutôt des précisions sur les fonctions déjà identifiées, a confortés le résultat de l'identification.

Toutefois, quelques fonctions sont apparues après cette phase d'identification. Il s'agit principalement de fonctions détectées en élargissant l'étude de la littérature scientifique aux zones urbaines. Certaines fonctions ciblées dans ces zones peuvent aussi concerner les lieux passants ou d'habitation en zones agricoles : la chute et l'accumulation de feuilles ou fruits (sur les trottoirs, sur les véhicules stationnés, dans les gouttières), le risque de chute de branche voire d'arbre dans des lieux passants ou de vie, le risque d'accident avec les arbres de bord de route, la dégradation de la chaussée par les racines des arbres riverains. Cela révèle la moindre prise en compte de certaines composantes des territoires agricoles ou plus largement ruraux, pouvant pourtant être concernées par la présence d'arbres. Ainsi, l'ensemble des fonctions intégré au modèle Terafor s'applique bien aux territoires agricoles mais devrait être complété s'il s'avérait intéressant de couvrir plus largement toutes les composantes des territoires ruraux.

Des fonctions identifiées tardivement et qui concernent plus directement les activités ou espaces agricoles pourraient aussi compléter les 77 fonctions. Il s'agit surtout de disservices : l'augmentation du risque de foudroiement des animaux d'élevage s'abritant au pied des arbres, la pollution de l'eau par certaines essences (par exemple certains résineux sécrétant des nitrates d'aluminium dans le sol), le risque d'éboulement rocheux dû à la pénétration des racines d'arbres, la colonisation des pâturages par certains végétaux depuis les espaces arborés (embroussaillement, accrus). La limitation des bioagresseurs des herbages par les espaces arborés, en servant de refuge pour les prédateurs du campagnol terrestre par exemple, est un service qui pourrait aussi être ajouté et qui serait le pendant du disservice "source de bioagresseurs des herbages (20)" pris en compte.

L'attention particulière portée sur les disservices fournis par les espaces arborés avait été volontairement ajoutée à la méthode d'identification. Malgré cette attention, nous pouvons remarquer que les manques repérés correspondent très majoritairement à des effets des arbres perçus négativement. Le recours à des ouvrages techniques et de vulgarisation sur les arbres agricoles et ruraux explique l'identification tardive des fonctions manquantes listées précédemment. En effet, ces ouvrages d'une part se focalisent largement sur les avantages des arbres, ne facilitant pas la détection des disservices, et, d'autre part, n'ont pas vocation à traiter les fonctions concernant principalement les zones urbaines.

À ma connaissance, le plus grand inventaire de fonctions des espaces arborés a été réalisé par Roy *et al.* (2012). Ces auteurs se sont concentrés sur les arbres de zones urbaines situées sur tous les continents et dans toutes les régions climatiques. Bien que le contexte soit très différent de celui auquel ma thèse s'applique (territoires agricoles tempérés), je m'y intéresse ici pour discuter le nombre de fonctions identifiées lors de mes travaux. La revue de littérature de ces auteurs a identifié 100 fonctions, réparties en bénéfices (37), services (33) et disservices (30). Toutefois, si l'on retient uniquement les fonctions réellement démontrées par les études prises en compte dans cette revue, leur nombre est de 74. D'autres travaux d'inventaire des fonctions des espaces arborés se sont consacrés à un contexte semblable à celui de ma thèse. Parmi eux, ceux de Garcia de Jalon *et al.* (2017) se sont focalisés sur les aspects positifs et négatifs de l'agroforesterie perçus par les acteurs concernés en Europe. Ces travaux ont identifié 45 aspects. Il s'agit, à ma

connaissance, du plus vaste inventaire de fonctions fournies par les arbres et systèmes agroforestiers.

Certaines fonctions présentes à la fois dans les inventaires cités ci-dessus et dans la liste des fonctions du modèle Terafor révèlent des différences de niveaux de détail. Par exemple, une dizaine de services et bénéfices concernant la qualité de l'air, détaillés dans la revue de Roy *et al.* (2012), sont rassemblés dans la seule fonction "absorption et adsorption de polluants volatiles (50)" du modèle Terafor. Au contraire, l'aspect santé et bien-être des animaux d'élevage abordé dans les travaux de Garcia de Jalon *et al.* (2017) a été détaillé en sept fonctions dans le modèle Terafor. Ces différences de détail restent toutefois peu marquées et permettent donc aisément le rapprochement entre l'ensemble des fonctions identifiées pour le modèle Terafor et les inventaires de ces autres travaux.

Comme nous l'avons vu précédemment, quelques ajouts de fonctions des espaces arborés pourraient compléter l'ensemble pris en compte dans le modèle Terafor. Toutefois, cet ensemble s'avère conséquent et relativement détaillé au regard des plus vastes inventaires (Roy *et al.* 2012 ; Garcia de Jalon *et al.* 2017).

La recherche d'informations dans les ouvrages scientifiques a aidé à affiner l'identification et la catégorisation des fonctions. Elle a servi à décider de la suppression ou de la fusion de fonctions s'avérant trop peu documentées pour prendre place à part entière dans le modèle Terafor. Par exemple, une fonction "production d'ions négatifs dans l'air" était initialement présente. Mais aucune étude n'a été trouvée pour démontrant cette production d'ions négatifs dans l'air par les arbres ou démontrant même d'éventuels bénéfices des ions négatifs dans l'air. Cette fonction a donc été supprimée. La littérature scientifique a aussi aidé à affiner certaines fonctions en précisant les éléments qui les sous-tendent. Ces précisions ont pu servir au fractionnement de certaines fonctions en infra-fonctions lorsque ces éléments consistaient en des structures ou processus biophysiques différents supportant une même fonction. Le fractionnement basé sur les structures et processus biophysiques est expliqué ultérieurement (partie 3.3.2, p. 99 et partie 4.1.3, p. 113).

Les fonctions n'ont pas toutes été confrontées à une étude approfondie de la littérature scientifique. Mais ce travail est en cours, en premier lieu pour étayer l'évaluation en vérifiant les paramètres, les valeurs et les pondérations des paramètres. Il est aussi utile

pour préciser le niveau de connaissance et d'incertitude ainsi que les références concernant chaque fonction. Toutes ces informations enrichiront la base de connaissances qui accompagne le modèle Terafor. Elles pourront ainsi être mobilisées pour adapter le modèle aux territoires et aux projets dans lesquels il sera employé et pour alimenter les discussions entre les acteurs concernés par les espaces arborés.

Comme nous venons de le voir, le travail d'identification n'est pas parfaitement exhaustif et peut continuer à s'enrichir d'une documentation plus approfondie de chacune des fonctions. Toutefois, il constitue une base étoffée sur laquelle a pu s'appuyer le modèle Terafor présenté dans la partie - 4 - (p. 109). De plus, les fonctions et informations supplémentaires pourront être aisément ajoutées au modèle comme nous le verrons ultérieurement (partie 5.1.2, p. 141).

Une catégorisation des fonctions selon les activités distinguant services et disservices

La majorité des travaux traitant les services écosystémiques comprennent uniquement ce qui aboutit à un bénéfice (Von Döhren et Haase 2015 ; Shackleton *et al.* 2016). Les disservices sont ainsi marginalement pris en compte. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette sous-considération des disservices. Certains auteurs considèrent que les disservices sont déjà pris en compte par ailleurs, voire plus pris en compte que les services (mesure de pertes économiques dues à certains processus écologiques, aménagements ou pratiques de contrôle d'écosystèmes pour en limiter les désagréments). Ainsi, le concept de services écosystémiques a justement pour but de pallier ce déséquilibre (Shapiro et Báldi 2014). D'autres soutiennent que ce concept sert à la conservation des écosystèmes et à la reconsidération positive des liens entre nature et société (Villa *et al.* 2014). De ces deux points de vue, considérer les disservices n'est pas pertinent car cela serait inutile et même contre-productif au regard des intentions de ces postures. Mais, comme nous l'avons vu précédemment (partie 3.1.1, p. 72), d'autres auteurs ont montré l'intérêt, au contraire, de prendre en compte ces disservices au même titre que les services pour parvenir à une meilleure gestion des écosystèmes (Lyytimäki 2015 ; Shackleton *et al.* 2016) et en particulier des systèmes agroforestiers (Ango *et al.* 2014).
Par ailleurs, certains travaux retiennent l'impossibilité de distinguer services et disservices

car un même élément fourni par un écosystème peut être bénéfique ou préjudiciable selon le contexte et l'acteur concerné (Saunders et Luck 2016 ; Puydarrieux et Beyou 2017). Les travaux de Garcia de Jalon *et al.* (2017) semblent également aller dans ce sens : des 45 aspects de l'agroforesterie identifiés, aucun ne recueille exclusivement des perceptions positives ou exclusivement des perceptions négatives de la part des 344 divers acteurs enquêtés. Parvenir à une telle distinction entre services et disservices implique donc de savoir *a priori* et sans ambigüité que les premiers engendreront des bénéfices et les seconds des préjudices. Or, le travail d'identification réalisé dans ma thèse s'est attaché à relier chaque fonction à une activité pour expliciter l'acteur et le contexte concernés. Chaque fonction étant reliée à une seule activité spécifiée, il a alors été possible de déterminer si leur effet est potentiellement positif (c'est-à-dire s'il s'agit potentiellement d'un service) ou potentiellement négatif (c'est-à-dire s'il s'agit potentiellement d'un disservice) dans le cadre de cette activité précisément.

La majorité des fonctions identifiées s'avèrent être potentiellement positives (52 fonctions, 68%) alors que 18 sont potentiellement négatives (23%). Toutefois, sept fonctions (9%) sont potentiellement ambivalentes. Cela concerne, d'une part, des fonctions prises en compte bien qu'aucune activité n'y soit précisément reliée. Il s'agit de fonctions écologiques dont on ne sait pas, tant qu'aucune activité concernée ne sera précisée, si elles engendreront potentiellement des services ou des disservices. Elles correspondent aux quatre fonctions influençant le climat régional (partie 3.2.8, p. 91). D'autre part, trois fonctions peuvent chacune engendrer aussi bien un service qu'un disservices selon les situations. Il s'agit de la protection contre la chaleur que les espaces arborés peuvent fournir aux animaux d'élevage (partie 3.2.2, p. 82), de l'ombrage que ces espaces peuvent produire dans un lieu de vie (partie 3.2.5, p. 87) et de l'esthétique paysagère de ces espaces (partie 3.2.6, p. 89).

La répartition entre services et disservices à laquelle je suis parvenu est proche de celle trouvée par Roy *et al.* (2012) dans divers contextes urbains (70% de services et bénéfices contre 30% de disservices) et de celle trouvée par Garcia de Jalon *et al.* (2017) pour l'agroforesterie en Europe (71% d'aspects majoritairement perçus positivement, 18% d'aspects majoritairement perçus négativement et 11% d'aspects perçus ni majoritairement positivement ni majoritairement négativement).

L'identification a déterminé dans la plupart des cas si les fonctions sont potentiellement

des services ou potentiellement des disservices. Le terme "potentiellement" a toute son importance, car pour que le service ou le disservice devienne effectif, i) des conditions doivent être observées pour qu'il puisse s'opérer et fournir effectivement un bénéfice ou un préjudice, et ii) il doit être identifié comme tel, et le bénéfice ou préjudice fourni perçu comme tel, par les acteurs compris dans l'activité à laquelle il est relié. Pour ne pas se limiter à des potentialités, le modèle Terafor, comme nous le verrons ultérieurement, propose une évaluation qui détermine si chaque fonction d'un espace arboré évalué est effective ou non selon les caractéristiques des espaces arborés (partie - 4 -, p. 109). Il vise aussi à composer un outil qui aidera les acteurs à discuter sur ces fonctions (partie 5.3, p. 148) et par là même à identifier celles qui les concernent.

Lors de l'identification des fonctions des espaces arborés, la dissociation de fonctions similaires a été effectuée afin de spécifier les différentes activités concernées et relier chacune des fonctions dissociées à une seule activité spécifique. C'est le cas par exemple de l'érosion hydrique qui, d'une part, pose problème en agriculture avec la perte de terre par exportation qu'elle provoque et que la fonction des espaces arborés "limitation de l'érosion hydrique (37)" peut contribuer à solutionner. D'autre part, elle concerne l'environnement naturel et de vie avec le risque d'ablation de sol et de dégradations voire de catastrophes naturelles (sapement de berge, éboulement, glissement de terrain) qui en découlent et que la fonction "limitation de l'érosion (70)" peut contribuer à réduire.
Cependant, j'ai parfois fait le choix de définir des activités très générales qui recouvrent des fonctions qui auraient pu être affinées et reliées à des activités plus détaillées. La fonction "obstacle aux activités et aménagements (40)" par exemple est reliée à l'activité très englobante d'utilisation et d'aménagement de l'espace. Cette activité englobante couvre en effet une diversité d'activités telles que l'agriculture (mécanisation), l'aménagement de réseaux collectifs (câbles, canalisations), la construction (bâtiments, voies de circulation). Si besoin, comme nous le verrons ultérieurement (partie 5.1.2, p. 141), la dissociation de fonctions pour distinguer des activités différentes pourra être aisément réalisée par les utilisateurs du modèle Terafor pour correspondre aux situations auxquelles le modèle sera appliqué.

3.3.2. Les fonctions des espaces arborés repositionnées selon les structures et processus biophysiques en amont

Nous avons vu que les 77 fonctions des espaces arborés identifiées peuvent s'insérer dans la "cascade" des services écosystémiques (partie 3.1.1, p. 72). Le modèle Terafor prend en compte ces fonctions en se focalisant sur l'aval de la cascade. En effet, son objectif est de fournir des connaissances sur ce que peuvent apporter les espaces arborés aux acteurs concernés, c'est-à-dire sur les bénéfices ou préjudices auxquels peuvent s'attendre ces acteurs.

Cependant, j'ai estimé intéressant d'examiner ces fonctions en se portant aussi sur l'amont, c'est-à-dire au regard des structures et processus biophysiques qui les sous-tendent. J'ai donc cherché à les classer en fonctions de plusieurs catégories de structures et processus biophysiques que j'ai spécialement définies sur la base des fonctions des espaces arborés identifiées dans le cadre de mes travaux. Ainsi, 3 catégories et 10 sous-catégories (3 ou 4 par catégorie) sont ressorties et couvrent les 77 fonctions inventoriées (Tableau 5, page suivante, et Annexe 2).

Les espaces arborés forment des structures physiques conséquentes, notamment avec les ligneux qui les composent. Cette caractéristique constitue la première catégorie et concerne plus de la moitié des fonctions identifiées. Elle se décline en 4 sous-catégories. Les structures que forment les espaces arborés sont des éléments fixes et persistants dans le paysage (première sous-catégorie). C'est le cas de la fonction "délimitation d'espaces (propriétés, parcelles) (45)" par exemple. Ces structures peuvent représenter un filtre, voire un obstacle, dans l'espace aérien (deuxième sous-catégorie) et dans l'espace souterrain ou en surface (troisième sous-catégorie) comme cela apparait dans les fonctions "constitution de clôtures (21)" ou "régulation des flux hydrologiques (72)". Elles sont aussi capables d'émettre des rayonnements qu'elles ont captés (chaleur) ou qu'elles réfléchissent (lumière, rayons infra-rouges) (quatrième sous-catégorie). Cela intervient par exemple dans la fonction "augmentation de la température au sol dans les cultures contiguës (30)".

Les espaces arborés sont composés de végétaux. Cette caractéristique constitue la deuxième catégorie et concerne 25 fonctions. Elle se décline en 3 sous-catégories. Les espaces arborés, avec leurs végétaux qui croissent et se développent, sont des producteurs de biomasse et ont tendance à coloniser l'espace (première sous-catégorie).

Cela intervient dans la fonction "production de bois d'œuvre (1)" par exemple. Pour leur croissance et leur développement, ces végétaux absorbent (deuxième sous-catégorie) et excrètent (troisième sous-catégorie) des éléments dans l'air ou dans le sol. C'est le cas pour les fonctions "compétition pour l'eau et les éléments nutritifs du sol avec les cultures (26)" et "composition de l'air en éléments bénéfiques (51)".

Tableau 5 : Les catégories et sous-catégories de structures et processus biophysiques utilisées pour proposer une classification des fonctions des espaces arborés inventoriées et leurs effectifs de fonctions

Certaines fonctions (22) font intervenir plusieurs structures et processus biophysiques appartenant à des sous-catégories différentes. Il s'agit des fonctions composites. Parmi ces fonctions composites, six impliquent plusieurs structures et processus biophysiques appartenant à la même catégorie. Il s'agit des fonctions composites répétées au sein d'une même catégorie et qui expliquent que l'effectif d'une catégorie ne corresponde pas toujours à la somme des effectifs de ses sous-catégories.

Catégorie de structures et processus biophysiques	**Sous-catégorie de structures et processus biophysiques**	**Nombre de fonctions différentes**	**Nombre de fonctions composites différentes**	**Nombre de fonctions composites répétées**
1. Structure physique	1.1. Structure fixe	10	4	/
	1.2. Filtre physique aérien	23	9	/
	1.3. Filtre physique superficiel et souterrain	7	5	/
	1.4. Émetteur de rayonnements	4	1	/
		40	15	4
2. Végétal (ou communauté végétale)	2.1. Producteur primaire (biomasse, expansion)	17	7	/
	2.2. Absorbeur	3	2	/
	2.3. Excréteur	7	4	/
		25	11	2
3. Écosystème	3.1. Habitat écologique	16	9	/
	3.2. Réservoir ou corridor écologique	8	0	/
	3.3. Filtre écologique	5	4	/
		29	13	0
Toutes catégories confondues		77	22	22

Les espaces arborés forment des écosystèmes. Cette caractéristique constitue la troisième catégorie et concernent 29 fonctions. Elle se décline en 3 sous-catégories. Ces

écosystèmes peuvent constituer des habitats assurant la réalisation de tout ou partie du cycle de vie de certaines espèces (première sous-catégorie), comme cela apparait dans la fonction "support d'activités cynégétiques récréatives (58)". Les écosystèmes que forment les espaces arborés peuvent aussi être des réservoirs ou des corridors écologiques desquels ou par lesquels certaines espèces peuvent se propager (deuxième sous-catégorie). C'est le cas pour la fonction "réservoir d'espèces de bioagresseurs des cultures (35)". Au contraire, ces écosystèmes peuvent être des milieux défavorables à certaines espèces et constituer des filtres écologiques (troisième sous-catégorie). Cela intervient par exemple dans la fonction "limitation de l'expansion d'espèces invasives (63)".

Sur les 77 fonctions, 22 sont composites (Tableau 5, page précédente), c'est-à-dire que plusieurs structures ou processus biophysiques, appartenant à des catégories ou sous-catégories différentes, les sous-tendent. Parmi elles, six impliquent plusieurs structures ou processus biophysiques appartenant à la même catégorie.

Cette typologie a été construite pour aider à définir les paramètres et les éventuelles infra-fonctions nécessaires à l'évaluation de chaque fonction dans le modèle Terafor, comme nous le verrons ultérieurement (partie 4.1.3, p. 113).

3.3.3. D'autres regards possibles sur les fonctions des espaces arborés

Pour considérer et décrire les services écosystémiques, plusieurs manières de les catégoriser existent. Je me suis intéressé à deux d'entre elles pour porter des regards différents sur les fonctions des espaces arborés identifiées lors de mes travaux.

La classification du MEA

Le M*illennium ecosystem assessment* (*MEA*) propose un cadre d'analyse des services écosystémiques pour évaluer les conséquences sur la vie et le bien-être humains de changements affectant les écosystèmes et leurs services qu'ils fournissent (MEA 2005). Il a servi à comprendre les changements écosystémiques passés, à scénariser ceux à venir et à proposer des actions à entreprendre pour maîtriser ces changements et garantir la vie et le bien-être humains partout sur Terre. Ce cadre repose sur une catégorisation des

services écosystémiques en 4 groupes qui rendent compte de différents types d'apports des écosystèmes.

Un premier groupe correspond aux services de provision. Ces services sont les produits des écosystèmes qui peuvent être prélevés pour les besoins des activités humaines : nourriture, eau, fibres et matériaux, pharmacopée par exemple. Les fonctions des espaces arborés identifiées dans le cadre de mes travaux et qui se rattachent à ce groupe se retrouvent principalement dans la catégorie des services d'approvisionnement en produits ligneux (bois d'œuvre, de service, copeaux, buche) et non ligneux (fruits, feuilles, champignons, plantes médicinales) reliés aux activités forestières et agroforestières (partie 3.2.1, p. 80).

Un deuxième groupe correspond aux services de régulation. Ces services maintiennent ou rétablissent les conditions favorables à la vie et au bien-être humains. Il s'agit par exemple de la régulation du climat, des maladies, de la qualité de l'eau. Dans le modèle Terafor, les fonctions se rapportant à ce groupe concernent principalement les activités agricoles (protection des troupeaux et des cultures contre des désagréments météorologiques et climatiques, limitation des maladies des plantes cultivées et des animaux d'élevage, limitation de l'érosion des sols agricoles et de l'hydromorphie) (partie 3.2.2, p. 82 et partie 3.2.3, p. 84), les activités de résidence (protection contre les nuisances sonores et des désagréments météorologiques et climatiques dans les lieux de vie, amélioration de la qualité de l'air) (partie 3.2.5, p. 87) et les cycles biogéochimiques et le climat régional (limitation de l'érosion, régulation de la qualité et des flux d'eau, séquestration du carbone, régulation du climat régional) (partie 3.2.8, p. 91).

Un troisième groupe correspond aux services culturels. Tous les services écosystémiques apportant des bénéfices récréatifs, esthétiques, spirituels sont compris dans ce groupe. Les fonctions des espaces arborés se rapportant à ce groupe concernent principalement les activités de résidence (délimitation et protection de lieux de vie) (partie 3.2.5, p. 87) ainsi que l'attractivité des territoires et les activités récréatives (qualité esthétique des paysages et marque culturelle, support d'activités récréatives, spirituelles) (partie 3.2.6, p. 89).

Enfin, un quatrième groupe correspond aux services de support. Ces services viennent en appui aux services des trois précédents groupes et ne représentent donc pas des apports directs aux activités humaines. Ce sont par exemple la formation des sols, les cycles des

éléments nutritifs, la pollinisation. Bien qu'il ne s'agisse pas d'apports directs aux activités humaines, certains de ces services peuvent toutefois être reliés à des activités spécifiques. Le service de pollinisation, par exemple, est largement utile à l'agriculture a été relié à l'activité de production végétale dans le modèle Terafor. Les fonctions de ce modèle se rapportant au groupe des services de support concernent principalement les activités agricoles (source de plantes d'intérêt pour les animaux d'élevage et les abeilles domestiques, constitution de clôtures, fertilités des sols et disponibilité des éléments nutritifs, pollinisation) (partie 3.2.2, p. 82 et partie 3.2.3, p. 84) et le fonctionnement des écosystèmes (maintien et dissémination d'espèces, ressources pour la vie du sol) (partie 3.2.7, p. 90).

Le MEA s'est concentré sur les services et ne tient pas directement compte des disservices. Il considère en fait que si les écosystèmes ne régulent plus, voire fournissent, certains disservices, c'est parce qu'ils ont subi des changements. Il convient alors de maîtriser ces changements afin de favoriser ou retrouver des services, tout particulièrement de régulation, et limiter, indirectement, les disservices et leurs conséquences néfastes. Les fonctions des espaces arborés identifiées lors de mes travaux et qui correspondent à des disservices n'ont donc pas été prises en compte dans cette catégorisation du MEA.

Toutes les fonctions des espaces arborés identifiées et correspondant à des services (y compris les sept fonctions ambivalentes) ont pu être classées au regard des quatre groupes de services du MEA (2005). Les services de régulation (25 services) et de support (18 services) sont plus représentés que les services culturels (9 services) ou de provision (7 services) (Annexe 3). Toutefois, certaines fonctions peuvent se rapporter à plusieurs groupes. C'est le cas par exemple des fonctions "source de plantes d'intérêt sanitaire (15), de fourrage ou de litière (18 et 19)" que j'ai considérées comme des services de support à l'activité d'élevage et qui pourraient aussi être considérées comme des services de provision de produits utiles à cette activité.

La classification basée sur les caractéristiques spatiales des services écosystémiques

Pour renseigner sur la spécialisation des effets des écosystèmes, Costanza (2008) a proposé une classification basée sur les caractéristiques spatiales des services écosystémiques. Cette classification a été utilisée dans le projet smallFOREST pour catégoriser les services écosystémiques issus des petites forêts dans les territoires agricoles (Decocq *et al.* 2016). L'objet d'étude et son contexte étant proches de ceux de mes travaux, je me suis intéressé à étudier l'applicabilité de cette classification aux fonctions des espaces arborés identifiées dans le cadre de ma thèse. La classification distingue 5 groupes d'effets des écosystèmes selon la localisation ou l'échelle auxquelles ils se produisent. Elle peut s'appliquer aux services ainsi qu'aux disservices écosystémiques, c'est-à-dire à toutes fonctions des écosystèmes.

Un premier groupe correspond aux fonctions *in situ* dont l'effet se produit au sein même des petites forêts. La production de bois ou de nourriture, le maintien d'une biodiversité inhérente, le maintien de bioagresseurs sont des services ou disservices que peuvent fournir les petites forêts et qui appartiennent à ce groupe. Les fonctions des espaces arborés identifiées pour le modèle Terafor qui se rattachent à ce groupe concernent principalement les activités forestières et agroforestières (fourniture de produits ligneux et non ligneux, maintien de bioagresseurs des productions forestières et agroforestières, moyens nécessaires à ces productions) (partie 3.2.1, p. 80), les activités d'élevage et apicoles (ressources d'intérêts alimentaires, sanitaires pour les animaux d'élevage et les abeilles domestiques, constitution de clôtures) (partie 3.2.2, p. 82), les activités de gestion et d'aménagement de l'espace (exclusion de certains usages sur l'espace arboré, moyens nécessaires pour limiter l'expansion, obligation ou contraintes réglementaires) (partie 3.2.4, p. 86) et le fonctionnement des écosystèmes (maintien d'espèces, ressources pour la vie du sol) (partie 3.2.7, p. 90).

Un deuxième groupe correspond aux fonctions locales-proximales dont l'effet se déploie à proximité des petites forêts, en plus d'un effet *in situ* possible. Ce groupe couvre par exemple la régulation de perturbations, le contrôle biologique ou, au contraire, la propagation de bioagresseurs, la pollinisation. Dans le cadre de mes travaux, les fonctions des espaces arborés se rapportant à ce groupe concernent principalement les activités agricoles (protection des troupeaux et des cultures contre des désagréments

météorologiques et climatiques, compétition avec les cultures, source ou, au contraire, limitation de bioagresseurs des cultures et des animaux d'élevage, fertilité des sols) (partie 3.2.2, p. 82 et partie 3.2.3, p. 84) et les activités de résidence (délimitation et protection de lieux de vie, protection contre les nuisances sonores et des désagréments météorologiques et climatiques dans les lieux de vie, amélioration ou, au contraire, dégradation de la qualité de l'air) (partie 3.2.5, p. 87).

Un troisième groupe correspond aux fonctions dont les effets interviennent sur des flux traversant des petites forêts. La régulation hydrologique, l'approvisionnement en eau potable, le contrôle de l'érosion sont des exemples de services de ce groupe. Parmi les fonctions du modèle Terafor, celles à rattacher à ce groupe concernent principalement les activités agricoles (limitation de l'érosion hydrique et éolienne) (partie 3.2.3, p. 84), le fonctionnement des écosystèmes (amélioration ou, au contraire, limitation du déplacement ou de la dissémination d'espèces) (partie 3.2.7, p. 90) et les cycles biogéochimiques (limitation de l'érosion, régulation de la qualité et des flux d'eau) (partie 3.2.8, p. 91).

Un quatrième groupe correspond aux fonctions globales dont l'effet porte sur une large échelle spatiale et est indépendant de la localisation des petites forêts. Par exemple, le stockage du carbone et la régulation du climat auxquels peuvent contribuer les petites forêts appartiennent à ce groupe. Dans le cadre de mes travaux, seules des fonctions concernant les cycles biogéochimiques et le fonctionnement climatique régional se rapportent à ce groupe (séquestration du carbone, influences sur des conditions climatiques régionales) (partie 3.2.8, p. 91).

Enfin, un cinquième groupe correspond aux fonctions dont l'effet produit une attractivité amenant des personnes vers des petites forêts. Les activités récréatives, l'esthétique, la construction d'une identité locale sont des services de ce groupe que les petites forêts peuvent fournir. Dans le modèle Terafor, toutes les fonctions se rapportant à ce groupe concernent les activités récréatives et l'attractivité du territoire (qualité esthétique des paysages et marque culturelle, support d'activités récréatives, spirituelles) (partie 3.2.6, p. 89).

Toutes les fonctions des espaces arborés identifiées dans le cadre de mes travaux de thèse ont pu être classées au regard des 5 groupes utilisés par Decocq *et al.* (2016). Les fonctions *in situ* (25 fonctions) et locales-proximales (31 fonctions) sont plus représentées que les

fonctions relatives à des flux (9 fonctions), globales (5 fonctions) ou relatives à l'attractivité (7 fonctions) (Annexe 3). Contrairement à la classification du MEA avec laquelle le classement de certaines fonctions sont discutables, la classification selon les caractéristiques spatiales des fonctions apparait plus évidente. Les informations sur la spatialité des fonctions et de leurs effets ne sont pas explicitement apportées dans le modèle Terafor. Elles paraissent pourtant primordiales pour la construction de projets partagés de territoire, la finalité de ma thèse, puisque la spatialité des fonctions et de leurs effets déterminera l'aménagement de l'espace et les choix d'implantation et de gestion des espaces arborés qui fourniront ces fonctions.

Nous venons de voir que les fonctions des espaces arborés peuvent être catégorisées sur la base de référentiels différents. J'ai défini celui utilisé pour ma thèse en me focalisant sur les activités auxquelles les fonctions sont reliées. Ainsi, le travail d'identification et de catégorisation des fonctions des espaces arborés a été mené spécifiquement pour répondre à la finalité que je vise : aider les acteurs concernés à discuter de leurs différentes attentes et perceptions des espaces arborés et à définir des pratiques répondant à ces attentes pour construire des projets partagés de territoire intégrant ces espaces. Le regard porté sur les fonctions des espaces arborés dans le cadre de ma thèse s'attache donc à relier celles-ci prioritairement aux activités humaines. Cela m'a guidé pour arbitrer la catégorisation de certaines fonctions. J'ai par exemple placé les fonctions ayant trait aux pollutions de l'air et sonores dans la catégorie des fonctions reliées aux activités de résidence. Pourtant, ces fonctions concernent vraisemblablement d'autres espèces, notamment animales, et pourraient alors avoir leur place dans la catégorie des fonctions reliées au fonctionnement des écosystèmes ou celle des fonctions reliées aux activités d'élevage.

La modélisation et l'évaluation multicritère qualitative de l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles font ressortir les activités influencées par ces fonctions. Cette modélisation et le modèle Terafor qui en résulte sont décrits dans la partie suivante.

- 4 -
Le modèle Terafor pour évaluer l'ensemble des fonctions des espaces arborés avec DEXi



L'identification des fonctions des espaces arborés présentée précédemment (partie - 3 -, p. 71) a listé 77 fonctions. Il s'agit maintenant de proposer un moyen d'évaluer l'ensemble de ces fonctions. Cette évaluation a pour objectif d'apporter de manière homogène des informations sur les fonctions de chaque espace arboré étudié en vue d'aider les acteurs à discuter sur ce que cet espace arboré peut leur apporter. C'est pour répondre à cet objectif que le modèle Terafor a été construit.

Pour implémenter le modèle Terafor, j'ai choisi d'utiliser le logiciel DEXi (partie 2.2.2, p. 56). L'implémentation a nécessité :

- i) de structurer les fonctions pour regrouper les fonctions en supra-fonctions selon les activités concernées,
- ii) choisir les paramètres pour évaluer chaque fonction,
- iii) définir les valeurs que peuvent prendre les paramètres, les fonctions et les supra-fonctions,
- iv) définir les règles d'agrégation des informations à tous les niveaux de la structuration pour évaluer l'ensemble des fonctions d'un espace arboré.

Évaluer l'ensemble des fonctions signifie que le modèle Terafor a été construit pour apporter une évaluation pour chaque fonction mais également pour chaque supra-

fonction (activité, domaine d'activités).

Dans un premier temps, cette partie décrit la construction du modèle Terafor en pointant les exigences et contraintes de DEXi et développe chacune des tâches de l'implémentation énoncées ci-dessus. Comme les fonctions et leur évaluation dépendent grandement du type d'espaces arborés considéré, une typologie des espaces arborés a été conçue pour en tenir compte. Elle est aussi expliquée dans ce premier temps car elle a engendré une implémentation différente du modèle selon trois types d'espaces arborés : ponctuel, linéaire et surfacique. Cette partie présente ensuite le modèle Terafor en détaillant et illustrant ses composantes. Enfin, elle propose une discussion concernant le comportement de ce modèle et son utilisabilité comme base d'un outil d'aide à la discussion.

4.1. Matériel et méthode : l'implémentation du modèle Terafor dans DEXi

4.1.1. Les principales exigences de DEXi structurant le modèle Terafor

Les principes de fonctionnement de DEXi (partie 2.3, p. 62) imposent des contraintes techniques qui ont été prises en compte lors de la construction du modèle Terafor. Ces principes sont rappelés et les différentes contraintes engendrées sont présentées ci-dessous. Elles seront reprises dans les parties suivantes décrivant la construction du modèle.

DEXi repose sur une méthode d'analyse multicritère qui modélise un système en le décomposant en sous-système (critères) plus simple à étudier. L'analyse multicritère consiste à évaluer chacun des critères du modèle. Deux types de critères se différencient selon leur mode d'évaluation : d'une part, les critères de base, dont les valeurs sont directement renseignées par l'utilisateur, et, d'autre part, les critères composés, dont les valeurs sont déterminées automatiquement à partir de règles expertes préalablement définies. Les règles expertes servant à évaluer un critère composé sont de la forme "si… alors…" et consistent en l'agrégation d'autres critères de base ou composés qui déterminent la valeur de ce critère composé ("alors…") selon celles de ces autres critères ("si…"). Une règle doit être préalablement définie pour chacune des combinaisons de

valeurs de chaque critère composant le critère composé. Le nombre de règles nécessaires à l'évaluation d'un critère composé correspond au produit des nombres de valeurs de tous les critères composants. Par exemple, une agrégation de quatre critères pouvant prendre trois valeurs chacun, aboutie à 3 x 3 x 3 x 3 = 81 règles à définir pour évaluer le critère composé ayant conduit à cette agrégation. L'ajout, dans cette agrégation, soit d'une quatrième valeur à chacun des quatre critères, soit d'un cinquième critère aussi à trois valeurs augmenteraient considérablement le nombre de règles à définir (respectivement 256 et 243 règles). Pour éviter de telles explosions combinatoires rendant l'évaluation difficile à la fois à définir par les concepteurs du modèle et à comprendre par ses utilisateurs, il est préférable de limiter le nombre de critères par agrégation et le nombre de valeurs par critère afin de ne pas dépasser cent règles pour l'évaluation d'un critère composé (Bohanec 2015 ; Craheix *et al.* 2015). Pour le modèle Terafor, j'ai ainsi fixé les limites maximales de quatre critères par agrégation et de trois valeurs par critère.

L'évaluation des critères effectuée dans DEXi est uniquement qualitative. Les valeurs qu'ils peuvent prendre sont soit qualificatives, dans ce cas elles prennent la forme de mots ou de symboles, soit semi-quantitatives, dans ce cas elles prennent la forme d'intervalles limités par des valeurs seuil numériques. De plus, dans DEXi, les gammes de valeurs des critères peuvent être ordonnées. Lorsqu'elles le sont, des fonctionnalités, décrites ultérieurement (partie 4.1.4, p. 116), sont accessibles et facilitent la définition et la compréhension des règles d'agrégation. J'ai donc systématiquement opté pour la définition de gammes ordonnées de valeurs.

L'organisation des critères d'un modèle dans DEXi est obligatoirement hiérarchique. L'analyse débute au premier niveau par l'évaluation des critères de base avec le renseignement de leurs valeurs par l'utilisateur. L'analyse des autres critères se poursuit ensuite automatiquement de niveau en niveau à partir des critères de base renseignés et des règles d'agrégations préalablement définies. Dans le modèle Terafor, ces niveaux correspondent à différentes catégories de critères (Tableau 6, page suivante). Ces catégories de critères et les étapes de la construction du modèle qui s'y rapportent sont décrites dans les trois parties suivantes.

Tableau 6 : Les différentes catégories de critères (ou différents niveaux) du modèle Terafor, classées dans le sens de l'analyse, et les trois étapes de l'implémentation du modèle dans DEXi s'y rapportant

<table>
<tr><th colspan="3">Catégories de critères
du modèle Terafor</th><th>Sens de
l'analyse</th><th>Étape de l'implémentation
du modèle Terafor</th></tr>
<tr><td>Critères
de base</td><td colspan="2">Paramètres</td><td rowspan="5">↓</td><td>2) Le choix des paramètres et la définition de leurs valeurs
(partie 4.1.3, p. 113)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Critères
composés</td><td colspan="2">infra-fonctions</td><td rowspan="2">1) La structuration des fonctions des espaces arborés
(partie 4.1.2, p. 112)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fonctions</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Supra-
fonctions</td><td>infra-activités</td><td rowspan="3">3) La définition des valeurs des critères composés et des règles d'agrégations
(partie 4.1.4, p. 116)</td></tr>
<tr><td>Activités</td></tr>
<tr><td>Domaines
d'activités</td></tr>
</table>

4.1.2. Structurer les fonctions des espaces arborés pour expliciter les activités qu'elles influencent

La première étape de l'implémentation du modèle Terafor dans DEXi a consisté à structurer les fonctions des espaces arborés afin de faire ressortir les activités auxquelles ces fonctions sont reliées. Cette organisation vise à classer les informations sur les fonctions de manière à ce qu'elles soient facilement mobilisables par les acteurs concernés. Cette première étape s'inscrit dans la continuité du travail de catégorisation réalisé lors de l'identification des fonctions des espaces arborés (partie - 3 -, p. 71).

L'organisation des fonctions des espaces arborés a été guidée par les contrainte de la structuration hiérarchique des critères du modèle et de la limite maximale de quatre critères par agrégation (partie 4.1.1, p. 110). Pour respecter ces deux contraintes, plusieurs niveaux de regroupement des fonctions ont été définis. Ces niveaux forment différentes catégories de supra-fonctions. Deux premières catégories ont été définies délibérément pour faire ressortir les activités auxquelles les fonctions sont reliées : la catégorie des activités, qui regroupent chacune plusieurs fonctions, et celle des domaines d'activités, qui regroupent chacun plusieurs activités. Si le nombre d'activités à regrouper au sein d'un même domaine d'activités n'a jamais été supérieur à quatre, celui des fonctions à regrouper au sein d'une même activité dépassaient souvent cette limite du nombre de critères par agrégation. J'ai donc défini une troisième catégorie de supra-fonctions, intermédiaire entre les fonctions et les activités, que j'ai nommées infra-

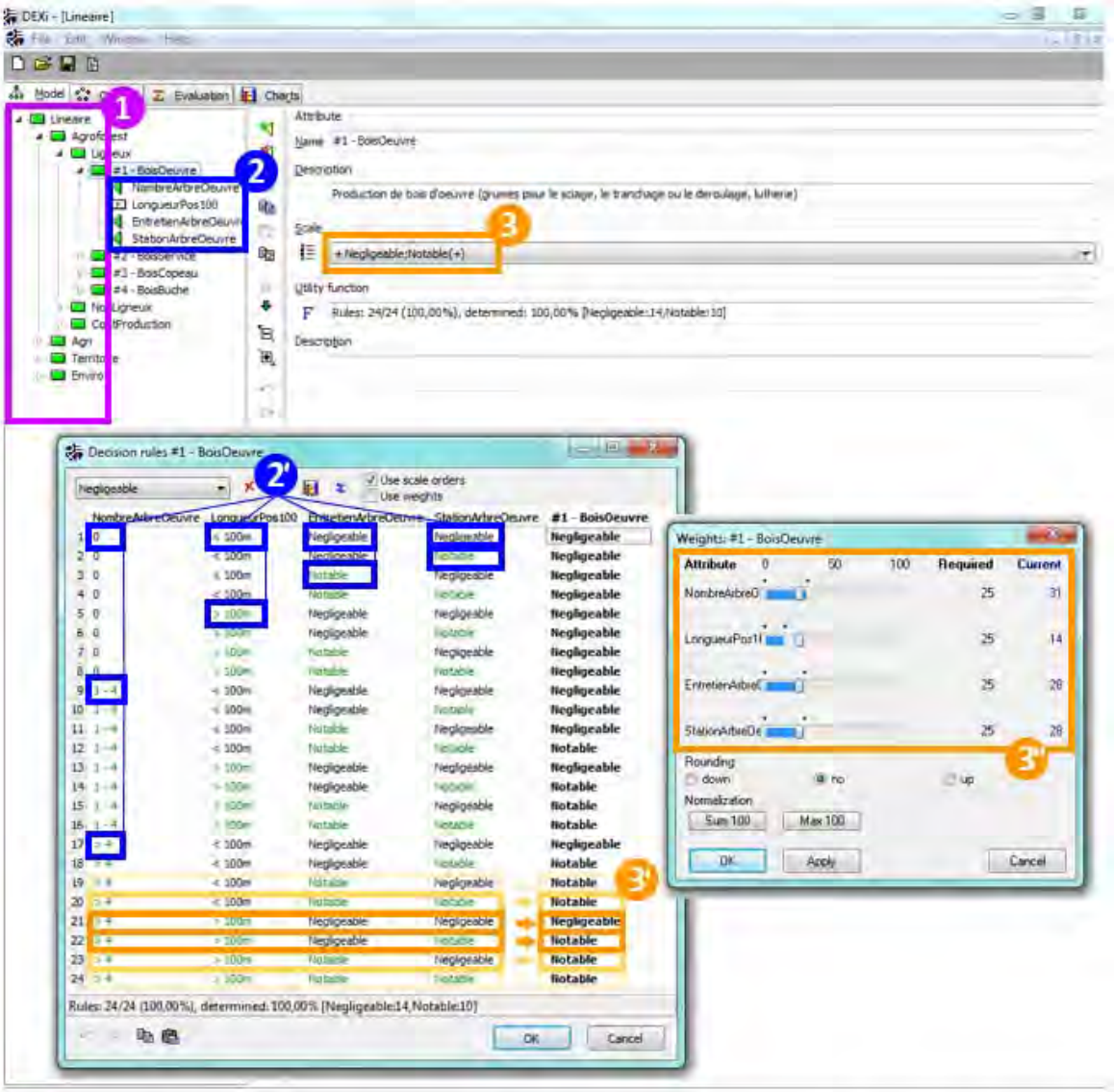
activités. Les infra-activités sont agrégées au sein d'activités en apportant avec elles un plus grand nombre de fonctions par activité.

Une fois la structuration hiérarchique des fonctions et supra-fonctions des espaces arborés définie, son enregistrement dans DEXi a été effectué (Figure 10, page suivante, point 1). Cette structuration hiérarchique est présentée ultérieurement (partie 4.2.1, p. 120).

4.1.3. Choisir les paramètres et définir leurs valeurs pour évaluer les fonctions des espaces arborés

L'évaluation des fonctions d'un espace arboré dans le modèle Terafor repose sur des paramètres caractérisant cet espace. Le choix des paramètres nécessaires à l'évaluation de chaque fonction et la définition des valeurs de ces paramètres constituent la deuxième étape de l'implémentation du modèle dans DEXi.

Lors de l'identification des fonctions des espaces arborés, les caractéristiques qui conditionnent chacune de ces fonctions ont été enregistrées dans une base de connaissances (partie 3.1.5, p. 77). Ces caractéristiques ont servi à définir les paramètres qui correspondent aux critères de base de l'évaluation dans le modèle Terafor. La limite maximale de quatre critères par agrégation (partie 4.1.1, p. 110) a restreint le nombre de paramètres agrégés pour l'évaluation de chaque fonction. Elle a donc obligé à choisir les quatre caractéristiques les plus influentes pour chacune des fonctions. Le choix pour chaque fonction s'est appuyé sur le poids des caractéristiques que j'ai estimé en me basant autant que possible sur la littérature consultée. La limite maximale de quatre paramètres a toutefois été trop restrictive pour certaines fonctions. Cela était notamment le cas lorsque des structures ou processus biophysiques différents sous-tendent une même fonction (partie 3.3.2, p. 99), et qu'ils impliquaient de prendre chacun en compte plusieurs paramètres. Des infra-fonctions ont alors été définies et constituent un niveau intermédiaire entre les paramètres et les fonctions. Elles représentent des composantes distinctes d'une même fonction, telles que des structures ou processus biophysiques différents, et agrègent des paramètres pour les évaluer. Elles sont à leur tour agrégées au sein de fonctions en apportant avec elles un plus grand nombre de paramètres par fonction.



1 Structuration hiérarchique des fonctions et supra-fonctions. Sur la figure, cette structuration est déroulée pour faire apparaître la fonction "production de bois d'œuvre".

2 Paramètres nécessaires à l'évaluation de chaque fonction. Sur la figure, ces paramètres sont affichés pour la fonction "production de bois d'œuvre".

2' Valeurs possibles des paramètres. Sur la figure, les valeurs sont mises en évidence pour chaque paramètre de la fonction "production de bois d'œuvre". Les valeurs en noir ("0", "<100", "Négligeable") traduisent un effet neutre et les valeurs en vert ("1-4", ">4", ">100", "Notable") traduisent un effet positif sur la fonction "production de bois d'œuvre".

3 Valeurs possibles de chaque fonction et supra-fonction. Sur la figure, ces valeurs sont mises en évidence pour la fonction "production de bois d'œuvre". Pour une échelle croissante "+", la valeur "Négligeable" traduit un effet neutre et la valeur "Notable" traduit un effet positif "(+)".

3' Règles d'agrégation des critères composants pour l'évaluation d'un critère composé. Sur la figure, quelques règles d'agrégation des paramètres de la fonction "production de bois d'œuvre" sont surlignées parmi l'ensemble des règles du tableau d'agrégation affiché.

3'' Poids des critères composants servant à définir et/ou contrôler et/ou analyser les règles d'agrégation. Sur la figure, ces poids sont affichés pour les paramètres de l'évaluation de la fonction "production de bois d'œuvre". Les curseurs et les valeurs en noir ("Required") correspondent aux poids désirés par le concepteur du modèle et les barres et valeurs en bleu ("Current") correspondent aux poids estimés par DEXi sur la base des règles d'agrégation définies.

Figure 10 : Présentation de l'interface du logiciel DEXi et des trois étapes de l'implémentation du modèle Terafor avec l'exemple de l'évaluation de la fonction "Production de bois d'œuvre"pour les espaces arborés linéaires

Les paramètres sélectionnés et les éventuelles infra-fonctions sont enregistrés dans DEXi pour chaque fonction (Figure 10, page précédente, point 2). Ils complètent la structuration hiérarchique du modèle Terafor en ajoutant deux niveaux de critères.

Une fois les paramètres choisis et enregistrés, les valeurs attribuables à chacun d'eux ont été définies. Trois contraintes parmi celles décrites précédemment (partie 4.1.1, p. 110) ont dirigé la définition de ces valeurs.
La première a été la limite maximale de trois valeurs par critère qui a restreint la taille de la gamme de valeurs de chaque paramètre.
La deuxième a été la définition de valeurs obligatoirement qualitatives, prenant la forme de mots ou de valeurs seuil. Ces deux contraintes ont conduit à respecter un format particulier concernant les valeurs. Pour cela, il a fallu adapter les informations collectées sur les paramètres dans la littérature lors du travail d'identification des fonctions des espaces arborés. Par exemple, une haie peut réduire la vitesse du vent au niveau du sol sur une distance de 10 à 20 fois sa hauteur (Pointereau et Bazile 1995 ; Soltner 1998 ; Liagre 2006). À partie de cette information, j'ai estimé que, afin d'assurer une protection contre le froid aux animaux d'élevage, la haie devait atteindre la valeur seuil de trois mètres de hauteur pour fournir un espace protégé du vent jusqu'à deux mètres du sol et jusqu'à une dizaine de mètres de distance de la haie. Ainsi, deux valeurs ("< 3m" et "> 3m") ont été définies pour le paramètre "hauteur" servant à évaluer la fonction "protection contre le vent et le froid (12)". Comme l'illustre cet exemple, j'ai favorisé la prise en compte d'informations quantitatives et la définition de valeurs des paramètres semi-quantitatives. J'estime ainsi simplifier le renseignement des valeurs des paramètres par les utilisateurs en évitant les difficultés d'interprétation ou d'appréciation qui pourraient davantage se rencontrer avec des valeurs qualificatives.
La troisième contrainte a consisté à ordonner les gammes de valeurs. Ainsi, chaque valeur a été classée relativement aux autres de sa gamme pour former une échelle de valeur. Ce classement a été effectué selon l'influence pour chaque valeur d'une gamme qu'a le paramètre, pour lequel cette gamme est définie, sur la fonction dans laquelle ce paramètre est agrégé. Par exemple, la porosité d'une haie aura une influence positive sur la fonction "protection des animaux d'élevage contre la chaleur et le soleil (11)" si elle est inférieure à la valeur seuil de 50% de vide apparents. La gamme ordonnée de valeurs du paramètre "porosité" pour cette fonction est alors la suivante : "> 50% (effet neutre) ;

< 50% (effet positif)". Ce paramètre intervient également dans l'évaluation de la fonction "compétition pour la lumière avec les cultures (24)" dans laquelle il aura une influence contraire. L'ordre de sa gamme de valeurs est alors inversé : "< 50% (effet négatif) ; > 50% (effet neutre)". Une même gamme peut donc amener à différentes échelles de valeurs selon l'ordre donné aux valeurs. Une échelle de valeur est attribuée à chaque paramètre du modèle Terafor (Figure 10, p. 114, point 2').
J'ai fait en sorte de limiter le nombre d'échelles de valeurs différentes pour l'ensemble des paramètres afin d'éviter d'innombrables valeurs et échelles différentes et pour, ainsi, simplifier l'implémentation puis l'utilisation du modèle. En outre, DEXi facilite l'utilisation du modèle en liant les critères exactement identiques, c'est-à-dire ayant le même nom et la même échelle de valeurs. En effet, lorsque des critères sont liés, la valeur qu'obtient l'un d'entre eux est automatiquement attribuée aux autres. Ainsi, j'ai favorisé la réutilisation d'échelles de valeurs identiques pour les paramètres répétés pour plusieurs fonctions, afin de lier un maximum de paramètres et ainsi de réduire le temps nécessaire à l'utilisateur pour renseigner les valeurs de tous les paramètres.

Le résultat du choix des paramètres et de la définition de leurs valeurs est présenté ultérieurement (partie 4.2.2, p. 123 et partie 4.2.3, p. 125).

4.1.4. Définir les valeurs des fonctions et supra-fonctions et les règles d'agrégations

La troisième étape de l'implémentation du modèle Terafor dans DEXi a consisté à définir les gammes de valeurs des fonctions et des supra-fonctions pour déterminer les règles d'agrégation à la base de l'évaluation.

La définition des valeurs des fonctions et supra-fonctions a respectée les trois mêmes contraintes que lors de la définition des valeurs des paramètres. La première a été la limite maximale de trois valeurs par critère qui a restreint la taille de la gamme de valeurs de chaque fonction et supra-fonction. La seconde a été la définition de valeurs obligatoirement qualitatives, prenant la forme de mots ou de valeurs seuil. L'évaluation avec le modèle Terafor vise à préciser si chaque fonction de l'espace arboré évalué est effective ou non. L'objectif de l'évaluation est de produire des informations sur cette

effectivité qui soient homogènes pour l'ensemble des fonctions. Pour atteindre cet objectif d'homogénéité, j'ai, d'une part, appliqué un format identique de valeurs pour toutes les fonctions. J'ai donc opté pour des valeurs uniquement qualificatives. En effet, de telles valeurs conviennent quel que soit le niveau de connaissance et le type d'informations disponibles sur chacune des fonctions, contrairement à des valeurs semi-quantitatives pour lesquelles il est nécessaire de détenir des informations quantifiées qui n'existent pas pour toutes les fonctions. D'autre part, j'ai unifié les gammes de valeurs en définissant des valeurs génériques et en nombre réduit. Pour satisfaire à la troisième contrainte, ces gammes de valeurs ont ensuite été ordonnées comme décrit précédemment pour les paramètres (partie 4.1.3, p. 113). L'ordre des valeurs d'une gamme a été déterminé de manière à ce que l'échelle de valeurs obtenue corresponde à la qualité potentielle de service, de disservice ou ambivalente de la fonction considérée. Par exemple, pour une même gamme de valeurs "négligeable ; notable", l'échelle de valeurs d'un service potentiel pourra être "négligeable (effet neutre) ; notable (effet positif)" alors que celle d'un disservice potentiel pourra être "notable (effet négatif) ; négligeable (effet neutre)". Les échelles de valeurs sont ainsi adaptées à chaque fonction et supra-fonction (Figure 10, p. 114, point 3).

Une fois les valeurs et les échelles de valeurs définies et attribuées à tous les critères, les règles d'agrégations ont pu être déterminées. Un tableau d'agrégation par critère composé liste toutes les combinaisons des valeurs des critères composants impliqués dans cette agrégation. La définition des règles d'agrégation a consisté à compléter le tableau en précisant la valeur du critère composé pour chacune de ces combinaisons. Ce travail s'est appuyé sur les informations de la littérature collectées lors de l'identification des fonctions des espaces arborés et s'inscrit dans la continuité du choix des paramètres et de leurs valeurs présenté précédemment (partie 4.1.3, p. 113). Dans un tableau d'agrégation, les combinaisons sont classées selon l'ordre des valeurs dans les gammes des critères composants. Ce classement est une fonctionnalité de DEXi requérant des gammes de valeurs ordonnées et facilite la définition des règles. En effet, avec ce classement il est plus aisé de se repérer parmi toutes les règles et une logique, résultant de l'ordre des valeurs dans les gammes, apparait lors du remplissage du tableau (Figure 10, p. 114, point 3'). DEXi peut vérifier cette logique et prévient lorsqu'une règle en cours de définition s'avère incohérente par rapport aux règles déjà définies. Ces alertes

d'incohérence des règles d'agrégation constituent une deuxième fonctionnalité qui nécessite que les gammes de valeurs soient ordonnées. Sur la base de la pondération des critères composants et toujours de la logique résultant de l'ordre des valeurs dans les gammes, des valeurs du critère composé sont automatiquement proposées dans le tableau d'agrégation. Cette proposition automatique de valeurs constitue une troisième fonctionnalité de DEXi qui aide à la définition des règles d'agrégation. Par défaut, la pondération des critères composants dans une agrégation est égalitaire. Elle peut être adaptée à partir des informations concernant l'importance de l'influence de ces critères sur le critère composé, en particulier concernant l'importance de l'influence des paramètres sur une fonction. DEXi estime aussi le poids de chaque critère composant dans une agrégation, sur la base des règles d'agrégation définies et en appliquant une régression linéaire, pour vérifier si les éventuels poids désirés sont respectés (Figure 10, p. 114, point 3'').

Le résultat de la définition des valeurs des fonctions et supra-fonctions et des règles d'agrégation est présenté ultérieurement (partie 4.2.3, p. 125 et partie 4.2.4, p. 128).

4.1.5. Une typologie des espaces arborés pour affiner le modèle Terafor

L'étude de la littérature lors de l'identification des fonctions des espaces arborés et les discussions avec les experts ont fait ressortir la nécessité de différencier l'évaluation des fonctions selon différents types d'espaces arborés. Trois arguments soutiennent cela :

- toutes les fonctions ne sont pas supportées par tous les types d'espaces arborés. Par exemple, une haie peut servir de clôture pour l'élevage, alors que ce n'est pas le cas d'un arbre isolé ;
- les paramètres à prendre en compte pour évaluer une fonction peuvent être à ajuster à chaque type d'espaces arborés. Par exemple, pour évaluer la production de bois d'une haie on tiendra compte de sa longueur et du nombre d'arbres par unité de longueur, alors qu'on considèrera la surface et la densité en arbres (nombre d'arbres par unité de surface) pour celle d'un bois ;
- les valeurs des critères, principalement des paramètres, peuvent dépendre du type d'espaces arborés. Par exemple, la position d'un espace arboré dans la pente sera étudiée pour évaluer la fonction de régulation des flux hydrologiques, mais s'il s'agit

d'une haie, on s'intéressera à la valeur de l'angle entre le sens longitudinal de la haie et le sens de la pente, et s'il s'agit d'un bosquet, on indiquera s'il se situe ou non dans un lieu de convergence du ruissellement tel le fond d'un vallon.

J'ai donc distingué trois types d'espaces arborés : les espaces arborés ponctuels, les espaces arborés linéaires et les espaces arborés surfaciques (Figure 11).

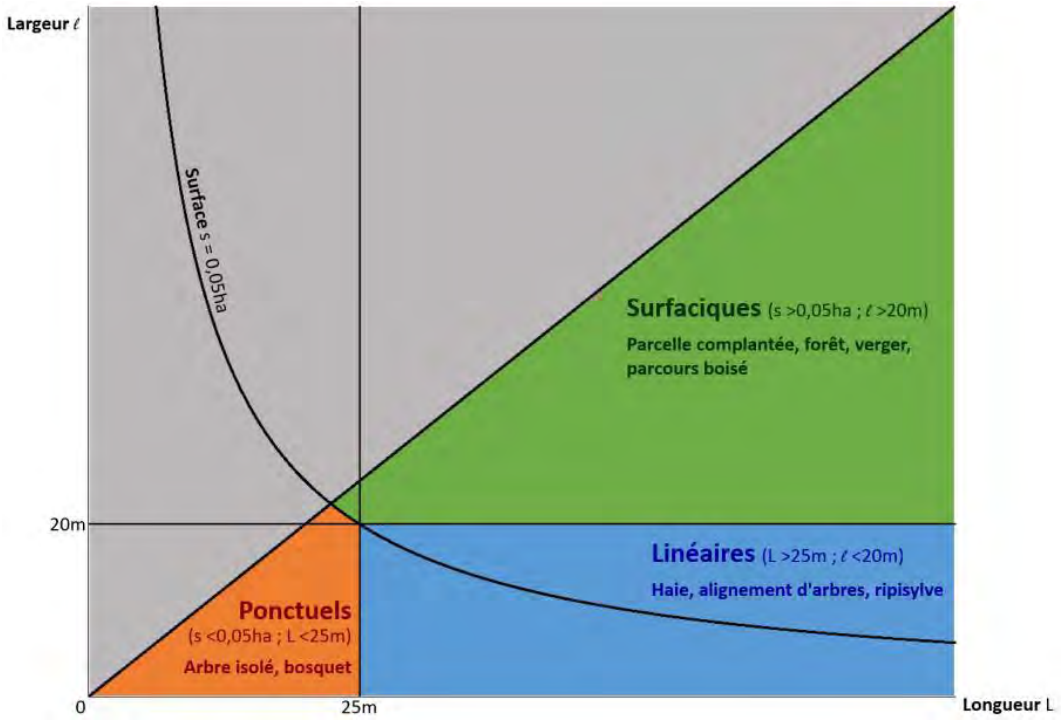


Figure 11 : Délimitation des trois types d'espaces arborés distingués dans le modèle Terafor

Ces trois types sont le résultat du croisement de plusieurs travaux en particulier ceux de Guillerme et al. *(2009), de De Foresta* et al. *(2013) et de l'IGN (2018).*

Cette typologie a émergé de la littérature (Guillerme *et al.* 2009 ; De Foresta *et al.* 2013 ; IGN 2018) et des discussions avec les experts. Elle repose sur des caractéristiques de la forme des espaces arborés (longueur, largeur, surface) qui conditionnent de nombreuses fonctions (par exemple productions ligneuses et non ligneuses, brise-vent). De plus, ces trois types d'espaces apparaissent très différents quant à leur gestion (pratiques, équipements, opérateurs) et quant à leurs implications dans l'aménagement du territoire (porteurs de projets, financements). Enfin, un futur couplage du modèle Terafor avec un système d'information géographique est envisagé pour, d'une part, extraire des données utiles à l'évaluation des fonctions et, d'autre part, représenter le résultat de cette évaluation. La typologie a donc aussi été réfléchie dans la perspective d'un tel couplage.

Comme les outils géomatiques sont particulièrement aptes à détecter et distinguer les trois types proposés (De Foresta *et al.* 2013 ; Sausse 2015 ; Blanco *et al.* 2018), ils pourront donc extraire des informations spatiales ou spatialisées, propres à chacun de ces types, qui pourront être renseignées dans le modèle.

La typologie des espaces arborés proposée s'accorde largement avec les distinctions faites par les acteurs du développement de l'agroforesterie (AFAHC Midi-Pyrénées 2013 ; Arbres et paysages d'Autan 2013 ; CDAF 2014b).

4.2. Résultat : le modèle Terafor et l'évaluation des 77 fonctions pour les trois types d'espaces arborés (ponctuel, linéaire, surfacique)

4.2.1. La structuration hiérarchique générale et le choix des fonctions pour les trois types d'espaces arborés

La structuration hiérarchique des 77 fonctions des espaces arborés a abouti à 36 supra-fonctions réparties sur 3 niveaux (Figure 12). Le niveau le plus englobant se compose de 4 domaines d'activités. Ceux-ci organisent les 14 activités sous-jacentes qui font ressortir les acteurs concernés par les espaces arborés. Les activités forment un autre niveau de supra-fonctions et agrègent des infra-activités et/ou des fonctions. Le troisième niveau se compose des 18 infra-activités qui représentent des aspects particuliers de certaines activités.

Les 4 domaines d'activités que la structuration fait ressortir distinguent les différentes activités de la manière suivante :

- les activités et productions forestières et agroforestières : cette supra-fonction couvre dix fonctions de productions ou de support d'activités directement portées par les espaces arborés et pouvant faire l'objet d'une valorisation économique. Les productions et activités peuvent être forestières (produits ligneux, chasse) ou agroforestières (fruits des arbres, cultures intercalaires) selon notamment l'espace arboré considéré ou sa vocation ;
- les activités agricoles : cette supra-fonction couvre 29 fonctions qui peuvent influer sur les activités agricoles. Il ne s'agit pas de fonctions de productions directement, à la différence du groupe précédent, mais d'influences positives ou négatives sur les productions agricoles. Ces influences touchent l'élevage (protection contre le vent

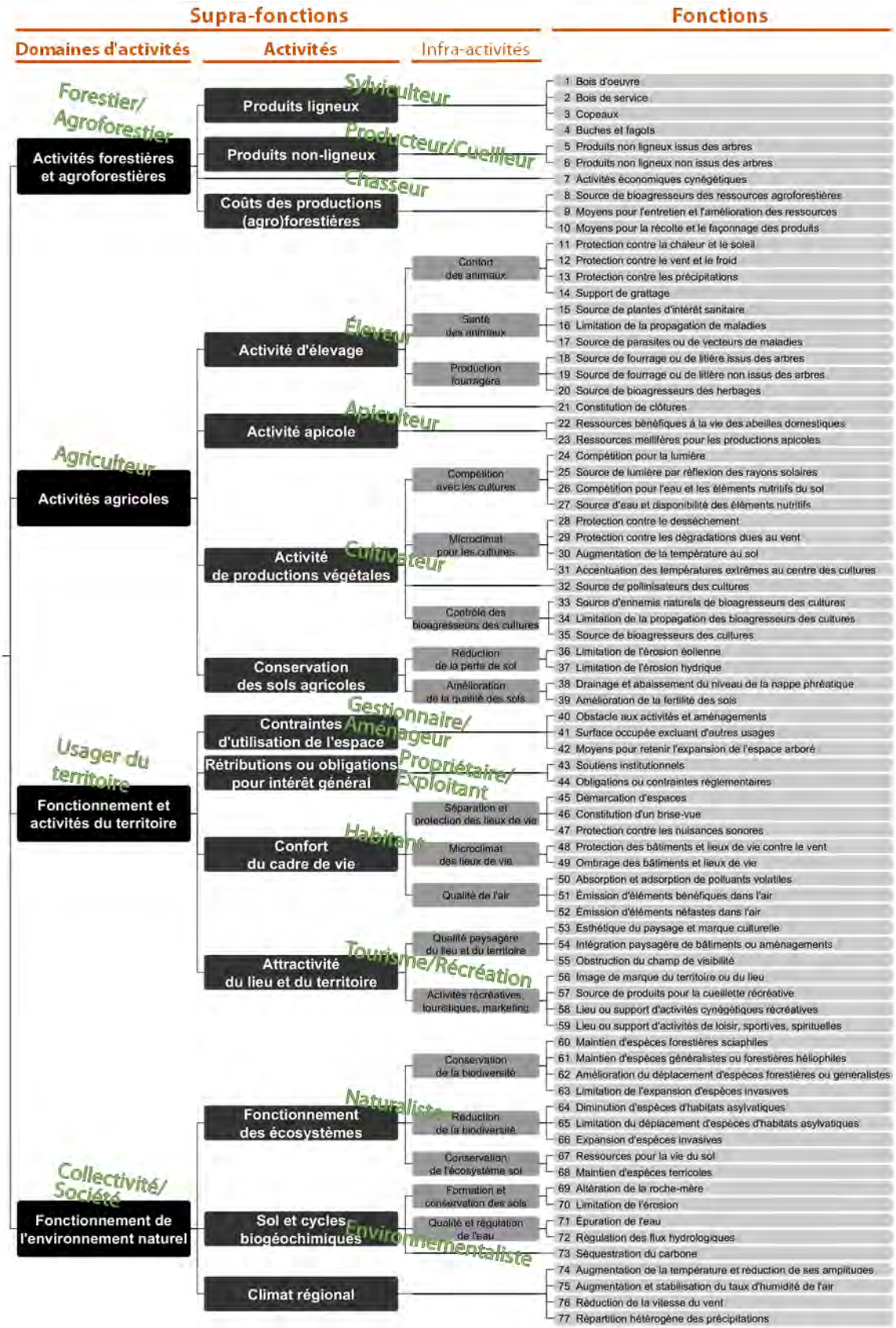


Figure 12 : La structuration hiérarchique du modèle Terafor : 77 fonctions des espaces arborés et 3 niveaux de supra-fonctions avec 14 activités et les 4 domaines d'activités mettant en exergue 22 acteurs concernés

et le froid, source de maladies), l'apiculture (ressources pour la production apicole), les cultures (compétitions pour l'eau et les nutriments, protection contre des dégradations dues au vent) et la préservation des sols agricoles (limitation de l'érosion hydrique, amélioration de la fertilité des sols) ;

- les activités et le fonctionnement du territoire non spécifiquement forestiers et agricoles : cette supra-fonction couvre 20 fonctions qui peuvent toucher tous les acteurs sur le territoire tels que les usagers, les gestionnaires et les propriétaires des espaces arborés et des espaces alentour. Les espaces arborés peuvent représenter des contraintes par occupation de l'espace, influencer le confort du cadre de vie (délimitation des lieux de vie, barrière contre les nuisances sonores), être responsable de l'attractivité du territoire (esthétique du paysage et marque culturelle, cueillette récréative) et être source d'obligations (contraintes réglementaires ou légales) ou de rétributions (primes ou exonérations fiscales) pour l'intérêt général ;
- le fonctionnement de l'environnement naturel : cette supra-fonction couvre 18 fonctions influençant le fonctionnement des écosystèmes (conservation d'espèces sciaphiles, réduction d'espèces héliophiles) le sol et les cycles biogéochimiques (altération de la roche mère, régulation des flux hydrologiques) et le climat à l'échelle régionale (augmentation et stabilisation de l'humidité de l'air, distribution hétérogène des précipitations). Ces fonctions ont une influence à l'échelle du territoire et au-delà, et caractérisent l'environnement dans lequel les acteurs du territoire œuvrent.

La structuration hiérarchique des fonctions des espaces arborés a fait ressortir 22 acteurs concernés. Parmi eux, 16 ont été mis en évidence au niveau des activités (sylviculteur, producteur et cueilleur de produits (agro)forestiers, chasseur, éleveur, apiculteur, cultivateur, gestionnaire et aménageur de l'espace arboré et/ou du territoire, habitant, acteur du tourisme ou de la récréation, propriétaire et exploitant de l'espace arboré, naturaliste, environnementaliste). Au niveau des domaines d'activités, 6 acteurs sont également ressortis et englobent les acteurs du niveau précédent (forestier et agroforestier, agriculteur, autre usager du territoire et/ou de l'espace arboré, collectivité et société) (Figure 12, page précédente).

Les trois types d'espaces arborés ont été définis pour adapter l'évaluation en choisissant des paramètres et leurs valeurs appropriés à chacun de ces types. Lorsque des fonctions ne sont pas fournies par un des types d'espaces arborés (partie 4.1.5, p. 118) en raison des caractéristiques morphologiques de ces espaces, elles n'ont pas été maintenues dans l'évaluation. Cette sélection des fonctions selon les types d'espaces arborés a abouti à un nombre différent de fonctions implémentées dans DEXi pour chacun d'eux (Tableau 7).

Tableau 7 : Le nombre de fonctions retenues et les fonctions non retenues dans le modèle Terafor pour les trois types d'espaces arborés

Type d'espaces arborés	Nombre de fonctions retenues	Fonctions non retenues
Ponctuel	66	7 Activités économiques cynégétiques 16 Limitation de la propagation de maladies entre troupeaux d'animaux d'élevage 21 Constitution de clôtures 28 Protection des cultures contre le dessèchement 29 Protection des cultures contre les dégradations dues au vent 30 Augmentation de la température au sol 31 Accentuation des températures extrêmes au centre des cultures 34 Limitation de la propagation des bioagresseurs des cultures 36 Limitation de l'érosion éolienne 63 Limitation de l'expansion d'espèces invasives 65 Limitation du déplacement et de la dissémination d'espèces d'habitats asylvatiques
Linéaire	77	*aucune*
Surfacique	76	31 Accentuation des températures extrêmes au centre des cultures

4.2.2. Les paramètres pour l'évaluation des fonctions des espaces arborés

Lors du choix des paramètres, deux difficultés ont été rencontrées. Soit, d'une part, les paramètres conditionnant une fonction était très nombreux. Afin de respecter la limite maximale de 4 critères par agrégation (partie 4.1.1, p. 110) seuls les plus influents ont dû être retenus. Cependant, les informations sur l'ordre d'influence des paramètres se sont avérées peu courantes dans la littérature et j'ai donc été amené à arbitrer ces choix. Soit, d'autre part et au contraire, les paramètres conditionnant une fonction n'étaient pas mentionnés dans la littérature. J'en ai alors proposé sur la base de dires d'experts ou dans la mesure de mon expertise. Toutefois, il n'a pas été possible de spécifier de paramètre pour 6 fonctions. Celles-ci sont alors à évaluer directement, l'utilisateur devant donc

estimer et renseigner l'effet de ces fonctions en entrée du modèle Terafor. Il s'agit des fonctions "soutiens institutionnels (43)" et "obligations ou contraintes réglementaires (44)" ainsi que des quatre fonctions climatiques régionales ("augmentation de la température et réduction de ses amplitudes à l'échelle régionale (74)", "augmentation et stabilisation du taux d'humidité de l'air à l'échelle régionale (75)", "réduction de la vitesse du vent à l'échelle régionale (76)" et "répartition hétérogène des précipitations à l'échelle régionale (77)"). Toutes les autres sont évaluées automatiquement sur la base de paramètres dont les valeurs sont à renseigner par l'utilisateur du modèle.

La recherche des paramètres a révélé que certaines fonctions réunissaient plusieurs phénomènes distincts. Par exemple, un espace arboré peut limiter l'érosion des sols agricoles i) en facilitant l'infiltration de l'eau en profondeur et ii) en interceptant une partie des précipitations. Or, ces deux phénomènes n'ont pas pu être pris en compte avec seulement quatre paramètres. Dans ce cas, une infra-fonction par phénomène a été définie et des paramètres ont été choisis pour les évaluer. Ainsi, 6 fonctions pour le type ponctuel et 7 pour les types linéaire et surfacique sont évaluées de cette manière et donc avec plus de 4 paramètres.

Le nombre total de paramètres pour l'évaluation de l'ensemble des fonctions des espaces arborés est de 182 pour le type ponctuel, 252 pour le type linéaire et 218 pour le type surfacique. En moyenne, 3,5 paramètres par fonction sont impliqués dans l'évaluation des fonctions pour les espaces arborés ponctuels, 4,0 pour les espaces arborés linéaires et 3,6 pour les espaces arborés surfaciques (Tableau 8).

Certains paramètres sont répétés à l'identique (même nom et même échelle de valeur) pour l'évaluation de plusieurs fonctions. Dans ce cas, ces paramètres identiques sont liés et seul un d'entre eux (nous le nommerons le paramètre itéré) est à renseigner par l'utilisateur du modèle, les autres (nous les nommerons les paramètres réitérés) prenant automatiquement la valeur de celui renseigné. Les paramètres liés réduisent notablement le nombre de paramètres à renseigner. Ce nombre de paramètre à renseigner diffère assez peu entre types d'espaces arborés (ponctuel : 130 ; linéaire : 144 ; surfacique : 137) car la proportion de paramètres liés, au contraire, est très variable (ponctuel : 41,8% ; linéaire : 58,7% ; surfacique : 50,9%) et estompe les écarts entre les nombres totaux de paramètres (Tableau 8).

Les paramètres représentent les caractéristiques des espaces arborés qui concernent avant tout la morphologie et la structure de ces espaces (hauteur, largeur, surface, porosité) (entre le tiers et la moitié des paramètres selon le type d'espaces arborés). Les caractéristiques concernant leur composition (espèces végétales, essences d'arbres, nombre d'arbres) et leur position (accès, connectivité écologique, orientation, station) sont représentées par environ 20% à 25% des paramètres chacune. Enfin leur aménagement et leur gestion (présence de talus ou fossé, entretien et conduite des arbres) sont représentés par environ 10% à 15% des paramètres (Tableau 8).

Tableau 8 : Description quantitative des paramètres du modèle Terafor pour chaque type d'espaces arborés

(1) Les indications sur le nombre de paramètres ne prennent pas en compte les 6 fonctions évaluées directement (sans l'aide de paramètres).
(2) Lorsque des paramètres sont répétés à l'identique pour l'évaluation de plusieurs fonctions, ils sont liés entres paramètres identiques. Ces paramètres liés se distinguent en paramètres itérés, ceux dont la valeur est renseignée par l'utilisateur du modèle, et en paramètres réitérés, ceux prenant automatiquement la valeur du paramètre itéré avec lequel ils sont liés.
(3) Le nombre maximal de paramètres par fonction est supérieur à 4 (limite fixée pour faciliter la définition et la compréhension des tableaux d'agrégation dans DEXi) car certaines fonctions sont évaluées grâce à plusieurs infra-fonctions elles-mêmes évaluées par 4 paramètres maximum.

Type d'espaces arborés	**Nombre de paramètres** (1) (2)	**Répartition des paramètres selon les caractéristiques générales des epsaces arborés qu'ils représentent**				**Nombre de paramètres par fonction** (1) (3)
		Aménagement/ gestion	**Composition**	**Structure/ morphologie**	**Position**	
Ponctuel	- total : 182 - à renseigner : 130 - itérés : 24 - réitérés : 52	15,4%	24,7%	35,7%	24,2%	- min : 2 - moy : 3,5 - max : 7
Linéaire	- total : 252 - à renseigner : 144 - itérés : 40 - réitérés : 108	11,5%	19,4%	47,2%	21,8%	- min : 2 - moy : 4,0 - max : 8
Surfacique	- total : 218 - à renseigner : 137 - itérés : 33 - réitérés : 81	13,3%	22,5%	39,0%	25,2%	- min : 1 - moy : 3,6 - max : 7

4.2.3. Les valeurs des critères du modèle Terafor

Lors de la définition des valeurs des paramètres, les informations collectées dans la littérature ont été adaptées au format imposé par les contraintes décrites précédemment (partie 4.1.3, p. 113). Lorsque des variables quantitatives continues étaient mentionnées,

elles ont été discrétisées en gammes de valeurs semi-quantitatives. Dans les autres cas, des variables qualificatives ont été définies. Pour les paramètres sur lesquels insuffisamment d'informations ont été trouvées, j'ai défini des valeurs à dires d'experts. Ainsi, les paramètres peuvent prendre des valeurs soit semi-quantitatives, soit qualificatives (Figure 13). La part de paramètres à valeurs qualificatives varie selon le type d'espaces arborés (ponctuel : 74,5% ; linéaire : 53,1% ; surfacique : 69,2%). En grande majorité, les paramètres peuvent prendre 2 valeurs (Tableau 9).

Pour les critères composés (infra-fonctions, fonctions et supra-fonctions), nous avons défini des valeurs qualificatives, parce que, d'une part, il n'a été trouvé que très peu d'informations quantitatives pour ces niveaux de la structuration hiérarchique du modèle Terafor. D'autre part, l'objectif d'homogénéité du résultat de l'évaluation de l'ensemble des fonctions a conduit à définir des valeurs qualificatives pour qu'elles s'appliquent quels que soient le niveau de connaissance et les informations disponibles sur chacune des fonctions.

L'évaluation renseigne si chaque critère composé a un effet négligeable ou notable, si cet effet est positif ou négatif lorsqu'il est notable, et distingue quelques fois deux niveaux pour un effet notable (modéré ou fort). Les fonctions et infra-fonctions peuvent prendre très majoritairement 2 valeurs ([Negligeable (neutre) ; Notable (positif)] ou [Notable (négatif) ; Negligeable (neutre)]) alors que les supra-fonctions peuvent prendre le plus souvent 3 valeurs ([Negatif ; Faible ou disparate ; Positif]) (Tableau 9).

Tableau 9 : Effectifs des différents types de critères du modèle Terafor selon le nombre de valeurs par gamme de valeurs attribuée au critère et le type d'espaces arborés

Type d'espaces arborés	**Nombre de paramètres selon le nombre de valeurs par gamme**	**Nombre de fonctions et infra-fonctions selon le nombre de valeurs par gamme**	**Nombre de supra-fonctions selon le nombre de valeurs par gamme**
Ponctuel	- 2 valeurs : 175 - 3 valeurs : 7	- 2 valeurs : 67 - 3 valeurs : 9	- 2 valeurs : 13 - 3 valeurs : 23
Linéaire	- 2 valeurs : 242 - 3 valeurs : 10	- 2 valeurs : 81 - 3 valeurs : 10	- 2 valeurs : 13 - 3 valeurs : 24
Surfacique	- 2 valeurs : 198 - 3 valeurs : 20	- 2 valeurs : 80 - 3 valeurs : 10	- 2 valeurs : 14 - 3 valeurs : 23

Espace arboré ponctuel

	ArbreOeuvre	EntretienArbreOeuvre	StationArbreOeuvre	#1 - BoisOeuvre
1	Negligeable	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
2	Negligeable	Negligeable	Notable	**Negligeable**
3	Negligeable	Notable	Negligeable	**Negligeable**
4	Negligeable	Notable	Notable	**Negligeable**
5	Notable	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
6	Notable	Negligeable	Notable	**Notable**
7	Notable	Notable	Negligeable	**Notable**
8	Notable	Notable	Notable	**Notable**

3 paramètres qualificatifs

Espace arboré linéaire

	NombreArbreOeuvre	LongueurPos100	EntretienArbreOeuvre	StationArbreOeuvre	#1 - BoisOeuvre
1	0	< 100m	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
2	0	< 100m	Negligeable	Notable	**Negligeable**
3	0	< 100m	Notable	Negligeable	**Negligeable**
4	0	< 100m	Notable	Notable	**Negligeable**
5	0	> 100m	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
6	0	> 100m	Negligeable	Notable	**Negligeable**
7	0	> 100m	Notable	Negligeable	**Negligeable**
8	0	> 100m	Notable	Notable	**Negligeable**
9	1 - 4	< 100m	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
10	1 - 4	< 100m	Negligeable	Notable	**Negligeable**
11	1 - 4	< 100m	Notable	Negligeable	**Negligeable**
12	1 - 4	< 100m	Notable	Notable	**Notable**
13	1 - 4	> 100m	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
14	1 - 4	> 100m	Negligeable	Notable	**Notable**
15	1 - 4	> 100m	Notable	Negligeable	**Notable**
16	1 - 4	> 100m	Notable	Notable	**Notable**
17	> 4	< 100m	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
18	> 4	< 100m	Negligeable	Notable	**Notable**
19	> 4	< 100m	Notable	Negligeable	**Notable**
20	> 4	< 100m	Notable	Notable	**Notable**
21	> 4	> 100m	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
22	> 4	> 100m	Negligeable	Notable	**Notable**
23	> 4	> 100m	Notable	Negligeable	**Notable**
24	> 4	> 100m	Notable	Notable	**Notable**

4 paramètres dont 2 semi-quantitatifs et 2 qualificatifs

Espace arboré surfacique

	NombreArbreOeuvre	SurfacePos02-1	EntretienArbreOeuvre	StationArbreOeuvre	#1 - BoisOeuvre
1	0	< 0,2ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
2	0	< 0,2ha	Negligeable	Notable	**Negligeable**
3	0	< 0,2ha	Notable	Negligeable	**Negligeable**
4	0	< 0,2ha	Notable	Notable	**Negligeable**
5	0	0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
6	0	0,2ha - 1ha	Negligeable	Notable	**Negligeable**
7	0	0,2ha - 1ha	Notable	Negligeable	**Negligeable**
8	0	0,2ha - 1ha	Notable	Notable	**Negligeable**
9	0	> 1ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
10	0	> 1ha	Negligeable	Notable	**Negligeable**
11	0	> 1ha	Notable	Negligeable	**Negligeable**
12	0	> 1ha	Notable	Notable	**Negligeable**
13	1 - 8	< 0,2ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
14	1 - 8	< 0,2ha	Negligeable	Notable	**Negligeable**
15	1 - 8	< 0,2ha	Notable	Negligeable	**Negligeable**
16	1 - 8	< 0,2ha	Notable	Notable	**Notable**
17	1 - 8	0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
18	1 - 8	0,2ha - 1ha	Negligeable	Notable	**Notable**
19	1 - 8	0,2ha - 1ha	Notable	Negligeable	**Notable**
20	1 - 8	0,2ha - 1ha	Notable	Notable	**Notable**
21	1 - 8	> 1ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
22	1 - 8	> 1ha	Negligeable	Notable	**Notable**
23	1 - 8	> 1ha	Notable	Negligeable	**Notable**
24	1 - 8	> 1ha	Notable	Notable	**Notable**
25	> 8	< 0,2ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
26	> 8	< 0,2ha	Negligeable	Notable	**Notable**
27	> 8	< 0,2ha	Notable	Negligeable	**Notable**
28	> 8	< 0,2ha	Notable	Notable	**Notable**
29	> 8	0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable	**Negligeable**
30	> 8	0,2ha - 1ha	Negligeable	Notable	**Notable**
31	> 8	0,2ha - 1ha	Notable	Negligeable	**Notable**
32	> 8	0,2ha - 1ha	Notable	Notable	**Notable**
33	> 8	> 1ha	Negligeable	Negligeable	**Notable**
34	> 8	> 1ha	Negligeable	Notable	**Notable**
35	> 8	> 1ha	Notable	Negligeable	**Notable**
36	> 8	> 1ha	Notable	Notable	**Notable**

4 paramètres dont 2 semi-quantitatifs et 2 qualificatifs

Paramètres de la fonction "BoisOeuvre"	Type d'espaces arborés	Nature des paramètres	Valeurs possibles des paramètres	Description des paramètres
ArbreOeuvre	Ponctuel	qualificatif	Negligeable Notable	Présence d'arbres d'essences d'intérêt pour la production de bois d'œuvre
NombreArbreOeuvre	Linéaire	semi-quantitatif	0 1 - 4 > 4	Nombre moyen d'arbres d'essences d'intérêt pour la production de bois d'œuvre par 100 mètres linéaires
NombreArbreOeuvre	Surfacique	semi-quantitatif	0 1 - 8 > 8	Nombre moyen d'arbres d'essences d'intérêt pour la production de bois d'œuvre par 0,1 hectare
LongueurPos100	Linéaire	semi-quantitatif	< 100m > 100m	Longueur de l'espace arboré
Surface02-1	Surfacique	semi-quantitatif	< 0,2ha 0,2ha - 1ha > 1ha	Surface de l'espace arboré
EntretienArbreOeuvre	Ponctuel Linéaire Surfacique	qualificatif	Negligeable Notable	Qualité de l'entretien et de la conduite des arbres d'intérêt pour la production de bois d'œuvre
StationArbreOeuvre	Ponctuel Linéaire Surfacique	qualificatif	Negligeable Notable	Adéquation de la station aux essences d'intérêt pour la production de bois d'œuvre

Figure 13 : Description de l'évaluation de la fonction "Production de bois d'œuvre" pour les trois types d'espaces arborés

Cette fonction est un service potentiel évalué sur une échelle de 2 valeurs : Negligeable (effet neutre) et Notable (effet positif). Les paramètres, leur nombre et leur nature varient selon le type d'espaces arborés pouvant fournir cette fonction.

4.2.4. Les règles d'agrégation pour l'évaluation des fonctions et des supra-fonctions des espaces arborés

La définition des règles d'agrégation des paramètres pour évaluer les fonctions (ou infra-fonctions) s'est appuyé sur les informations de la littérature mentionnant l'influence d'un critère sur un autre. Ces informations ont surtout concerné l'influence des paramètres sur les fonctions. Les fonctionnalités de DEXi impliquant des gammes de valeurs ordonnées ont facilité le remplissage des tableaux d'agrégation. En effet, la logique résultant de l'ordre donné aux valeurs a aidé à définir les règles d'agrégation et à parvenir à un ensemble cohérent de règles pour chaque critère composé. En revanche, les fonctionnalités de DEXi basées sur la pondération des critères ont été peu utilisées, car très peu d'informations sont disponibles sur l'importance de l'influence d'un critère dans une agrégation et aucun poids de critère n'a donc été enregistré.
En plus du choix des paramètres, les règles d'agrégation ont été définies de façon à ce que l'évaluation soit adaptée à chaque type d'espaces arborés (Figure 13, page précédente).

Le nombre de tableaux d'agrégation est conséquent (ponctuel : 107 ; linéaire : 122 ; surfacique : 121). Ils sont composés de 2 à 81 règles d'agrégation chacun, la moyenne étant de 10,1 (ponctuel), 12,6 (linéaire) ou 11,5 (surfacique) règles d'agrégation par tableau. La totalité des tableaux d'agrégation des trois types d'espaces arborés est présentée en annexe (Annexe 4).

4.3. Discussion : comportement du modèle et premiers enseignements sur son utilisabilité

4.3.1. Une évaluation homogène des 77 fonctions des espaces arborés

Les 77 fonctions des espaces arborés identifiées ont toutes pu être évaluées avec DEXi et intégrées dans le modèle Terafor. Leur évaluation repose sur des paramètres dont l'utilisateur du modèle renseigne les valeurs en entrée. Ces paramètres sont agrégés et, à partir de leurs valeurs, déterminent celles des fonctions. Pour rendre compte du résultat pour toutes les fonctions, l'évaluation consiste ensuite à agréger les valeurs des fonctions obtenues dans des supra-fonctions. Ainsi, le résultat de l'évaluation des fonctions est recomposé pour proposer un résultat par activité puis par domaine d'activités concernés

par ces fonctions. Pour bien ajuster le résultat à l'espace arboré évalué, 3 évaluations ont été définies, une pour chacun des types d'espaces arborés distingués dans le modèle. Ces 3 évaluations constituent plus de 4000 règles d'agrégation et ont nécessité la définition de 670 paramètres. Le modèle Terafor capitalise et organise ainsi une grande quantité d'informations et à la capacité de s'appliquer à tous les espaces arborés des territoires agricoles. Cette ampleur peut d'ailleurs amener à s'interroger sur le comportement et l'utilisabilité du modèle, ce que nous aborderons ultérieurement (partie 4.3.3, p. 133).

Les fonctions et les supra-fonctions sont évaluées en suivant un format identique. En effet, la méthode appliquée à la définition des valeurs et des échelles de valeurs pour les fonctions ainsi que pour les supra-fonctions a consisté en leur standardisation. Ainsi, le résultat de l'évaluation satisfait à l'objectif de produire des informations homogènes sur l'effectivité de l'ensemble des fonctions et sur les supra-fonctions. Cette recherche d'homogénéité a parfois conduit à simplifier des informations ou à faire abstraction de détails disponibles dans la littérature. Toutefois, ces conséquences sont à relativiser car le modèle Terafor devrait apporter un niveau de détail satisfaisant pour alimenter les discussions qu'il vise à soutenir lors de la construction de projets partagés de territoires agroforestiers. En effet, ces discussions entre les acteurs concernés par les espaces arborés ont vocation, d'une part, à révéler et croiser leurs différentes attentes de ces espaces et, d'autre part, à confronter ces attentes à la capacité des espaces arborés évalués à y répondre. En donnant à voir l'ensemble des fonctions organisées par activité qu'elles influencent et en les évaluant pour savoir si elles sont effectives, le modèle Terafor et son résultat devraient convenablement éclairer ces discussions. De plus, des informations complémentaires au résultat de l'évaluation sont accessibles grâce à la base de connaissances prévue pour accompagner le modèle. Ces informations seront mobilisables à l'issue ou, éventuellement, au cours des discussions pour approfondir certains détails utiles pour la suite de la construction des projets agroforestiers. Si, toutefois, le niveau de détail de l'évaluation s'avérait insuffisant, des précisions pourront également être apportées directement dans le modèle Terafor lors de son adaptation aux territoires et aux projets pour lesquels il sera utilisé. En effet, DEXi est suffisamment souple pour supporter des ajouts de critères (paramètres, fonctions ou supra-fonctions) dans une agrégation ou de valeurs que peuvent prendre ces critères, comme nous le développerons ultérieurement (partie 5.1.2, p. 141). C'est d'ailleurs cette souplesse de

DEXi qui, pour ne pas augmenter l'ampleur du modèle Terafor décrite juste avant, m'a incité à limiter à 3 le nombre maximal de valeurs par critère et à 4 celui de critères par agrégation. Ainsi, l'évaluation des fonctions dans le modèle Terafor est simplifiée, mais il sera possible de la développer ultérieurement pour l'adapter aux situations dans lesquelles elle sera appliquée et, si besoin, pour gagner en détail.

Le choix des paramètres et de leurs valeurs ainsi que la définition des règles de leur agrégation pour l'évaluation des fonctions ont suivi une méthode que j'avais initialement appuyée sur la valorisation des informations issues de la littérature et collectées lors de l'identification des fonctions. Cependant, il n'a pas souvent été possible de se baser sur de telles informations car, en définitive, assez peu explicitent les liens entre les caractéristiques et les fonctions des espaces arborés. De plus, quand ces informations étaient disponibles, elles ont dû être transformées pour respecter le format imposé par les contraintes de DEXi (valeurs qualitatives, nombre limité de critères par agrégation et de valeurs par critère) et les exigences d'homogénéité (nombre limité de valeurs et d'échelles de valeurs différentes pour l'ensemble des critères, réutilisation d'échelles de valeurs identiques pour les paramètres répétés). Ainsi, pour cette partie de la construction du modèle Terafor, j'ai largement fait valoir mon expertise, avec ses limites et la part de subjectivité inévitable engendrée. Toutefois, l'évaluation proposée des fonctions étant simplifiée, je me suis concentré sur les liens significatifs entre les paramètres et les fonctions. Cela a ainsi réduit le risque de mauvaise interprétation. De plus, la base de connaissances qui accompagne le modèle vient expliciter les arbitrages que j'ai été amené à faire, permettant ainsi de les repérer et, au besoin, de les ajuster.
À la différence des fonctions et des liens entre les paramètres et les fonctions, j'ai spécialement définis les supra-fonctions et les liens entre les fonctions et les supra-fonctions pour répondre à l'objectif du modèle Terafor de faire ressortir les fonctions et le résultat de leur évaluation par activité qu'elles influencent. Mis à part la catégorisation des fonctions par activités et donc la définition des supra-fonctions, la méthode appliquée à cette partie de la construction du modèle s'appuyait moins sur la littérature. J'ai ainsi défini les valeurs des supra-fonctions et leurs règles d'agrégation spécialement pour cet objectif. L'exigence d'homogénéité a été appliquée pour la définition des valeurs et des échelles de valeurs des supra-fonctions. Pour la définition des règles d'agrégation, j'ai méthodiquement appliqué des modalités communes à toutes les supra-fonctions : par

exemple 3 critères composants prenant chacun la valeur "faible ou disparate" neutralisent un quatrième critère prenant la valeur "positif" et le critère composé obtient donc la valeur "faible ou disparate", ou 3 critères prenant chacun la valeur "positif" sont nécessaires pour compenser un quatrième critère prenant la valeur "négatif" afin que le critère composé obtienne la valeur "positif". Toutefois, ces modalités peuvent ne pas refléter au mieux la réalité. Les règles d'agrégation seront donc à adapter aux situations dans lesquelles le modèle sera utilisé.

Le modèle Terafor parvient à considérer l'ensemble des 77 fonctions des espaces arborés et à en évaluer l'effet de manière homogène pour 14 activités concernant 22 acteurs. Il a la capacité à évoluer, notamment avec la poursuite de l'étude approfondie de la littérature scientifique pour chaque fonction, pour ajuster l'évaluation et l'adapter aux projets de territoires agroforestiers pour la construction desquels il sera utilisé.

4.3.2. Positionnement de l'organisation du modèle Terafor

L'évaluation des fonctions des espaces arborés avec le modèle Terafor est effectuée à partir de paramètres qui caractérisent ces espaces. Cette évaluation détermine les valeurs de ces espaces pour chacune de ses fonctions. L'organisation et le résultat du modèle peuvent se replacer dans la "cascade" des services écosystémiques (Figure 14, page suivante) :

- les paramètres en entrée du modèle caractérisent les structures et processus biophysiques qui conditionnent les fonctions des espaces arborés. Il s'agit par exemple de la longueur des espaces arborés, de leur composition végétale, de la capacité des arbres qui les composent à intercepter les précipitations. Toutefois, certains paramètres se rattachent moins strictement ou moins directement à ces structures et processus biophysiques. C'est le cas par exemple des paramètres caractérisant la localisation des espaces arborés ou leur qualité esthétique ;
- les fonctions des espaces arborés couvrent à la fois les fonctions écologiques et les biens et services écosystémiques auxquels j'ai ajouté les disservices (partie 3.1.1, p. 72) ;
- le résultat de l'évaluation des fonctions en sortie du modèle constituent une appréciation des bénéfices ainsi que des préjudices fournis par les espaces arborés,

voire des valeurs qui leur sont attribuées. Un espace arboré peut par exemple avoir peu d'effet sur la qualité du paysage, avoir la capacité à produire du bois d'œuvre, constituer un milieu défavorable aux espèces d'habitats asylvatiques.

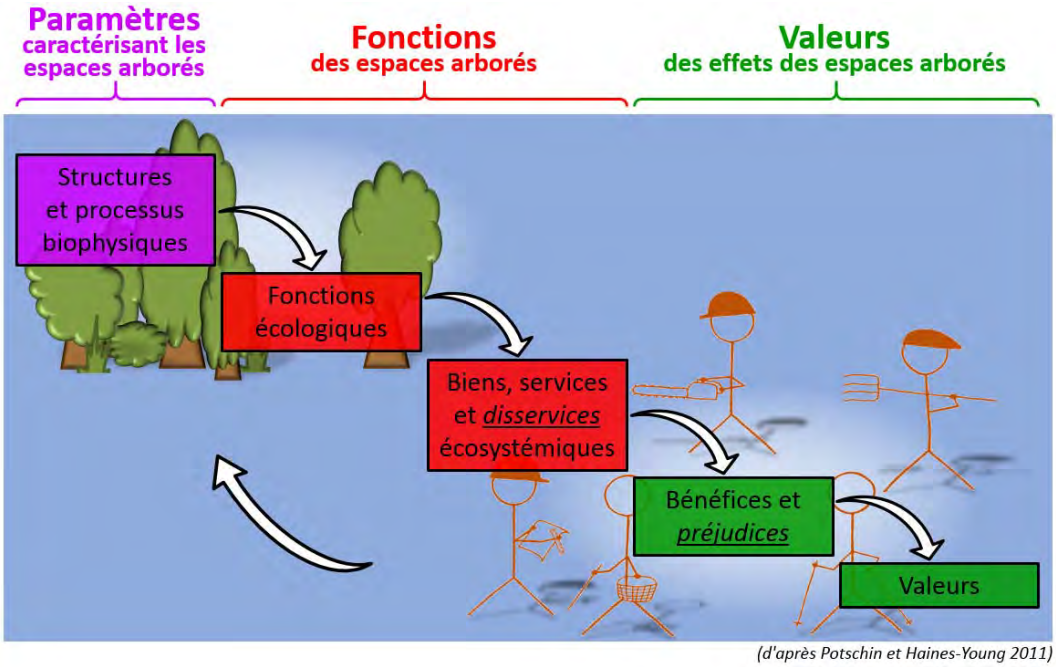


Figure 14 : Paramètres, fonctions et valeurs des espaces arborés dans la "cascade" des services écosystémiques

La structuration des critères du modèles Terafor est organisée hiérarchiquement et pour faire apparaitre les activités que les fonctions des espaces arborés influencent. Cette organisation a été effectuée pour aider les utilisateurs du modèle Terafor à repérer les acteurs concernés par ces espaces et à s'orienter dans leurs multiples fonctions. Ainsi, cette organisation forme un emboîtement, d'abord des fonctions dans des activités, puis des activités dans des domaines d'activités. En outre, un deuxième emboîtement, orthogonal au premier, complète cette organisation. Ce deuxième emboitement couple deux composantes. D'une part, les fonctions, activités et domaines d'activités ont été organisés selon l'échelle spatiale des systèmes agroforestiers concernée (de haut en bas : "parcelle" (agro)forestière ou espace arboré, puis exploitation agricole ou proximité de l'espace arboré, puis territoire). D'autre part, l'éloignement des fonctions, activités et domaines d'activités par rapport aux activités agroforestières est considéré (de haut en bas : agroforesterie et foresterie, puis agriculture, puis toutes activités sur le territoire, puis toutes activités sur le territoire pouvant avoir une influence plus globale). Lorsqu'une

fonction est à un niveau donné de ce deuxième emboîtement, elle influence aussi les activités des niveaux englobés. C'est ainsi que par exemple la fonction "obstacle aux activités et aménagements" peut représenter un disservice pour les acteurs de la gestion et de l'aménagement du territoire, et peut aussi contraindre les activités agricoles et agroforestières dans les exploitations, dans les parcelles adjacentes aux espaces arborés et dans les espaces arborés eux-mêmes.

Je me suis attaché à construire un modèle qui évalue les fonctions d'espaces arborés donnés et non pas des espaces arborés en général. L'évaluation et les informations en entrée sont donc situées. J'ai donc fait le choix de tenir particulièrement compte des caractéristiques spatiales (localisation et forme) des espaces arborés. De plus, ces caractéristiques spatiales influent grandement à la fois sur ce que les arbres peuvent apporter aux acteurs, ce que le modèle Terafor évalue, et sur ce que les acteurs attendent ou perçoivent des arbres, ce que les discussions facilitées par le résultat du modèle Terafor peuvent faire ressortir. Au vu de la finalité de mes travaux de thèse, il était donc essentiel de considérer ces caractéristiques. Toutefois, le modèle Terafor n'explicite pas les différences de spatialité des fonctions des espaces arborés comme le proposent Decocq *et al.* (2016) et que nous avons abordées précédemment (partie 3.3.3, p. 101). Mais, il serait possible de remédier à cette limite grâce à une représentation spatialisée du résultat, piste envisagée et décrite ultérieurement (partie 5.3.3, p. 152).

4.3.3. Comportement et utilisabilité du modèle Terafor

DEXi est utilisé dans de nombreuses recherches. Une communauté de chercheurs en agronomie particulièrement dynamique l'utilise en France (partie 2.2.2, p. 56). Elle a produit des développements autour de DEXi qui renforcent son intérêt. C'est le cas de l'interface IZI-EVAL qui vient compléter les fonctionnalités du logiciel (Bergez 2018). Une des fonctionnalités de cette interface consiste en un ensemble de tests de sensibilité des modèles d'évaluation implémenté dans DEXi. Parmi ces tests, une analyse de Monte-Carlo est disponible. J'ai appliqué cette analyse au modèle Terafor dans le logiciel R à partir du script du test compris dans IZI-EVAL (Bergez, com. pers.). Elle simule un grand nombre de tirages aléatoires sur les valeurs prises par les critères de base pour déterminer la probabilité d’atteindre chaque valeur des critères composés. Mille espaces arborés ont

été simulés pour chacun des types ponctuel, linéaire et surfacique. Il en est ressorti (Figure 15) que le modèle attribue très minoritairement un rôle (critère composé ultime) négatif aux espaces arborés, quel que soit leur type (moins de 5% des cas). Un rôle neutre est obtenu dans 40% (ponctuel), 31% (linéaire) et 16% (surfacique) des cas. Les espaces arborés se révèlent avoir majoritairement un rôle positif avec 57% (ponctuel), 65% (linéaire) et 84% (surfacique) des cas.

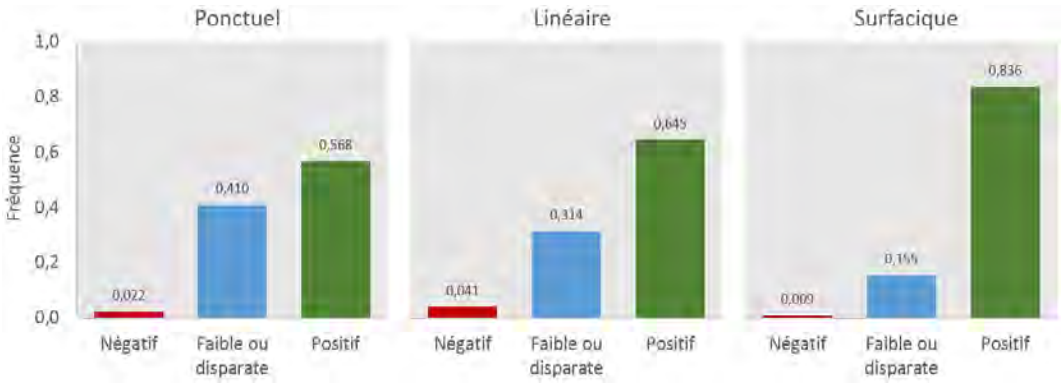


Figure 15 : Fréquence des valeurs du critère final (rôle des espaces arborés) obtenues avec le modèle Terafor pour chacun des types ponctuel, linéaire et surfacique lors d'une analyse de Monte-Carlo simulant l'évaluation de 1000 options (espaces arborés) par type

Le résultat de l'analyse de Monte-Carlo effectuée donne une tendance générale du rôle des espaces arborés pour chaque type. Il renseigne ainsi sur le comportement du modèle. Cependant, cette analyse ne prend pas en compte les éventuelles corrélations entre critères de base (paramètres), hormis celles entre les critères liés. La détermination aléatoire des valeurs des paramètres peut donc comporter des incohérences. Par exemple, les paramètres "LongueurPos100" et "LongueurPos50" caractérisent la longueur d'un espace arboré linéaire avec les valeurs "< 100m" et "> 100m" pour le premier et "< 50m" et "> 50m" pour le second. Ces paramètres sont naturellement corrélés. Mais cette corrélation n'est pas prise en compte dans l'analyse et la valeur "> 100m" peut être déterminée pour le premier paramètre alors que la valeur "< 50m" est déterminée pour le second, créant une incohérence. Malgré cette limite, le grand nombre d'options simulées apporte une certaine consistance aux probabilités obtenues en diluant ces éventuelles incohérences.

L'analyse de Monte-Carlo a abouti à une tendance similaire pour le rôle des trois types d'espaces arborés. Pourtant, ces résultats similaires pour le critère final sont obtenus avec des résultats très différents pour les critères intermédiaires (Annexe 5). Une analyse plus

poussée serait nécessaire pour comprendre la différence des tendances aux autres niveaux de la structuration hiérarchique et donc les comportements différents du modèle Terafor selon le type d'espaces arborés.
L'implémentation du modèle Terafor dans DEXi a obligé à formaliser les informations qu'il contient. Cette formalisation à l'avantage de rendre exécutables différents tests tels que ceux proposés dans IZI-EVAL. Il est ainsi possible de décrire, analyser et contrôler puis éventuellement rectifier le comportement du modèle.

Le modèle Terafor contient trois évaluations pour s'adapter à chacun des trois types d'espaces arborés. J'ai construit ces évaluations en parallèle, mais je ne me suis pas systématiquement assuré de leur parfaite cohérence. Une analyse de la cohérence des évaluations proposées serait donc à réaliser. En effet, je n'ai pas, à ce stade, vérifié qu'un espace arboré à la limite entre deux types obtienne les mêmes résultats d'évaluation des fonctions si on utilise l'évaluation adaptée à un type et celle adaptée à l'autre type. Si l'on prend l'exemple fictif de trois arbres, ceux-ci peuvent être considérés isolément et donc être étudiés avec l'évaluation du type ponctuel, ou être considérés comme un alignement et donc être étudiés avec l'évaluation du type linéaire. Il s'avère que ces trois arbres peuvent chacun fournir une production de bois d'œuvre "notable" au vu de l'évaluation du type ponctuel et que cette production devient "négligeable" si on les considère avec les mêmes paramètres dans un alignement de moins de 100 mètres. Cet exemple révèle les délimitations souples, malgré leur définition précise, entre les trois types d'espaces arborés : ces espaces ne sont pas indiscutablement affiliés chacun à un seul type. Il démontre donc l'importance de rectifier autant que possible les incohérences pouvant se rencontrer entre les trois évaluations. Toutefois, les délimitations souples entre les types d'espaces arborés risquent de toujours produire quelques problèmes de cohérence entre les différentes évaluations du modèle Terafor.

Des tests ont été effectués pour estimer la durée d'exécution de l'évaluation d'un espace arboré. Cette durée correspond en fait au temps nécessaire à renseigner les paramètres. Un premier test a été réalisé sur une exploitation agricole pour une jeune haie (évaluation dans l'état observé de la haie et dans l'état estimé de la haie âgée de cinq ans supplémentaires) (Annexe 6). Un deuxième test a été réalisé pour deux espaces arborés virtuels pour chacun des trois types. Malgré le grand nombre de paramètres à renseigner,

les évaluations n'ont duré qu'environ 5 minutes chacune. Ce temps apparait très convenable. De plus, il est envisageable de réduire ce temps et surtout d'améliorer l'interface de renseignement des paramètres grâce à un couplage du modèle Terafor avec d'autres modules informatiques (SIG, tableur), comme nous le verrons ultérieurement (partie 5.3.3, p. 152).

- 5 -
Discussion générale



5.1. Les apports et limites du modèle Terafor pour considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés

5.1.1. Le modèle Terafor : un modèle inédit concernant le nombre de fonctions, d'espaces arborés et d'activités couverts

L'évaluation systémique de plusieurs fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles n'est pas très répandue. Le modèle développé par Barton *et al.* (2016) est, à ma connaissance, celui qui se rapproche globalement le plus du modèle Terafor. Il précise le rôle des arbres présents et à implanter dans ou autour des pâturages en couplant des connaissances locales et scientifiques sur les services et disservices des arbres selon les essences. Il prend en compte 6 services issus des connaissances locales et qui se rapportent à 15 services issus des connaissances scientifiques. À ces services s'ajoute une trentaine de disservices, issus des connaissances locales, qui correspondent pour la plupart à des défauts ou une mauvaise adaptation des essences pour une utilisation donnée (par exemple des essences au bois restant humide après coupe et donc mal adaptées pour le bois de feu, des essences à feuilles peu nutritives et donc mal adaptées

pour l'alimentation des animaux d'élevage) et non pas à une source de préjudices du fait de leur présence comme je les considère dans mes travaux. Ces services et disservices sont focalisés sur un seul acteur, l'éleveur, mais touchent à plusieurs activités (élevage, production de bois et autres produits non ligneux, conservation des sols, esthétique et confort du lieu, protection de la biodiversité, protection de la qualité de l'eau). L'analyse des services et disservices se base sur une méthode multicritère et des règles expertes grâce à un réseau bayésien.

D'autres travaux se sont concentrés sur la quantification de services écosystémiques fournis par les parcelles de grandes cultures complantées (Alam *et al.* 2014 ; Tsonkova *et al.* 2014). Ils prennent chacun en compte moins de 10 services centrés sur l'activité agroforestière (fertilité et qualité du sol, contrôle de l'érosion, pollinisation, contrôle biologique, effet brise-vent, production de bois, production agricole, séquestration de carbone, régulation des flux hydrologiques et qualité de l'eau, provision d'habitats écologiques). Chacun des services est quantifié pour comparer les résultats selon différentes options de complantation (densité d'arbre notamment) et les caractéristiques pédoclimatiques (Tsonkova *et al.* 2014) ou pour monétariser ces services (Alam *et al.* 2014), et ainsi connaitre les apports de cette pratique agroforestière concernant ces services.

Les organismes de développement de l'agroforesterie s'intéressent naturellement aux différentes fonctions des espaces arborés. Le Centre de développement agroforestier de Chimay (CDAF) prend en compte une vingtaine de fonctions et indique synthétiquement leur effectivité en fonction de 13 espaces arborés différents (CDAF 2014a). Ces fonctions concernent le climat, la protection des eaux, la purification de l'air, la protection du sol, la biodiversité, la protection des bâtiments et des activités socio-économiques (agriculture, foresterie, tourisme, cadre de vie) et touchent donc implicitement plusieurs acteurs ou activités. Ottogali (2015) s'est intéressée aux moyens avec lesquels les organismes de développement et de promotion des haies et de l'agroforesterie en France rassemblent et représentent les fonctions des espaces arborés dans les territoires ruraux. Une vingtaine de fonctions maximum sont simultanément prises en compte et concernent diverses activités (agriculture, production de bois et autres produits non ligneux, esthétique du paysage et cadre de vie, protection de la biodiversité, épuration de l'eau…). Il ne s'agit pas d'évaluations mais de moyens de présenter les fonctions potentielles.

La question du rôle des arbres a beaucoup été étudiée pour connaître leurs apports en zone urbaine. La revue de littérature scientifique de Roy *et al.* (2012) s'est intéressé aux méthodes d'évaluation des bénéfices et coûts des arbres urbains. Les 115 études qu'ils ont analysées couvrent 100 fonctions des arbres. Mais individuellement, ces études ne prennent en compte jamais plus de 5 fonctions à la fois (Nowak *et al.* 2008 ; McPherson *et al.* 2011 ; Soares *et al.* 2011). Quelques outils d'évaluation des fonctions des arbres urbains ont été développé plus récemment et considérent environ 10 fonctions chacun (surtout des services et seulement quelques disservices) (Dobbs *et al.* 2014 ; USDA 2017).

Globalement, les études et outils proposant une évaluation des fonctions des espaces arborés considèrent rarement plus de 10 et au maximum une vingtaine de fonctions. De plus, ils se concentrent très souvent sur 1 ou 2 types d'espaces arborés. En revanche, dans la plupart de ces études ou outils, plusieurs acteurs ou activités sont concernées, mais sans que ceux-ci soient toutefois clairement explicités et repérables.

Le modèle Terafor prend en compte et évalue 77 fonctions de l'ensemble des espaces arborés des territoires agricoles tempérés en faisant ressortir 22 acteurs. L'évaluation systémique et homogène d'un si grand nombre de fonctions des espaces arborés apparait inédite. Cela a été possible grâce au logiciel DEXi qui mobilise une approche multicritère particulièrement adaptée à la considération d'objet complexe (Sadok *et al.* 2008). Le modèle Terafor montre ainsi que l'objectif d'évaluer l'ensemble des fonctions des espaces arborés des territoires agricoles est possible.

5.1.2. Un modèle à adapter selon chaque situation et projet

Nous avons vu que ces 77 fonctions des espaces arborés ne constituent pas pour autant un inventaire exhaustif puisque des fonctions manquent (partie 3.3.1, p. 93). Il sera toutefois aisé d'ajouter si nécessaire les fonctions manquantes. En effet, le modèle Terafor, en reposant sur DEXi, bénéficie d'une grande flexibilité, un des atouts de ce logiciel (Craheix *et al.* 2015).
Cette flexibilité profitera aussi à l'adaptation du modèle selon les situations et les projets pour lesquels il sera mobilisé. Cinq sortes de modifications, pouvant être liées, pourront être effectuées :

- l'ajout de fonctions manquantes, telles que celles reprérées précédemment (partie 3.3.1, p. 93), ou au contraire la suppression de fonctions jugées superflues ou inappropriées (par exemple les "activités économiques cynégétiques (7)" dans les régions où la chasse ne représente pas intérêt économique),
- le déplacement de fonctions pour les relier à des supra-fonctions différentes, (par exemple la fonction "obstacle aux activités et aménagement (40)" à placer dans les activités agricoles pour mettre en avant les contraintes à la mécanisation que les espaces arborés peuvent engendrer),
- le changement d'organisation de certaines supra-fonctions en dissociant ou en regroupant des fonctions ou supra-fonctions pour faire plus ou moins ressortir les acteurs ou activités concernés (par exemple la chasse récréative pourrait constituer une activité à part entière en étant séparée des autres activités récréatives),
- le développement de certaines fonctions en les divisant en plusieurs fonctions (par exemple distinguer les marques culturelles de l'esthétique du paysage), ou en ajoutant des infra-fonctions méritant d'être précisées (par exemple pour les différents processus d'épuration selon les polluants),
- l'ajustement des évaluations de fonctions et supra-fonctions en ajoutant ou remplaçant des paramètres (par exemple pour les fonctions dont l'évaluation proposée est directe), en réglant l'influence des critères composants sur les critères composés (en particuliers des paramètres sur les fonctions), ou en modifiant les valeurs de critères.

Toutes ces modifications entraineront la reconfiguration de portions de la structuration générale et l'ajustement de règles d'agrégation. La flexibilité de DEXi porte justement sur ces deux opérations.

5.1.3. Un modèle à enrichir avec les nouvelles connaissances

Toutes les fonctions ne disposent pas du même niveau de connaissance. Certaines ont été très étudiées et on détient pour celles-ci des connaissances bien établies. Au contraire, on a pour d'autres fonctions que peu de recul et pour celles-ci les connaissances sont peu nombreuses ou à conforter. Ce niveau de connaissances varie entre les fonctions, mais également entre les types d'espaces arborés. Globalement, les fonctions des espaces arborés linéaires et notamment des haies ont été plus étudiées que les espaces arborés

ponctuels (arbres isolés, bosquets). Cela apparait dans le modèle Terafor, puisque l'évaluation des fonctions du type linéaire repose sur une grande part de paramètres pour lesquels des informations quantitatives sont disponibles, alors que l'évaluation des fonctions du type ponctuel repose le plus souvent sur des informations qualitatives.

En outre des informations contradictoires peuvent concerner certaines fonctions. C'est par exemple le cas pour le contrôle des bioagresseurs des grandes cultures auquel il est communément admis que les haies contribuent en abritant et disséminant à proximité leurs ennemis naturels. Sur ce sujet, des travaux récents révèlent que l'effet des haies sur le contrôle des bioagresseurs est plutôt consensuel pour un ensemble de haies à une large échelle mais est plus discuté pour une haie à une échelle locale (Dainese *et al.* 2017 ; Garratt *et al.* 2017). Cet exemple montre la nécessité de mises à jour régulières du modèle Terafor, notamment sur les fonctions peu ou récemment étudiées. De plus, et dans la continuité du travail en cours pour référencer et expliciter les choix opérés dans le modèle Terafor (partie 4.3, p. 128), il serait enrichissant d'indiquer le niveau de connaissances concernant les paramètres, leurs valeurs et leur influence sur les fonctions. On connaitrait ainsi le niveau de connaissances sur les fonctions elles-mêmes. Pour cela il serait intéressant de préciser si les informations disponibles et prises en compte dans le modèle sont, d'une part, bien attestées ou au contraire faiblement établies voire non documentées et, d'autre part, plutôt concordantes ou au contraire contradictoires. Cela révèlerait les fonctions sur lesquelles les discussions entre acteurs devraient être plus approfondies, sur lesquelles une plus grande prudence devrait être observée quant à leur prédictibilité dans les projets et sur lesquelles la recherche de connaissances devrait se concentrer.

5.2. Les apports et les limites de la méthodologie adoptée pour la construction du modèle Terafor

5.2.1. DEXi : une méthode appropriée à l'évaluation des fonctions des espaces arborés

Une recherche dans Web of Science (septembre 2017) de travaux recourant à l'utilisation de DEXi (*Topic* : "DEXi") dans les domaines de l'agronomie, de la foresterie et de l'environnement (*Web of Science Categories* : "*Agriculture dairy animal science*",

"*Agriculture multidisciplinary*", "*Agronomy*", "*Biodiversity conservation*", "*Engineering environmental*" "*Environmental science*", "*Environmental studies*", "*Forestry*", "*Horticulture*" et "*Soil science*") a répertorié 18 articles scientifiques (*Document types* : "*Article*" et "*Review*"). Ces publications ont rapport à des outils reposant sur DEXi pour évaluer la durabilité ou la performance de systèmes ou pratiques agricoles ou d'activités de tourisme à la ferme ou d'écotourisme. Parmi ces publications, plus de la moitié (10) impliquent des auteurs d'instituts de recherche agronomique français. En France, les outils supportés par DEXi et appliqués à des objets agronomiques se focalisent sur l'étude de la durabilité de systèmes ou pratiques agricoles (Gerber *et al.* 2009 ; Alaphilippe *et al.* 2015 ; Craheix *et al.* 2015 ; Alaphilippe et Castel 2017). Ces outils consistent à évaluer les contributions de pratiques agricoles à différentes composantes économiques, sociales et écologiques de systèmes agricoles. Bien que le modèle Terafor ne soit pas centré sur la durabilité mais sur la multifonctionnalité des espaces arborés, il ressemble à ces outils quant à l'objectif de l'évaluation, puisqu'il consiste à évaluer les contributions des espaces arborés aussi sur différentes composantes (activités) économiques, sociales et écologiques des territoires agricoles. Cette proximité des notions de durabilité et de multifonctionnalité a déjà été constatée par ailleurs (Cairol *et al.* 2006). Sadok *et al.* (2008) démontrent que DEXi est bien indiqué pour traiter la durabilité car il repose sur une méthode d'aide à la décision multicritère particulièrement appropriée à la prise en charge de la complexité inhérente à cette notion. Cette complexité apparait aussi dans la considération des multiples fonctions des espaces arborés à laquelle s'attache le modèle Terafor.

À ma connaissance, il existe deux utilisations de DEXi en lien avec l'agroforesterie :

- Dexi-AF (Warlop et Castel 2016 ; Alaphilippe et Castel 2017) est un outil d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes agroforestiers initialement utilisé pour la conception de vergers maraîchers. Il a ensuite été généralisé pour s'appliquer à toutes parcelles associant des arbres et des cultures,
- le modèle de Tojnko *et al.* (2011) d'évaluation multifonctionnelle des prés-vergers sert à estimer leur rôle quant à la production, à la diversité des paysages et à la biodiversité.

Ces deux applications de DEXi à l'agroforesterie diffèrent du modèle Terafor par le nombre restreint d'espaces arborés et donc de systèmes agroforestiers couverts. En

outre, Dexi-AF n'est pas consacré à l'évaluation des fonctions des espaces arborés mais à la durabilité économique et agronomique des systèmes agroforestiers. Le modèle de Tojnko *et al.* quant à lui sert à évaluer les caractéristiques multifonctionnelles des prés-vergers et s'apparente ainsi au modèle Terafor. Toutefois, il ne couvre que 6 fonctions de ce type d'espace arboré.

L'analyse multicritère que propose DEXi décompose le système considéré en sous-systèmes moins complexes. Elle facilite ainsi son étude et sa compréhension par les utilisateurs du modèle. La compréhension aisée par les utilisateurs des modèles construits avec DEXi tient aussi au système expert sur lequel repose l'évaluation (partie 2.2.2, p. 56). Ce système expert présente l'avantage de pallier le manque d'informations en recourant aux dires d'experts. Mais, en contrepartie, ce recours aux dires d'experts conduit à la mobilisation d'informations parfois mal établies, comme cela est aussi le cas dans l'outil Dexi-AF (Alaphilippe et Castel 2017). Le système expert dans DEXi est associé à une évaluation qualitative contribuant là encore à l'intelligibilité des modèles. Par ailleurs, il apparait que les travaux qui évaluent quantitativement les fonctions d'arbres ou d'espaces arborés n'en considèrent jamais plus de 10 chacun (Palma *et al.* 2007a ; Tsonkova *et al.* 2014 ; USDA 2017). La quantification d'une fonction d'un espace arboré n'a d'intérêt que si l'incertitude sur le résultat est faible. Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte un grand nombre de paramètres et de mesurer ou d'estimer ces paramètres avec suffisamment de précision. Or, le niveau de connaissance pour la plupart des fonctions des espaces arborés apparait insuffisant pour envisager une telle quantification. Cette quantification est toutefois possible et proposée pour quelques fonctions. Mais elle requiert le développement d'algorithmes ou de modèles complexes et délicats à combiner ensemble. Cela explique vraisemblablement le nombre toujours limité de fonctions quantifiées prises en compte conjointement (Palma *et al.* 2007a ; Nowak *et al.* 2008 ; McPherson *et al.* 2011 ; Soares *et al.* 2011 ; Tsonkova *et al.* 2014). L'évaluation qualitative des fonctions du modèle Terafor avec DEXi semble donc un moyen pertinent pour prendre en charge des niveaux de connaissance, des incertitudes et des natures de l'information hétérogènes (Craheix *et al.* 2015), et ainsi réussir à considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés. Toutefois, comme le notifie aussi Craheix *et al.* (2015), cette évaluation qualitative entraine la perte de précision ou l'omission d'informations pour les fonctions sur lesquelles les connaissances sont

approfondies (limitations de la vitesse du vent, compétition avec les cultures, limitation de l'érosion).

5.2.2. L'approche systémique supportée par le modèle Terafor

J'ai choisi de recourir à l'analyse multicritère pour traiter le sujet de ma thèse car elle est bien indiquée pour appréhender les systèmes complexes et aider à la décision sur ceux-ci (Schärlig 1985 ; Pardalos *et al.* 1995) (partie 2.2, p. 52). Elle m'a servi de support de déploiement de l'approche systémique appliquée à l'ensemble des fonctions des espaces arborés.

Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but (De Rosnay 1975). La complexité d'un système intervient lorsque :

- les éléments et les interactions sont nombreux et divers,
- des influences avec l'extérieur du système et des rétroactions interviennent,
- ce système s'inscrit dans un emboitement hiérarchique en étant un élément composant un autre système plus englobant et en étant composés d'éléments qui constituent des systèmes en eux-mêmes.

Les interactions des éléments entre eux et des éléments avec l'extérieur du système correspondent à des relations d'influence ou d'échange de matière, d'énergie ou d'information. Ces interactions ne sont pas uniquement linéaires ou de cause à effet, mais interviennent aussi des effets de seuil ou de rétroaction. L'impossibilité de connaitre complètement les éléments et interactions d'un système complexe entrainent des incertitudes sur ses propriétés (ce qui le compose et ce qu'il produit) et sur son fonctionnement.

L'approche systémique prend en compte la complexité d'un système pour considérer son organisation et son fonctionnement dans sa globalité. Un système est alors considéré en partant d'une vue générale pour approfondir ensuite les détails. Cet approfondissement est effectué en retenant que des propriétés émergentes ressortent de l'ensemble des éléments et, ainsi, qu'un système n'est pas seulement la somme de ses éléments (Morin 2005). De plus, et à la différence de l'approche analytique, l'approche systémique considère les interactions entre les éléments comme étant au moins aussi importantes que les éléments eux-mêmes. L'étude de l'interdépendance des éléments et de la cohérence de l'ensemble est fondamentale. L'approche systémique nécessite souvent de

simplifier le système étudié en un modèle. Cette simplification est effectuée selon l'objectif de l'étude du système et porte sur les propriétés du système ou sur les processus dictant son fonctionnement. Elle facilite la compréhension du système et garantit l'utilité et la performance du modèle.

Dans le cadre de ma thèse et pour le modèle Terafor, j'ai voulu garder et représenter toute la complexité du rôle des espaces arborés dans les territoires agricoles en considérant l'ensemble de leurs fonctions. Je n'ai donc pas simplifié ce système sur ses propriétés. En revanche, j'ai proposé une évaluation de toutes les fonctions reposant sur un nombre limité de paramètres et sur des règles expertes. J'ai donc simplifié ce système sur son fonctionnement. Malgré cette simplification, le modèle Terafor reste encore complexe. Ainsi, le grand nombre de tables d'agrégation ne permet pas de parcourir rapidement l'ensemble du modèle et d'accéder aisément à toutes les informations qu'il contient. De plus, le nombre de critères composés (fonctions et supra-fonctions) est responsable d'une structuration dense et le nombre de critères de base (paramètres) entraine une certaine lourdeur dans leur renseignement. Cela pénalise donc la transparence et l'intelligibilité du modèle et limite son opérationnalité. Des pistes d'améliorations du modèle Terafor pour dépasser ces limites sont proposées ultérieurement (partie 5.3.3, p. 152).

La structuration hiérarchique du modèle Terafor, imposée par DEXi, reproduit l'emboitement de systèmes que l'approche systémique s'attache à prendre en compte. Cependant, cette structuration du modèle se restreint à des relations linéaires entre les critères (paramètres – fonctions – supra-fonctions). Cette linéarité est une limite à l'approche systémique dans laquelle je me suis inscrit. Il serait possible d'y remédier en créant avec DEXi d'éventuelles liaisons entre critères. Ainsi, le résultat de l'analyse d'un critère pourrait servir en entrée de l'analyse d'un autre critèrede même niveau, voire de niveau précédent. Cela reproduirait des interdépendances entre différents éléments du système modélisé qui seraient alors prises en compte dans le modèle Terafor.

Les modèles implémentés dans DEXi ne sont pas adaptés à prendre en compte la dynamique des éléments et de leurs interactions dans les systèmes étudiés. Ainsi, pour le modèle Terafor, les paramètres renseignés représentent les caractéristiques des espaces

arborés à un instant donné. Ils ne sont pas des variables qui prendraient en compte l'évolution des conditions qui s'appliquent à ces espaces (position par rapport au soleil au court de la journée ou des saisons, orientation et vitesse du vent, utilisation des espaces adjacents) ou les évolutions des caractéristiques des espaces arborés évalués (croissance des arbres, pratiques de gestion). Toutefois, il est possible de contourner en partie cette limite par la construction de scénarios, par leur évaluation ex ante avec le modèle Terafor puis par la comparaison des résultats de leur évaluation. Il est ainsi possible, par exemple, d'évaluer les fonctions d'un espace arboré à 5, 10 et 20 ans après sa plantation en estimant les paramètres dans l'avenir, ou de comparer des fonctions entre l'hiver et l'été ou entre le matin, le midi et le soir. C'est ce qui a été réalisé lors de l'utilisation du modèle Terafor sur une exploitation agricole pour évaluer les fonctions d'une haie dans son état observé et dans un état estimé cinq ans plus tard (Annexe 6).

Le modèle Terafor concrétise l'approche systémique dans laquelle j'ai inscrit mes travaux de thèse. Il montre cependant quelques limites quant à la prise en compte de certaines particularités de cette approche (simplification du système, interactions non linéaires entre les critères, dynamique des fonctions des espaces arborés). Mais ces limites ne devraient pas contrarier la finalité du modèle ou pourront être solutionnées en appliquant les pistes de développement de l'outil visé proposées dans la partie 5.3 suivante.

5.3. Les perspectives : du modèle Terafor à un outil d'aide à la discussion

5.3.1. Le modèle Terafor pour les démarches participatives et le développement territorial

L'analyse multicritère avec DEXi est propice à la conception participative de modèles grâce à son fonctionnement simple, flexible et transparent (Craheix *et al.* 2015). Le modèle Terafor bénéficie de ces qualités et est ainsi adapté à une opérationnalisation participative, c'est-à-dire à la réalisation des ajustements possibles pour adapter le modèle aux projets et aux territoires considérés (partie 5.1.2, p. 141) tout en impliquant des acteurs concernés.

Le modèle Terafor a aussi été volontairement construit pour devenir la base d'un outil

participatif qui servira à impliquer les différents acteurs concernés par les espaces arborés et leurs fonctions dans la construction de projets de territoires agroforestiers. Ces acteurs ont souvent plusieurs casquettes et peuvent ainsi pratiquer plusieurs activités (par exemple un éleveur et résident du territoire ou un agriculteur, résident du territoire et chasseur). Il aurait été impossible de représenter dans un tel modèle générique tous les acteurs en couvrant la diversité des combinaisons des casquettes. J'ai donc choisi d'organiser l'ensemble des fonctions dans la structuration du modèle Terafor selon les activités qu'elles influencent dans les territoires agricoles. Cette structuration met ainsi en exergue les activités de manière à ce que les acteurs concernés se repèrent aisément et ciblent les fonctions qui les intéressent. Un même acteur peut se retrouver dans plusieurs activités couvertes par le modèle Terafor.

La structuration des fonctions centrée sur les activités prépare ainsi le modèle Terafor à une utilisation lors de démarches participatives impliquant les différents acteurs concernés. En outre, cette structuration est adaptable selon les projets et les territoires considérés. En effet, il est possible de la modifier pour prendre en compte ou faire apparaître différemment certains acteurs et les fonctions qui les concernent. Par exemple, dans le modèle Terafor proposé la chasse récréative est incluse parmi les activités récréatives. Elle pourrait toutefois apparaitre comme une activité à part entière dans le cas où le choix serait fait de mettre plus en avant les acteurs pratiquant la chasse pour le loisir.

Globalement, les acteurs des territoires agricoles semblent avoir des connaissances limitées sur les bénéfices des arbres et de l'agroforesterie (Gao *et al.* 2014). Pour impliquer ces acteurs dans la construction de projets de territoires agroforestiers, un moyen d'organiser et de rendre accessibles les connaissances sur les espaces arborés et leurs fonctions apparait indispensable. Seuls, des dispositifs d'animation de discussions entre les acteurs seraient insuffisants. En fournissant des informations sur l'ensemble des fonctions des espaces arborés, le modèle Terafor constitue un bon moyen pour cet apport de connaissances. Le résultat de l'évaluation des fonctions ainsi que les connaissances sur lesquelles elle repose sont autant d'informations mobilisables pour initier et alimenter les réflexions et les discussions sur les espaces arborés avec les différents acteurs concernés. Cette évaluation constitue une simplification du fonctionnement des fonctions des espaces arborés. Les nombres de paramètres et de leurs valeurs sont notamment limités

pour évaluer chacune des fonctions. Cette simplification incite à un approfondissement à la suite des discussions pour envisager une prise de décision concernant les espaces arborés et leurs fonctions. En l'état, et à la différence de la plupart des outils basé sur DEXi, le modèle Terafor est donc configuré pour aider à la discussion avant d'aider plus indirectement à la décision.

Le modèle Terafor s'attache à apporter des informations afin que les acteurs concernés discutent sur les fonctions des espaces arborées pour toutes les activités et sur la place réservée à ces espaces dans les territoires agricoles. En se focalisant sur certains territoires et sur certains de leurs espaces, le modèle n'a pas vocation à couvrir le développement territorial en général. Mais, lui et l'outil participatif qui en découlera pourront particulièrement accompagner le développement de territoires agroforestiers.

5.3.2. Un modèle qui a sa place dans les démarches de construction de projets partagés de territoire

Au cours de démarches de construction de projets de territoire, les porteurs de projets, peuvent décider de recourir à la participation pour s'assurer de parvenir à des projets partagés. Pour cela, des outils participatifs peuvent être employés pour faciliter l'implication des acteurs. Ces outils n'ont pas tous la même fonction lors de ces démarches. Vigan *et al.* (article soumis) (Annexe 1) définissent quatre types d'outils selon la phase de la démarche à laquelle ils contribuent et selon la participation mise en œuvre (Figure 16).

Le modèle Terafor est approprié à une utilisation participative. Les acteurs pourront en effet facilement participer à son adaptation aux projets et aux territoires considéré (partie 5.3.1, p. 148). Ce travail d'adaptation pourra être l'occasion pour les acteurs impliqués d'expliciter les fonctions à retenir et leur l'importance, les paramètres nécessaires à leur évaluation, les supra-fonctions à faire ressortir. Il sera ainsi une première occasion d'identifier et de croiser les connaissances, représentations et motivations de ces acteurs. Une fois le modèle adapté, l'évaluation apportera une représentation et des informations sur l'ensemble des fonctions des espaces arborés. Cela alimentera les discussions avec et entre les acteurs concernés. Ces discussions seront une

deuxième occasion d'identifier et de croiser les différentes connaissances, représentations et motivations des acteurs. En effet, le lancement de l'évaluation et surtout les réflexions et discussions sur le résultat de l'évaluation pourront servir à exprimer, à questionner et à confronter ces connaissances, représentations et motivations. Il sera alors possible d'intégrer celles-ci au projet considéré en définissant des actions qui les prennent en compte et y répondent.

Ainsi, il apparait que le modèle Terafor pourra être à la base d'outils de deux types différents selon le mode d'implication des acteurs :

- s'il est utilisé avec les acteurs individuellement, il facilitera l'identification et le croisement des différentes connaissances, représentations et motivations (type 1, en haut à gauche de la Figure 16),
- s'il est utilisé avec les acteurs collectivement, il facilitera l'identification, le croisement et l'intégration des différentes connaissances, représentations et motivations (type 4, en bas à droite de la Figure 16).

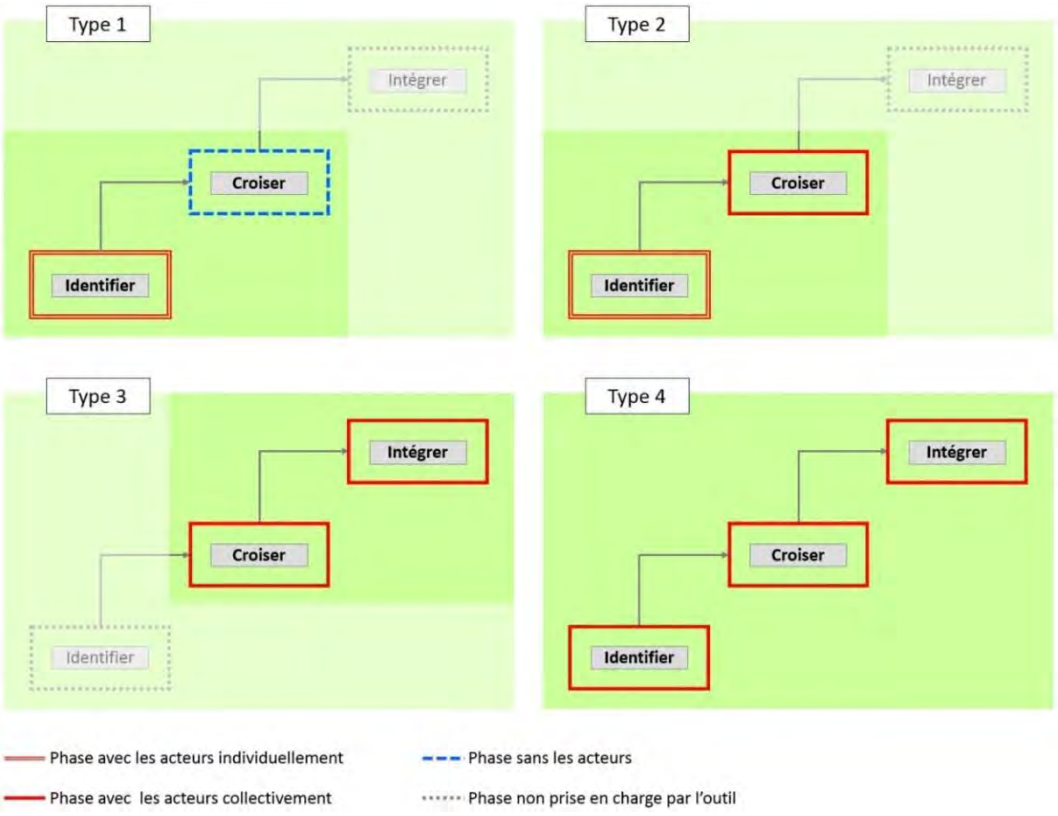


Figure 16 : Typologie des outils participatifs pour la construction de projets de territoire, selon leur fonction et la participation qu'ils mettent en œuvre

L'utilisation d'outils participatifs lors de la construction de projets de territoire n'est pas une garantie suffisante d'une participation effective (Bonaccorsi et Nonjon 2012) et de l'accomplissement de projets partagés. De plus, si la participation est largement mise en avant dans de nombreux domaines (recherche scientifique, aménagement du territoire, management d'entreprise), elle nécessite de s'interroger sur sa légitimité et sur sa mise en œuvre lors des démarches qui y ont recours (Barnaud 2013). Une réflexion sur le déroulement des démarches, le rôle des parties prenantes et la destination des outils utilisés est aussi indispensable pour envisager une participation effective et pour parvenir à des projets partagés de territoire (D'Aquino et Seck 2001). Une telle réflexion devra être menée pour les utilisations du modèle Terafor et de l'outil dont il sera la base lors de la construction de projets partagés de territoires agroforestiers.

5.3.3. Vers un outil d'aide à discussion pour la construction de projets partagés de territoires agroforestiers

Le modèle Terafor répond à l'objectif fixé de mes travaux de thèse d'évaluer et apporter des informations homogènes sur l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles. Je l'ai aussi construit pour qu'il s'inscrive dans la finalité d'aider à la discussion entre les acteurs concernés sur les fonctions des espaces arborés pour la construction de projets partagés de territoires agroforestiers. Comme nous venons de le voir, il présente de nombreux avantages pour répondre à cette finalité grâce à sa mise en exergue des activités dans les territoires agricoles influencées par les fonctions des espaces arborés, à l'intelligibilité de l'évaluation de ces fonctions et de son résultat, à la capacité d'adaptation de l'évaluation aux situations considérées et à la facilité d'utilisation par ou avec les acteurs concernés. Afin de parvenir à un outil qui valorise effectivement ces avantages et qui supporte ainsi la finalité visée, un travail d'opérationnalisation et d'expérimentation du modèle Terafor est à prévoir. Les principales pistes envisagées de ce travail sont présentées ci-dessous.

Les premiers enseignements sur l'utilisabilité du modèle Terafor concernant le temps d'exécution de l'évaluation et les discussions que le résultat peut engendrer sont encourageants (partie 4.3.3, p. 133). Il s'agirait maintenant de s'assurer de son utilisabilité dans des démarches participatives et pour le développement territorial. Pour cela, les

avantages cités ci-dessus seraient à confirmer en expérimentant l'application du modèle lors de projets de développement de systèmes agroforestiers. Ces expérimentations serviraient à tester le modèle Terafor sur sa capacité à impliquer les différents acteurs concernés et sur sa capacité à apporter des informations ou à cibler les informations à recueillir pour discuter et définir les actions à intégrer dans les projets. Le résultat des tests effectués pourront servir à ajuster la configuration du modèle pour qu'il soit performant lors d'utilisations participatives et à produire une notice d'utilisation du modèle et des adaptations à effectuer selon les projets. Le projet APIL avait été pressenti pour de telles expérimentations avec l'utilisation du modèle notamment dans la région de coteaux à l'est du département de l'Ariège, une des zones couvertes par ce projet (partie 1.1.2, p. 27). En effet, dans cette zone des discussions auxquelles j'ai contribué ont été menées et ont révélées l'intérêt de considérer dans un projet les divers espaces arborés, l'ensemble de leurs fonctions et les différents acteurs concernés, le tout à l'échelle du territoire. Malgré cet intérêt partagé par les acteurs réunis (élus et agents de la communauté de commune, agents du syndicat de rivière, agents de la chambre d'agriculture, chercheurs), ces discussions n'ont pas été approfondies, ni concrétisées. Pourtant, le modèle Terafor apparaissait approprié pour les poursuivre et envisager un projet partagé de territoire agroforestier. L'impossibilité de synchroniser mes travaux de thèse et le projet APIL a empêché son utilisation lors de ce projet.

Pour faciliter son utilisation et améliorer ses performances, le modèle Terafor pourrait être couplé à d'autres logiciels ou modules informatiques. Un couplage avec un tableur ou des modules de calcul allégerait le remplissage des paramètres en effectuant un traitement de certaines données brutes pour produire les informations nécessaires en entrée du modèle. Ce genre de couplage est par exemple employé avec l'outil MASC d'évaluation de la durabilité de systèmes de cultures implémenté dans DEXi, pour lequel de nombreuses données en entrée sont produites avec des modules de calcul externes (Sadok *et al.* 2009). Pour le modèle Terafor, un tableur pourrait définir la valeur de nombreux paramètres à partir de quelques données, notamment quantitatives, sur les caractéristiques des espaces arborés. Par exemple, une formule de calcul dans un tableur pourrait facilement déterminer 19 paramètres de longueur d'un espace arboré linéaire ("LongueurPos100" répété douze fois, "LongueurPos50" répété quatre fois, "LongueurNeg100" et "LongueurNeg50" répété deux fois) à partir d'une seule donnée

mesurée et renseignée dans ce tableur.

En outre, un couplage avec un système d'information géographique pourrait servir à collecter des informations spatiales sur les espaces arborés évalués et les renseigner dans le modèle Terafor directement ou en passant par des modules de calcul. Il préparerait et simplifierait ainsi les observations de terrain. L'exemple précédent de la longueur d'une haie illustre l'utilité d'un tel couplage pour éviter cette mesure sur le terrain. Un système d'information géographique pourrait aussi servir à représenter spatialement le résultat des évaluations et en proposer ainsi une visualisation spatialisée. Il serait alors possible de rendre compte par exemple de la spatialité des effets des espaces arborés comme le proposent Decocq *et al.* (2016) et qui semblent important à considérer pour la construction de projets de territoires agroforestiers (partie 3.3.3, p. 101).

Tableur et système d'information géographique serviraient aussi à produire des résultats pour un grand nombre d'espaces arborés en automatisant, au moins partiellement, leur évaluation. Il serait alors possible d'évaluer rapidement tous les espaces arborés d'un territoire. Cette capacité à couvrir aisément des territoires entiers faciliterait la construction de projets agroforestiers considérant tous les espaces arborés.

En plus d'un éventuel couplage à un tableur et/ou à un système d'information géographique, la conception d'une interface pour faciliter l'utilisation et améliorer l'ergonomie du modèle Terafor est envisageable. Cette interface servirait par exemple à représenter les résultats des évaluations. Pour cela, il serait possible de s'inspirer des travaux de Dobbs *et al.* (2014) qui ont développé des représentations cartographiques du résultat de l'évaluation des services et disservices des forêts urbaines qu'ils étudient. L'interface pourrait aussi servir à faciliter l'exploration et la compréhension de l'intérieur du modèle, à rendre fonctionnel le dispositif de renseignement des paramètres, à regrouper les évaluations des trois types d'espaces arborés dans un seul exécutable et à orienter vers l'évaluation la plus adaptée à l'espace arboré considéré, à exécuter les liens avec les logiciels ou module informatiques couplés. Une telle interface aiderait à exploiter pleinement les potentiels du modèle Terafor et à alimenter les discussions entre les acteurs concernés lors de la construction de projets de territoires agroforestiers.

Le modèle Terafor évalue les espaces arborés individuellement. Mais, d'une part, certaines fonctions des espaces arborés dépendent du contexte dans lequel elles se trouvent et notamment de la présence et des caractéristiques des autres espaces arborés

connectés à ou à proximité de celui évalué. D'autre part, pour le développement territorial, des informations à l'échelle du territoire ou de portion de territoire sont utiles et l'apport d'informations sur des ensembles d'espaces arborés en plus de celles sur les espaces arborés individuellement peut être pertinent. Ainsi, le développement d'un modèle complémentaire au modèle Terafor pourrait être envisagé pour :

- agréger les informations que le modèle Terafor apporte sur chaque espace arboré afin de produire des informations pour l'ensemble des espaces arborés d'un territoire,
- renvoyer des informations au modèle Terafor pour renseigner certaines caractéristiques de contexte et préciser l'évaluation des fonctions de chaque espace arboré individuellement.

Ce modèle complémentaire serait par exemple utile pour des projets portant une attention particulière au contrôle biologiques des bioagresseurs. En effet, la fonction des espaces arborés de régulation des bioagresseurs semble surtout être effective à l'échelle du paysage avec une forte densité de haie (Dainese *et al.* 2017), mais il dépend aussi de la qualité des haies (Garratt *et al.* 2017). L'agrégation de la qualité d'un ensemble de haie peut servir à préciser cet effet pour un ensemble de haies. Et cet effet à l'échelle du paysage peut être réparti dans chaque haie selon sa qualité et d'autres caractéristiques (position dans le maillage de haies, connexion avec les autres haies). Ainsi, dans un tel cas, les deux modèles amélioreraient nettement l'évaluation de cette fonction et l'estimation voire la prédiction de son effet.

Des travaux sur l'évaluation des effets environnementaux de systèmes agroforestiers (Palma *et al.* 2007b) ou sur l'évaluation de la durabilité de systèmes agricoles (Chopin *et al.* 2017) vont dans le sens d'une agrégation d'informations d'une échelle fine vers une échelle large. Ils pourraient inspirer la conception d'un modèle d'agrégation d'informations produites par le modèle Terafor. En revanche, aucun travail, à ma connaissance, ne s'est attaché à apporter des informations sur un territoire agricole ou agroforestier vers ses composantes, telles que les espaces arborés.

Conclusion :
Le modèle Terafor pour l'apprentissage de l'agroforesterie, de l'agroécologie et de la multifonctionnalité



Le modèle Terafor a été construit en vue d'aider les acteurs des territoires agricoles à discuter de l'ensemble des fonctions des espaces arborés pour construire des projets partagés de territoires agroforestiers. Comme nous l'avons vu, les propriétés du modèle en font une base solide et appropriée pour constituer un outil destiné à atteindre cette finalité.

Les informations que le modèle Terafor capitalise et rend accessibles peuvent dès maintenant servir à faire connaître l'agroforesterie et les fonctions des espaces arborés et leurs effets dans les territoires agricoles. De plus, en organisant et en apportant des informations sur l'ensemble des fonctions des espaces arborés, le modèle Terafor apporte une représentation documentée de la multifonctionnalité des espaces arborés. Le principe de la multifonctionnalité, notamment en agriculture, s'est largement effacé face à celui des services écosystémiques. Pourtant, d'une part, les deux principes n'ont ni le même sens, ni le même objectif : la multifonctionnalité couvre les diverses fonctions des systèmes anthropiques et vise à accroitre l'attention portée à celles non économiques et à maintenir un équilibre entre toutes, alors que les services écosystémiques couvrent les fonctions des écosystèmes et visent à accroitre l'attention portée à la conservation des

écosystèmes et à en tirer avantage (Renting *et al.* 2009 ; Bonnal *et al.* 2012). Il apparait donc que ces principes sont plus complémentaires que substituables. Et d'autre part, la multifonctionnalité devrait être mise en avant dans le développement territorial pour la construction de territoires agricoles et forestiers durables (Cairol *et al.* 2006 ; Boiffin *et al.* 2014). Les espaces arborés semblent pertinents pour traiter sereinement la multifonctionnalité de l'agriculture et de la foresterie. En effet, ces espaces situés dans les territoires agricoles ne sont, pour la plupart, pas l'objet d'activités agricoles ou sylvicoles très importantes. Ils ne sont donc considérés que secondairement pour la fonction de production économique, ce qui laisse la place à la prise en compte des fonctions non économiques. Les espaces arborés dans les territoires agricoles pourraient ainsi s'avérer être une entrée privilégiée pour aborder le sujet de la multifonctionnalité pour le développement de territoires agroforestiers.

En outre, les espaces arborés sont des écosystèmes ou des parties d'écosystèmes qui par leurs fonctions influent sur les activités agricoles et agroforestières. En considérant les fonctions qui concernent ces deux activités, le modèle Terafor traite les influences agroécologiques des espaces arborés. Le modèle Terafor aborde et mobilise donc les principes de l'agroécologie à laquelle se rattache étroitement l'agroforesterie (partie 1.4.2, p. 38).

Ainsi, une finalité supplémentaire est envisageable pour le modèle Terafor, celle de l'enseignement de l'agroforesterie, mais aussi des principes de l'agroécologie et de la multifonctionnalité.

La proposition de cette finalité supplémentaire émerge de retours d'expérience. En effet, lors de mes fonctions d'enseignant assurées en paralèlle de ma thèse, j'ai assuré des interventions consacrées à l'agroforesterie et à l'agroécologie auprès d'étudiants ingénieurs et masters. Ces enseignements étaient parfois réalisés à double voix avec Medhi Bounab (Dumesnil *et al.* 2018), coordinateur et animateur du projet APIL (partie 1.1.2, p. 27). Il en est ressorti le besoin d'outiller et d'imaginer des supports innovants pour enseigner ces sujets. Je me suis donc appuyé sur mes travaux de thèse et j'ai utilisé le modèle Terafor pour construire mes enseignements sur l'agroforesterie, l'agroécologie et pour aborder la multifonctionnalité des agroécosystèmes. L'animation de discussions riches et instructives entre étudiants interprétant le rôle des acteurs des territoires agroforestiers, m'a confirmé le potentiel du modèle Terafor à constituer un

support original d'apprentissage et de réflexion sur les fonctions des espaces arborés pour concevoir des pratiques et des systèmes agroforestiers et plus largement agroécologiques et multifonctionnels.

Mes travaux de thèse et le modèle Terafor ont vocation à aider à la construction de projets partagés de territoires agroforetiers. Ils pourront ainsi contribuer à poursuivre le développement de l'agroforesterie. Le modèle Terafor s'avèrent être aussi un support original et efficace pour l'apprentissage de l'agroforesterie ainsi que des principes de l'agroécologie et de la multifonctionnalité qui y sont étroitement reliées.

Bibliographie

Abdellaoui M, Gonzales C (2006) Théorie de l'utilité multi-attributs, dans Bouyssou D, Dubois D, Pirlot M, Prade H (dir.) *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision 3*, Hermes Science Publications - Lavoisier edition (Informatique et Systèmes d'Information), Paris, France, 324 p.

AFAF (2014) *La nouvelle Politique Agricole Commune : une opportunité pour développer l'agroforesterie*, 8 p.

AFAHC Midi-Pyrénées (2013) *L'arbre et la diversité des paysages. L'arbre champêtre dans la trame verte et bleue en Midi-Pyrénées. Livret 1*, TVB Midi-Pyrénées, 19 p.

Agroof (2018) *Transgal, des projets territoires agroforestiers*, http://transgal.projet-agroforesterie.net/ (consulté le 03/01/2018)

Alam M, Olivier A, Paquette A, Dupras J, Revéret J-P, Messier C (2014) A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems, *Agroforestry systems, 88*, 4, pp. 679-691

Alaphilippe A, Angevin F, Guérin A, Guillermin P, Vélu A, Franziska Z (2015) *DEXiFruits: an easy-to-use tool to evaluate the sustainability of fruit production systems*, INRA (poster)

Alaphilippe A, Castel L (2017) Dexi-AF : Adaptation, analyse de sensibilité et tests de l'outil Dexi-AF pour la co-conception assisté de projets agroforestiers, *Journée d'échanges du RMT AgroforesterieS. Croisons les regards #2* (Paris, France) APCA (communication)

Altieri MA (1989) Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture, A*griculture, Ecosystems and Environment, 27*, pp.37-46

Ananda J, Herath G (2009) A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning, *Ecological economics 68*, 10, pp. 2535-2548

Ango TG, Börjeson L, Senbeta F, Hylander K (2014) Balancing ecosystem services and disservices: smallholder farmers' use and management of forest and trees in an agricultural landscape in southwestern Ethiopia, *Ecology and Society, 19* (en ligne).

ANORIBOIS (2006) *Présentation de la filière forêt-bois*, 6 p.

Arbre et paysage 32 (2013) *Présentation de l'association et de ses activités*, 9 p.

Arbres et paysages d'Autan (2013) *Arbres et arbustes champêtres des paysages de Haute-Garonne. Guide pratique*, 41 p.

Arbres et paysages d'Autan (2018) *Qui sommes nous ?*, http://www.arbresetpaysagesdautan.fr/spip.php?rubrique1 (consulté le 31/01/2018)

Arnstein SR (1969) A ladder of citizen participation, *Journal of the American Institute of planners, 35*, 4, pp. 216-224

Bailly A, Valenzisi M, Brédif H, Simon L, Arnould P, Vigan M, Michel K (2014) *OPTIQ-Biodiversité, Outils et processus pour une territorialisation intégrée de la qualité de la biodiversité*, FCBA, Université Paris 1, ENS Lyon, 140 p.

Balny P, Domallain D, de Galbert M (2015) *Promotion des systèmes agroforestiers. Propositions pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux productions agricoles*, CGAAER, 78 p.

Barnaud C (2013) La participation, une légitimité en question, *Natures Sciences Sociétés 21*, 1, pp. 24-34

Barton DN, Benjamin T, Cerdán CR, DeClerck F, Madsen AL, Rusch GM, Salazar ÁG, Sanchez D, Villanueva C (2016) Assessing ecosystem services from multifunctional trees in pastures using Bayesian belief networks, *Ecosystem Services, 18*, pp. 165-174

Bayala J, Kityali A, Ong C, de Foresta H, Coe R (2011) Agroforesterie, dans Liniger HP, Mekdaschi Studer R, Hauert C, Gurtner M (dir.) *La pratique de la gestion durable des terres*, TerrAfrica, WOCAT, FAO, Midrand, South Africa, 249 p.

Behzadian M, Kazemzadeh RB, Albadvi A, Aghdasi M (2010) PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European journal of Operational research 200*, 1, pp. 198-215

Ben Mena S (2000) Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 4*, 2, pp. 83-93

Benoît M, Rizzo D, Marraccini E, Moonen AC, Galli M, Lardon S, Rapey H, Thenail C, Bonari E (2012) Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics, *Landscape ecology 27*, 10, pp. 1385-1394

Bergès L, Roche P, Avon C (2010) Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêts et limites pour la mise en place de la Trame verte et bleue, *Sciences Eaux et Territoires*, 3, pp. 34-39

Bergez J-É (dir.) (2010) *MASC-DEXiPM-DEXifruits*, http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/Main/ (consulté le 12/12/2017)

Bergez J-É (dir.) (2018) *Interface IZI-EVAL*, http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/Interface+IZI-EVAL/Accueil (consulté le 2/05/2018)

Blanco J, Sourdril A, Deconchat M, Ladet S, Andrieu E (2018) Social drivers of rural forest dynamics: A multi-scale approach combining ethnography, geomatic and mental model analysis, *Landscape and Urban Planning* (sous presse)

Bohanec M, Rajkovic V (1990) DEX: An expert system shell for decision support, *Sistemica, 1*, 1, pp. 145-157

Bohanec M, Znidarsic M, Rajkovic V, Bratko I, Zupan B (2013) DEX methodology: three decades of qualitative multi-attribute modeling, *Informatica, 37*, 1, pp. 49-54

Bohanec M (2015) *DEXi: Program for Multi-Attribute Decision Making. User's Manual*, 67 p.

Bohanec M (2017) *DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making*, http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html (consulté le 12/12/2017)

Boiffin J (2004) Territoire : agronomie, géographie, écologie, où en est-on ? Le point de vue d'un chercheur agronome, *Natures Sciences Sociétés, 12*, 3, pp. 307-309

Boiffin J, Benoît M, Le Bail M, Papy F, Stengel P (2014) Agronomie, espace, territoire: travailler "pour et sur" le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie, *Cahiers Agricultures, 23*, 2, pp. 72-83

Bonaccorsi J, Nonjon M (2012) "La participation en kit" : l'horizon funèbre de l'idéal participatif, *Quaderni, 3*, 79, pp. 29-44

Bonnal P, Bonin M, Aznar O (2012) Les évolutions inversées de la multifonctionnalité de l'agriculture et des services environnementaux, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 12*, 3 (en ligne)

Bouyssou D (2008) Outranking methods, dans Floudas CA, Pardalos PM. (dir.) *Encyclopedia of optimization*, 2éme édition, Springer, New-York, USA, pp 2887–2893

Brans J-P, Vincke P, Mareschal B (1986) How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European journal of operational research, 24*, 2, pp. 228-238

Bresson M (2014) La participation : un concept constamment réinventé. Analyse sociologique des enjeux de son usage et de ses variations, *Socio-logos*, 9 (en ligne)

Cairol D, Coudel E, Caron P (2006) Multifonctionnalité et développement durable des territoires ruraux en Europe : état des lieux et perspectives de recherche, *Ingénieries*, Numéro spécial FEADER, pp. 189-200

CDAF (2014a) *L'agroforesterie en Wallonie. Éléments agroforestiers. Fonctions*, 6 p.

CDAF (2014b) *L'agroforesterie en Wallonie. Éléments agroforestiers. Typologie*, 7 p.

Chambre d'agriculture de l'Ariège (2018) *Forêt Agroforesterie*, http://www.ariege.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/foret-agroforesterie/ (consulté le 1/02/2018)

Chopin P, Blazy J-M, Guindé L, Tournebize R, Doré T (2017) A novel approach for assessing the contribution of agricultural systems to the sustainable development of regions with multi-scale indicators: Application to Guadeloupe, *Land Use Policy, 62*, pp. 132-142

Cinelli M, Coles SR, Kirwan K (2014) Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment, *Ecological Indicators, 46*, pp. 138-148

CNDB (2017) *Les utilisations du* bois, http://www.cndb.org/?p=utilisations_du_bois (consulté le 25/05/2017)

Conseil général 31 (2014) Dossier. Le Conseil Général, acteur du développement durable, *CG 31 le magazine du conseil général*, 129, pp. 13-29

Costanza R (2008) Ecosystem services: multiple classification systems are needed, *Biological conservation, 141*, 2, pp. 350-352

Craheix D, Bergez J-E, Angevin F, Bockstaller C, Bohanec M, Colomb B, Doré T, Fortino G, Guichard L, Pelzer E, Méssean A, Reau R, Sadok W (2015) Guidelines to design models assessing agricultural sustainability, based upon feedbacks from the DEXi decision support system, *Agronomy for sustainable development, 35*, 4, pp. 1431-1447

D'Aquino P, Seck SM (2001) Et si les approches participatives étaient inadaptées à la gestion décentralisée de territoire ?, *Géocarrefour, 76*, pp. 233-239

Dainese M, Montecchiari S, Sitzia T, Sigura M, Marini L (2017) High cover of hedgerows in the landscape supports multiple ecosystem services in Mediterranean cereal fields, *Journal of Applied Ecology, 54*, 2, pp. 380-388

Dalgaard T, Hutchings NJ, Porter JR (2003) Agroecology, scaling and interdisciplinarity, *Agriculture, Ecosystems and Environment, 100*, 1, pp. 39-51

De Foresta H, Somarriba E, Temu A, Boulanger D, Feuilly H, Gauthier M, Taylor D (2013) Towards the Assessment of Trees Outside Forests: A Thematic Report Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment 2010, *Forest Resources Assessment Working Paper, 183*, 335 p.

De Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L (2010) Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making, *Ecological complexity, 7*, 3, pp. 260-272

De Rosnay J (1975) *Le macroscope : vers une version globale*, Le Seuil, Paris, France, 314 p.

Debarge S (2015) *Réintégrer l'arbre dans les systèmes agricoles pour diversifier la production et renforcer les écosystèmes*, ADEME, 12 p.

Decocq G, Andrieu E, Brunet J, Chabrerie O, Frenne P De, Smedt P De, Deconchat M, Diekmann M, Ehrmann S, Giffard B, Gorriz Mifsud E, Hansen K, Hermy M, Kolb A, Lenoir J, Liira J, Moldan F, Prokofieva I, Rosenqvist L, Varela E, Valdés A, Verheyen K, Wulf M (2016) Ecosystem services from small forest patches in agricultural landscapes, *Current Forestry Reports, 2*, 1, pp. 30-44

Deconchat M, Ouin A, Andrieu E (2014) *BILISSE : La biodiversité des lisières forestières*, INRA, INPT, 71 p.

Diaz-Balteiro L, Romero C (2008) Making forestry decisions with multiple criteria: a review and an assessment, *Forest ecology and management, 255*, 8, pp. 3222-3241

Diraison A (2003) *Les droits de l'arbre. Aide-mémoire des textes juridiques*, MEDD, 63 p.

Dobbs C, Kendal D, Nitschke CR (2014) Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics, *Ecological Indicators, 43*, pp. 44-55

Donnadieu G, Durand D, Neel D, Nunez E, Saint-Paul L (2003) *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ?*, AFSCET, 11 p.

Dubois J-J (2016) L'évolution des systèmes agroforestiers en France. Leur rôle en agroécologie, *Pollution atmosphérique Climat, santé, société*, Numéro spécial, pp. 177-190

Dumesnil T, Genevey A, Bounab M, Vigan M (2018) *Agroforesterie*, http://www.youtube.com/watch?v=Q-PuuZKoZLE&feature=youtu.be (consulté le 25/04/2018)

Dupraz C, Liagre F (2008) *Agroforesterie. Des arbres et des cultures*, France agricole Éditions, Paris, France, 456 p.

Duru M, Justes É, Sarthou J-P, Therond O, Deconchat M, Andrieu É, Vigan M, Dupraz C, Gary C, Gosme M, Mezière D, Viaud V, Mérot P, Emile J-C, Novak S (2014) *L'agroforesterie à l'INRA. Des recherches ancrées dans l'Agroécologie, au cœur d'enjeux sociétaux*, INRA, 8 p.

Dynafor (2018) *Questions de recherche*, http://www.dynafor.fr/questions-de-recherche (consulté le 26/04/2018)

EIP-AGRI Focus Group Agroforestry (2017) *Agroforestry: introducing woody vegetation into specialised crop and livestock systems. Final report*, EIP-AGRI, 31 p.

Ellis EA, Bentrup G, Schoeneberger MM (2004) Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs, *Agroforestry Systems, 6*, 1, pp. 401-421

EURAF (2017) *Agroforestry in Europe*, http://www.agroforestry.eu/agroforestry-europe (consulté le 14/12/2017)

Fagerholm N, Torralba M, Burgess PJ, Plieninger T (2016) A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry, *Ecological Indicators, 62*, pp. 47-65

FAO (2018) *Sustainable Forest Management (SFM) Toolbox - Agroforestry*, http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/agroforestry/basic-knowledge/en/ (consulté le 3/01/2018)

Fédération des chasseurs de la Haute-Garonne (2018) *Mettons la main à la pioche, plantons des haies !*,
http://www.chasse-nature-occitanie.fr/haute-garonne/actualites/a11298/mettons-la-main-a-la-pioche,-plantons-des-haies-! (consulté le 1/02/2018)

Figueira J, Greco S, Ehrgott M (dir.) (2005) *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, Springer, Boston, USA, 1048 p.

Figueira JR, Greco S, Roy B, Slowinski R (2013) An overview of ELECTRE methods and their recent extensions, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 20*, 1-2, pp. 61-85

Fishburn PC (1970) *Utility theory for decision making*, John Wiley and Son, New-York, USA, 242 p.

Fondation de France (2013) *Appel d'offres Agroforesterie tempérée. Allocations "Jeunes Chercheurs" 2013*, 2 p.

Fondation de France (2015) *Agroforesteries : quand recherche et terrain collaborent. Journées d'échanges*, 10 p.

Fondation de France (2018) *Recherches sur les agroforesteries*,
http://www.fondationdefrance.org/fr/recherches-sur-les-agroforesteries
(consulté le 26/04/2018)

Francis C, Lieblein G, Gliessman S, Breland TA, Creamer N, Harwood R, Salomonsson L, Helenius J, Rickerl D, Salvador R, Wiedenhoeft M, Simmons S, Allen A, Altieri M, Flora C, Poincelot R (2003) Agroecology: the ecology of food systems, *Journal of sustainable agriculture, 22*, 3, pp. 99-118

Galochet M, Simon L (2003) L'arbre du géographe : un objet entre nature et société, dans Mazoyer, M (coord.) *L'arbre, symbole et réalité*, L'Harmattan, Paris, France, 278 p.

Gao J, Barbieri C, Valdivia C (2014) A socio-demographic examination of the perceived benefits of agroforestry, *Agroforestry systems, 88*, 2, pp. 301-309

Garcia de Jalon S, Burgess PJ, Graves A, Moreno G, McAdam J, Pottier E, Novak S, Bondesan V, Mosquera-Losada R, Crous-Duran J, Palma JHN, Paulo JA, Oliveira TS, Cirou E, Hannachi Y, Pantera A, Wartelle R, Kay S, Malignier N, van Lerberghe P, Tsonkova P, Mirck J, Rois M, Kongsted AG, Thenail C, Luske B, Berg S, Gosme M, Vityi A (2017) How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders, *Agroforestry Systems* (en ligne)

Garratt MP, Senapathi D, Coston DJ, Mortimer SR, Potts SG (2017) The benefits of hedgerows for pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context, *Agriculture, Ecosystems & Environment, 247*, pp. 363-370
Gerber M, Astigarraga L, Bockstaller C, Fiorelli J-L, Hostiou N, Ingrand S, Marie M, Sadok W, Veysset P, Ambroise R, Peigné J, Sylvain P, Coquil X (2009) Le modèle Dexi-SH* pour une évaluation multicritère de la durabilité agro-écologique des systèmes d'élevage bovins laitiers herbagers, *Innovations agronomiques, 4*, pp. 249-252

Grabisch M (2005) Une approche constructive de la décision multicritère, *Traitement du signal, 22*, 4, pp. 321-337

Greco S, Matarazzo B, Slowinski R (1998) A new rough set approach to multicriteria and multiattribute classification, dans Polkowski L, Skowron A (dir.) *Rough sets and current trends in computing*, Springer, Berlin, Allemagne, pp. 60-67

Greco S, Matarazzo B, Slowinski R (2001) Rough sets theory for multicriteria decision analysis, *European journal of operational research, 129*, 1, pp. 1-47

Greco S, Matarazzo B, Slowinski R (2005) Decision rule approach, dans Figueira J, Greco S, Ehrgott M (dir.) *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, Springer, New-York, USA, pp. 497-552

Guillerme S, Alet B, Briane G, Coulon F, Maire É (2009) L'arbre hors forêt en France. Diversité, usages et perspectives, *Revue forestière française, 61*, 5, pp. 543-560

Guitouni A, Martel J-M (1998) Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method, *European Journal of Operational Research, 109*, 2, pp. 501-521

Gumuchian H, Marois C, Fèvre V (2000) *Initiation à la recherche en géographie: aménagement, développement territorial, environnement*, PUM et Antropos, Montréal, Canada et Paris, France, 425 p.

Göbel A (2016) *Ecosystem services in agroforestry systems of Europe*, Thèse de master, Albert Ludwigs University, Freiburg, Allemagne, 65 p.

Hajkowicz S, Collins K (2007) A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management, *Water resources management, 21*, 9, pp. 1553-1566

Hayashi K (2000) Multicriteria analysis for agricultural resource management: a critical survey and future perspectives, *European Journal of Operational Research, 122*, 2, pp. 486-500

Hinloopen E, Nijkamp P, Rietveld P (1983) Qualitative discrete multiple criteria choice models in regional planning, *Regional Science and Urban Economics, 13*, 1, pp. 77-102

Huang IB, Keisler J, Linkov I (2011) Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends, *Science of the total environment, 409*, 19, pp. 3578-3594

Hwang C-L, Paidy SR, Yoon K, Masud ASM (1980) Mathematical programming with multiple objectives: A tutorial, *Computers & Operations Research, 7*, 1-2, pp. 5-31

Hwang C-L, Yoon K (1981) *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*, Springer, Berlin, Allemagne, 269 p.

IGN (2018) *Inventaire forestier. Définitions*,
http://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article591 (consulté le 18/04/2018)

Ignizio JP (1978) A review of goal programming: A tool for multiobjective analysis, *Journal of the Operational Research Society, 29*, 11, pp. 1109-1119

Ishizaka A, Labib A (2011) Review of the main developments in the analytic hierarchy process, *Expert systems with applications,* 38, 11, pp. 14336-14345

Jolly A-M, Yannou B (2008) Les méthodes de surclassement. L'école française : les « Electre » et l'école belge : Prométhée Gaia, Qualiflex, Oreste, dans Yannou B, Christofol H, Jolly D, Troussier N (dir.) *La conception industrielle de produits Vol. 3 : ingénierie de l'évaluation et de la décision*, Hermes Science Publications - Lavoisier édition, Paris, France, 320 p.

JORF (2015) Vocabulaire de l'agriculture et de la pêche. *Journal officiel de la République française*, 19 août 2015

Jose S (2009) Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview, *Agroforestry systems, 76*, 1, pp. 1-10

Kangas A, Kangas J, Pykäläinen J (2001) Outranking methods as tools in strategic natural resources planning, *Silva Fennica, 35*, 2, pp. 215-227

Kiker GA, Bridges TS, Varghese A, Seager TP, Linkov I (2005) Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making, *Integrated environmental assessment and management, 1*, 2, pp. 95-108

Labant P, Ambroise R, Boutaud M, Canet A, Desdorides I, Gabory Y, Guillerme S, Hirou P, Liagre F, Maire E, Marcel O, Monier S, Sire F, Vicet J-C (2003) *Guide technique PAGESA. Principes d'aménagement et de gestion des systèmes agroforestiers*, AFAHC, 40 p.

Labant P (2017) *L'agroforesterie, un trait d'union entre les agriculteurs et autres utilisateurs du paysages, dans le cadre de la mise en place de la Trame Verte en Midi-Pyrénées ?*, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 295 p.

Lardon S, Caron P, Benoît M (2012) De la géoagronomie à l'agronomie des territoires: Un parcours, des étapes clés et des prolongements, dans Lardon S (dir.) *Géoagronomie, paysage et projets de territoire*, Éditions Quae, Paris, France, 480 p.

Lavorel S, Bierry A, Crouzat É (2016) Gestion intégrée des territoires par une approche par les réseaux de services, *Sciences Eaux & Territoires, 4*, 21, pp. 10-17

Leakey R (1996) Definition of agroforestry revisited, *Agroforestry Today (ICRAF), 8*, 1, pp. 5-7

Lebeau R (2012) *Les grands types de structures agraires dans le monde*, 7ème édition, Masson, Paris, France, 184 p.

Liagre F (2006) *Les haies rurales. Rôles, création, entretien*, France Agricole Éditions, Paris, France, 320 p.

Lyytimäki J (2015) Ecosystem disservices: embrace the catchword, *Ecosystem Services*, 12, pp. 136

MAAF (2015a) *Plan de developpement de l'agroforesterie. Pour le développement et la gestion durable de tous les systèmes agroforestiers*, 36 p.

MAAF (2015b) *La filière Forêt-Bois en France*,
http://agriculture.gouv.fr/infographie-la-filiere-foret-bois-en-France
(consulté le 25/05/2017)

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier-Lafontaine H, Rapidel B, Tourdonnet S de, Valantin-Morison M (2009) Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review, *Agronomy for Sustainable Development, 29*, 1, pp. 43-62

Malézieux E (2012) Designing cropping systems from nature, *Agronomy for sustainable development, 32*, 1, pp. 15-29

Massei G, Rocchi L, Paolotti L, Greco S, Boggia A (2014) Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture, *Journal of Environmental Management, 146*, pp. 491-504

McPherson EG, Simpson JR, Xiao Q, Wu C (2011) Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment, *Landscape and Urban Planning, 99*, 1, pp. 40-50

MEA (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington DC, USA, 148 p.

Meeus J, Wijermans M, Vroom M (1990) Agricultural landscapes in Europe and their transformation, *Landscape and urban planning, 18*, 3-4, pp. 289-352

Mendoza GA, Martins H (2006) Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms, *Forest ecology and management, 230*, 1, pp. 1-22

Mission Bocage (2018) *Qui sommes nous ?*,
http://missionbocage.fr/qui-sommes-nous/ (consulté le 1/02/2018)

Mission Haies (2016) *La Mission haies Auvergne de l'Union régionale des forêts d'Auvergne : 20 années d'expériences en faveur du bocage*, 7 p.

Moine A (2006) Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie, *L'Espace géographique, 35*, 2, pp. 115-132

Moreno G, Franca A, Pinto-Correia T, Godinho S (2014) Multifunctionality and dynamics of silvopastoral systems, *Options Méditerranéennes, A*, 109, pp. 421-436

Morin E (2005) *Introduction à la pensée complexe*, Le Seuil, Paris, France, 158 p.

Munda G, Nijkamp P, Rietveld P (1994) Qualitative multicriteria evaluation for environmental management, *Ecological economics 10*, 2, pp. 97-112

Nair PR (2007) The coming of age of agroforestry, *Journal of the Science of Food and Agriculture, 87*, 9, pp. 1613-1619

Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC, Hoehn RE, Walton JT, Bond J (2008) A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services, *Arboriculture & Urban Forestry, 34*, 6, pp. 347-358

Ottogali C (2015) *Évaluation qualitative de la multifonctionnalité des arbres sur les exploitations agricoles. Vers un outil d'analyse multicritères qualitative pour considérer toutes les fonctions des arbres agroforestiers*, Projet de fin d'études d'ingénieur, INPT-EIP, Toulouse, France, 92 p.

Paelinck JH (1978) Qualiflex: a flexible multiple-criteria method, *Economics Letters, 1*, 3, pp. 193-197

Palma JH, Graves AR, Bunce R, Burgess PJ, Filippi R De, Keesman K, van Keulen H, Liagre F, Mayus M, Moreno G, Reisner Y, Herzog F (2007a) Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe, *Agriculture, ecosystems & environment, 119*, 3, pp. 320-334

Palma JH, Graves AR, Burgess PJ, Keesman K, van Keulen H, Mayus M, Reisner Y, Herzog F (2007b) Methodological approach for the assessment of environmental effects of agroforestry at the landscape scale, *Ecological engineering, 29*, 4, pp. 450-462

Pardalos PM, Siskos Y, Zopounidis C (1995) *Advances in multicriteria analysis*, Springer Science et Business Media, Dordrecht, Allemagne, 250 p.

Parsons BA (2007) The state of methods and tools for social systems change, *American journal of community psychology, 39*, 3-4, pp. 405-409

Paul C, Weber M, Knoke T (2017) Agroforestry versus farm mosaic systems - Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects, *Science of The Total Environment, 587*, pp. 22-35

Pires A (1997) Échantillonnage et recherche qualitative: essai théorique et méthodologique, dans Poupart J, Deslauriers J-P, Groulx L-H, Laperrière A, Mayer R, Pires A (dir.) *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques*, Gaëtan Morin éditeur, Paris, France, 405 p.

Plieninger T, Schleyer C, Mantel M, Hostert P (2012) Is there a forest transition outside forests? Trajectories of farm trees and effects on ecosystem services in an agricultural landscape in Eastern Germany, *Land Use Policy, 29*, 1, pp. 233-243
Pointereau P, Bazile D (1995) *Arbres des champs : haies, alignements, prés vergers ou l'art du bocage. Pour protéger, restaurer et gérer les arbres hors la forêt*, Solagro, Toulouse, France, 139 p.

Pointereau P (2002) Les haies : évolution du linéaire en France depuis quarante ans, *Le Courrier de l'environnement de l'INRA, 46*, pp. 69-73

Potschin MB, Haines-Young RH (2011) Ecosystem services: exploring a geographical perspective, *Progress in Physical Geography, 35*, 5, pp. 575-594

Poullette B (2016) *Récolte de bois et production de sciages en 2015*, Agreste, Agreste primeur 341, 4 p.

Pretty JN (1995) Participatory learning for sustainable agriculture, *World development, 23*, 8, pp. 1247-1263

Prom'Haies (2017) *Prom'Haies en Nouvelle-Aquitaine. Ensemble, agissons pour la haie et l'arbre champêtre, au service de nos territoires*, 2 p.

Prom'Haies (2018) *Pourquoi conserver et planter des haies ?*, http://www.promhaies.net/lassociation/?rubrique=pourquoiplanter (consulté le 12/02/2018)

Puydarrieux P, Beyou W (coord.) (2017) *EFESE Cadre conceptuel*, MEEM, 88 p.

Rameau J-C, Mansion D, Dumé G, Timbal J, Lecointe A, Dupont P, Keller R (1989) *Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 1: Plaines et collines*, 8ème édition, Institut pour le développement forestier, Paris, France, 1794 p.

Raudsepp-Hearne C, Peterson GD, Bennett E (2010) Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes, *Proceedings of the National Academy of Sciences, 107*,11, pp. 5242-5247

Rehman T, Romero C (1993) The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural systems: some basic considerations, *Agricultural systems, 41*, 3, pp. 239-255

Renting H, Rossing W, Groot J, Van der Ploeg J, Laurent C, Perraud D, Stobbelaar DJ, Van Ittersum M (2009) Exploring multifunctional agriculture. A review of conceptual approaches and prospects for an integrative transitional framework, *Journal of environmental management, 90*, pp. S112-S123

RMT Agroforesteries (2017) *RMT Agroforesteries. Présentation du réseau*, http://rmt.agroforesterie.fr/rmt-agroforesterie-presentation-du-reseau.php. (consulté le 15/04/2017)

Romero C, Amador F, Barco A (1987) Multiple objectives in agricultural planning: a compromise programming application, *American Journal of Agricultural Economics, 69*, 1, pp. 78-86

Romero C, Rehman T (1987) Natural resource management and the use of multiple criteria decision-making techniques: a review, *European Review of Agricultural Economics, 14*, 1, pp. 61-89

Roy B (1968) Classement et choix en présence de points de vue multiples, R*evue française d'informatique et de recherche opérationnelle, 2*, 8, pp. 57-75

Roy B, Vincke P (1981) Multicriteria analysis: survey and new directions, *European Journal of Operational Research, 8*, 3, pp. 207-218

Roy S, Byrne J, Pickering C (2012) A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones, *Urban Forestry & Urban Greening, 11*, 4, pp. 351-363

Saaty TL (1986) Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process, *Management science, 32*, 7, pp. 841-855

Sadok W, Angevin F, Bergez J-É, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, Reau R, Doré T (2008) Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review, *Agronomy for Sustainable Development, 28*, pp. 163-174

Sadok W, Angevin F, Bergez J-É, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, Reau R, Messéan A, Doré T (2009) MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems, *Agronomy for sustainable development, 29*, 3, pp. 447-461

Saugier B (2010) Un ascenseur hydraulique : les racines profondes sur sol sec, *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, 96*, 3, pp. 91-92

Saunders ME, Luck GW (2016) Limitations of the ecosystem services versus disservices dichotomy, *Conservation Biology, 30*, 6, pp. 1363-1365

Sausse C (2015) Projet Tél-IAE : Méthodes et outils pour l'identification et la caractérisation des infrastructures agro-écologiques par télédétection spatiale, *Séminaire 2015 du RMT biodiversité et agriculture* (Sainte-Gemmes-sur-Loire, France) RMT Biodiversité et Agriculture (communication)

Schärlig A (1985) *Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère*, PPUR, Lausanne, Suisse, 304 p.

Shackleton C, Ruwanza S, Sanni GS, Bennett S, De Lacy P, Modipa R, Mtati N, Sachikonye M, Thondhlana G (2016) Unpacking Pandora's box: understanding and categorising ecosystem disservices for environmental management and human wellbeing, *Ecosystems, 19*, 4, pp. 587-600

Shapiro J, Báldi A (2014) Accurate accounting: how to balance ecosystem services and disservices, *Ecosystem Services 7*, pp. 201-202

Sitzia T, Semenzato P, Trentanovi G (2010) Natural reforestation is changing spatial patterns of rural mountain and hill landscapes: a global overview, *Forest Ecology and Management, 259*, 8, pp. 1354-1362
Smith J, Pearce BD, Wolfe MS (2012) A European perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification, *Renewable Agriculture and Food Systems, 27*, 4, pp. 323-332

Soares AL, Rego FC, McPherson E, Simpson J, Peper P, Xiao Q (2011) Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal, *Urban Forestry & Urban Greening, 10*, 2, pp. 69-78

Soltner D (1998) *L'arbre et la haie, pour la production agricole, pour l'équilibre écologique et le cadre de vie rurale*, 10ème édition, Sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemmes-sur-Loire, France, 207 p.

SPET (spécialisation ENSAT) (2011) *Étude de la gestion des ressources naturelles et agricoles du Périgord Noir*, INPT-ENSAT, Auzeville-Tolosane, France, 51 p.

Stacey RD (2011) *Strategic Management and Organisational Dynamics: The Challenge of Complexity*, 7ème édition, Pearson Education, Londre, Royaume-Uni, 480 p.

Tojnko S, Rozman C, Unuk T, Pazek K, Pamic S (2011) A qualitative multi-attribute model for the multifunctional assessment of "Streuobst Stands" in NE Slovenia, *Erwerbs-Obstbau, 53*, 4, pp. 157-166

Torralba M, Fagerholm N, Burgess PJ, Moreno G, Plieninger T (2016) Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems and Environment, 230*, pp. 150-161

Torre A (2015) Théorie du développement territorial, *Géographie, économie, société, 17*, 3, pp. 273-288

Tsonkova P, Quinkenstein A, Böhm C, Freese D, Schaller E (2014) Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): An approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems, *Ecological Indicators, 45*, pp. 285-299

Tzeng G-H, Huang J-J (2011) *Multiple attribute decision making: methods and applications*, CRC press, Boca-Raton, USA, 352 p.

Unger PW (1989) *Conservation des sols et des eaux : façons culturale appropriées*, FAO (Bulletin pédologique de la FAO), Rome, Italie, 272 p.

USDA (2017) *i-Tree Eco. User's Manual*, USDA Forest service, 95 p.

Valenzisi M, Brédif H, Vigan M (2016) Qualité de la biodiversité et motivation des acteurs : une médiation prometteuse entre logique de filière et dynamique territoriale. Premiers résultats d'une démarche de recherche-action conduite sur le plateau de Millevaches, dans Farcy C, Huybens N (dir.) *Forêts, savoirs et motivations*, L'Harmattan, Paris, France, 353 p.

Vigan M (2011) *Structure des lisières et biodiversité*, Projet de fin d'études, INPT-ENSAT, Auzeville-Tolosane, France, 64 p.

Vigan M, Deconchat M, Andrieu É (2016) Reconstruire et valoriser les liens entre les arbres et les activités agricoles, dans Gibon A, Choisis J-P, Lenormand P (coord.) *Changement d'utilisation agricole des terres et dynamique des paysages agri-forestiers de Midi-Pyrénées*, INRA - PSDR Midi-Pyrénées, Toulouse, France, 52 p.

Vigan M, Allain S, Choisis J-P, Mihout S (2017) *Agroforesterie*, http://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/agroforesterie/ (consulté le 15/04/2017)

Vigan M, Deconchat M, Simon L (soumis) Canopa : un cadre d'analyse des outils participatifs pour la construction de projets de territoire

Villa F, Bagstad KJ, Voigt B, Johnson GW, Athanasiadis IN, Balbi S (2014) The misconception of ecosystem disservices: How a catchy term may yield the wrong messages for science and society, *Ecosystem Services, 10*, pp. 52-53

Von Döhren P, Haase D (2015) Ecosystem disservices research: a review of the state of the art with a focus on cities, *Ecological Indicators,* 52, pp. 490-497

Warlop F, Castel L (2016) Vertical project: design of fruit agroforestry systems for a renewed horticulture, *3rd European Agroforestry Conference. Celebrating 20 years of innovations in European Agroforestry* (Montpellier, France) EURAF (résumé de communication)

Wezel A, Bellon S, Doré T, Francis C, Vallod D, David C (2009) Agroecology as a science, a movement and a practice. A review, *Agronomy for Sustainable Development, 29*, 4, pp. 503-515

Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian J-F, Ferrer A, Peigné J (2014) Agroecological practices for sustainable agriculture. A review, *Agronomy for sustainable development, 34*, 1, pp. 1-20

Wierzbicki AP (1980) A methodological guide to multiobjective optimization, dans Iracki K, Malanowski K, Walukiewicz S (dir.) *Optimization Techniques*, Springer, Berlin, Allemagne, 571 p.

Wilson MH, Lovell ST (2016) Agroforestry - The next step in sustainable and resilient agriculture, *Sustainability, 8*, 6, pp. 574-588

Zelany M (1974) A concept of compromise solutions and the method of the displaced ideal, *Computers & Operations Research, 1*, 3-4, pp. 479-496

Zimmerman B, Hayday B (1999) A board's journey into complexity science: lessons from (and for) staff and board members, *Group decision and negotiation, 8*, 4, pp. 281-303

Znidarsic M, Bohanec M, Zupan B (2006) proDEX - A DSS tool for environmental decision-making, *Environmental Modelling & Software, 21*, 10, pp. 1514-1516

Zopounidis C, Doumpos M (2002) Multicriteria classification and sorting methods: a literature review, *European Journal of Operational Research, 138*, 2, pp. 229-246

Annexes

Annexe 1 : Canopa : un cadre d'analyse des outils participatifs pour la construction de projets de territoire (Article soumis à la revue Sud-Ouest Européen) 179

Annexe 2 : Classement des fonctions des espaces arborés du modèle Terafor par catégorie et sous-catégorie de structures et processus biophysiques 211

Annexe 3 : Catégorisation des fonctions des espaces arborés du modèle Terafor selon la classification du MEA et la classification basée sur les caractéristiques spatiales des services écosystémiques 215

Annexe 4 : Les tableaux d'agrégation du modèle Terafor pour les évaluations des trois types d'espaces arborés (ponctuel, linéaire et surfacique) 221

Annexe 5 : Fréquence des valeurs finales (rôle des espaces arborés) et des valeurs des domaines d'activités obtenues avec le modèle Terafor pour les types ponctuel, linéaire et surfacique lors d'une analyse de Monte-Carlo simulant l'évaluation de mille options (espaces arborés) par type..... 335

Annexe 6 : Description de l'utilisation du modèle Terafor dans une version non définitive pour évaluer les fonctions d'une haie sur une exploitation agricole. 337

Annexe 1 : Canopa : un cadre d'analyse des outils participatifs pour la construction de projets de territoire (Article soumis à la revue Sud-Ouest Européen)

Titre

Canopa : un cadre d'analyse des outils participatifs pour la construction de projets de territoire

Auteurs

Vigan Martin*, Doctorant, Agronomie, Dynafor, Université de Toulouse, INRA, INPT, INPT - EI PURPAN, Castanet-Tolosan, France (24 chemin de Borde-Rouge, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan), martin.vigan@ensat.fr, +33 (0)5 61 28 53 82

Deconchat Marc, Directeur de recherche, Écologie des paysages, Dynafor, Université de Toulouse, INRA, INPT, INPT - EI PURPAN, Castanet-Tolosan, France (24 chemin de Borde-Rouge, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan), marc.deconchat@inra.fr, +33 (0)5 61 28 54 92

Simon Laurent, Professeur des universités, Géographie, LADYSS, CNRS, Université Paris 1 Panthéon - Sorbonne, Université Paris 7 Diderot, Université Paris 8 Vincennes - Saint-Denis, Université Paris Ouest Nanterre - La Défense, Paris, France (191 rue Saint-Jacques, 75005 Paris), laurent.simon@univ-paris1.fr, +33 (0)1 44 07 76 15

Résumé

Les outils participatifs utilisés pour la construction de projets de territoire sont nombreux et divers. Pour se repérer dans cette profusion, nous proposons un cadre d'analyse des outils participatifs (Canopa) qui définit le profil de chacun d'eux et les compare. Canopa définit, d'une part, la fonction de ces outils : identifier, croiser ou intégrer les connaissances, motivations et représentations des acteurs concernés. Canopa précise, d'autre part, la modalité de la participation des acteurs lors de l'utilisation de ces outils. Canopa a été appliqué à quinze outils participatifs et quatre types génériques de profil sont ressortis : les outils servant à i) identifier, ii) identifier et croiser, iii) croiser et intégrer, ou iv) identifier, croiser et intégrer.

Abstract

The participatory tools used for the construction of local development projects are numerous and diverse. To get some bearings in this profusion, we proposed an analytical framework for the participatory tools (Canopa) to define the profile of each of them and to compare them. Canopa defines, on the one hand, the function of these tools: identifying, comparing or integrating the knowledge, motivations and representations of the stakeholders concerned. Canopa specifies, on the other hand, the modality of the stakeholders' participation during the use of these tools. Canopa was applied to fifteen participatory tools and four generic types of profile emerged: tools for i) identifying, ii) identifying and comparing, iii) comparing and integrating, or iv) identifying, comparing and integrating.

Mots clés

Outils participatifs, démarches participatives, cadre d'analyse, typologie, projets de territoire

Keywords

Participatory tools, participatory approach, analytical framework, typology, local development projects

Introduction

Face aux nouveaux enjeux qui concernent les territoires ruraux, tels que les attentes sociétales sur les usages du sol, l'attractivité des territoires, la qualité des paysages ou la préservation d'écosystèmes et de la biodiversité, les modalités de gouvernance ont évolué. Elles donnent aujourd'hui une plus grande place à l'élaboration de projets de territoire (Lajarge et Roux 2007) partagés par l'ensemble des acteurs concernés. Les acteurs concernés sont compris dans un sens globalisant (Claeys-Mekdade 2001) et couvrent ainsi divers acteurs (usagers, citoyens, habitants, élus, gestionnaires, experts). Nous nous sommes plus particulièrement intéressés ici aux projets d'aménagement et d'utilisation de l'espace rural ou de gestion des ressources naturelles. Les recours à la participation des acteurs concernés par ces projets sont de plus en plus fréquents afin de prendre en compte leurs attentes. La mise en œuvre de démarches participatives pour la construction de ces projets fait appel à des outils participatifs qui structurent la participation des acteurs. Pour cela, il existe une profusion d'outils participatifs comme l'attestent nombre d'ouvrages (Diot-Labuset 2015 ; Evans et al. 2006 ; PAM 2001 ; Slocum et al. 2006). Pour se retrouver dans cette profusion, nous proposons dans cet article un cadre d'analyse, que nous avons appelé Canopa (cadre d'analyse des outils participatifs pour la construction de projets de territoire) et qui apporte des points de repère communs à tous ces outils.

Le but de la participation affiché par les porteurs de projet est de parvenir à des projets partagés de territoire, c'est-à-dire des projets de valorisation de ressources des territoires (Lajarge et Roux 2007) largement acceptés par les acteurs concernés. La participation des acteurs concernés sert à prendre en compte leurs connaissances, motivations et représentations concernant les objets d'étude et les territoires considérés dans les projets. Pour cela, des dispositifs sont intégrés dans les démarches de construction des projets de territoire et mis en œuvre par des facilitateurs pour favoriser l'expression des acteurs concernés. Ces dispositifs peuvent être des approches, des techniques ou des supports qui aident à collecter, préciser, organiser les propos des acteurs concernés. Certains de ces dispositifs utilisés pour faciliter l'implication des acteurs au cours des démarches de construction de projets de territoire sont méthodologiquement institués ou devenus d'usage commun et, ainsi, largement documentés. Nous avons nommés ces dispositifs participatifs établis des "outils participatifs". Ces outils sont nombreux et divers. De plus, le contexte d'essor de la participation (Mazeaud et Nonjon 2015) incite à l'invention régulière de nouveaux outils. Si la profusion d'outils participatifs peut être un avantage, pour avoir le choix et augmenter les chances de trouver un outil approprié à une situation donnée, elle est aussi souvent une difficulté car elle

nécessite de se repérer dans cette profusion pour effectuer un choix éclairé et analyser la contribution de ces outils à la participation.

Les ouvrages répertoriant les outils participatifs pour leur mise en pratique proposent souvent une description et des conseils d'utilisation pour chaque outil : les moyens nécessaires (temps, budget, équipements), les acteurs visés (citoyens, experts), leurs apports (objectifs et résultats attendus). Des travaux se sont aussi attachés à définir des cadres pour décrire et comparer plusieurs outils concernant leurs caractéristiques techniques (Lynam et al. 2007 ; Rowe et Frewer 2000). Tous ces renseignements sont une aide précieuse pour leur mise en œuvre et leur intégration dans les démarches de construction de projets de territoire. Cependant, sur la base de ces renseignements détaillés, il est difficile de déceler des points de repère communs et de comparer les outils dans leur ensemble.

En s'intéressant aux quinze outils envisagés pour la construction d'un projet de territoire (Brédif et Simon 2014 ; Brédif et al. 2017 ; Valenzisi et al. 2016), nous avons repéré des traits généraux qui caractérisent les outils participatifs utilisés lors des démarches de construction de projets de territoire. Ces traits concernent, d'une part, les fonctions des outils au sein de ces démarches et, d'autre part, les modalités de la participation engendrée par ces outils. Par exemple, certains outils ont la fonction de collecter les informations concernant les objets d'étude et les territoires considérés (tels que les entretiens semi-directifs), alors que d'autres aident à définir les actions à inclure dans le projet (tels que la prospective). Certains facilitent la participation des acteurs pour qu'ils dialoguent et confrontent leurs points de vue (tels que les jeux de rôle), alors que d'autres aboutissent à des productions personnelles (tels que la carte mentale). Nous avons pris en compte ces traits dans le cadre d'analyse Canopa. Pour cela, Canopa comporte, d'une part, un modèle du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire. Ce modèle sert à resituer les outils participatifs au sein de telles démarches et à définir leur fonction. Canopa précise, d'autre part, les modalités de la participation des acteurs lors de la mise en œuvre de ces outils pour caractériser la participation que les outils engendrent. Canopa définit alors le profil de chaque outil participatif sur la base de ces deux traits : fonction et participation. Il aide ainsi à comparer et à classer les outils participatifs selon leurs profils.

Nous consacrons une première partie à la description du cadre d'analyse Canopa esquissé ci-dessus. Nous présentons ensuite l'application de Canopa à quinze outils participatifs et le résultat de leur analyse dans une deuxième partie. Quatre types de profils ressortent de ce résultat. Ils sont décrits dans une troisième partie, lors de laquelle nous évaluons aussi la généricité de la typologie proposée. Puis, dans une quatrième partie, nous discutons les avantages et les limites de Canopa pour se repérer dans la profusion des outils participatifs. Enfin, nous concluons sur l'utilité de Canopa pour étudier la complémentarité des outils participatifs et évaluer la participation lors des démarches de construction de projets de territoire.

Le cadre d'analyse Canopa pour décrire et comparer les outils participatifs

Pour définir le profil des outils participatifs et les comparer, nous proposons un cadre d'analyse qui s'attache i) à définir leur fonction en précisant les phases des démarches de construction de projet de territoire lors desquelles ils sont utilisés et ii) à caractériser la participation en précisant les modalités de sa mise en œuvre. La fonction et la modalité de la participation sont deux traits des

outils participatifs développés séparément ci-dessous, avant de présenter leur combinaison dans cadre d'analyse Canopa.

Un modèle du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire : trois phases pour définir la fonction des outils

Nous proposons un modèle du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire sur lequel nous nous appuyons pour préciser les phases auxquelles chaque outil participatif contribue et ainsi définir sa fonction. Ce modèle se compose de trois phases (Figure 1) :

- la première phase (P1) sert à identifier la situation sur le territoire, c'est-à-dire à décrire et comprendre d'une part l'objet d'étude considéré, son contexte, les enjeux à son égard, et d'autre part le territoire considéré, ses acteurs, leurs connaissances, motivations et représentations de la situation ;
- la deuxième phase (P2) sert à croiser les différentes connaissances, motivations et représentations des acteurs. L'objectif du croisement n'est pas d'arriver à une vision unique et commune de la situation, mais de situer les éléments identifiés par tous les acteurs dans le fonctionnement du territoire et de montrer les différentes visions existantes. Ce croisement est alors favorable à la mise en exergue et à la discussion entre acteurs des points d'accord d'une part et de désaccord d'autre part ;
- la troisième phase (P3) sert à intégrer les différentes connaissances, motivations et représentations des acteurs pour concevoir un projet partagé de territoire. Pour définir des actions appropriées et consenties, cette conception repose sur les points d'accord entres les acteurs et détermine les compromis pour dépasser les désaccords que les deux premières phases ont révélés.

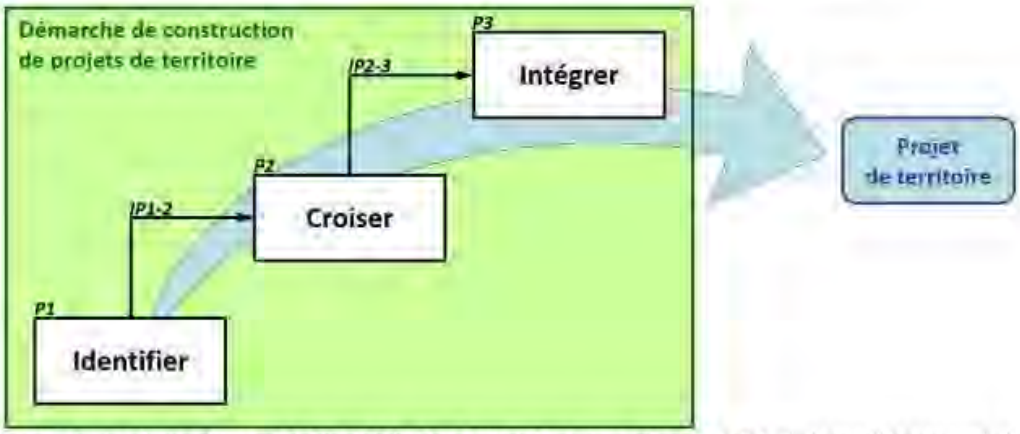


Figure 1 : Les trois phases (P1, P2 et P3) et les deux interphases (IP 1-2 et IP 2-3) du modèle proposé du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire / The three phases (P1, P2 and P3) and both interphases (IP1-2 and IP2-3) in the model proposed for general proceedings of construction of local development projects

Un travail particulier préalable au passage d'une phase à l'autre est parfois nécessaire et peut recourir à la participation. Ce travail préalable est, par exemple, la compilation des informations obtenues auprès des acteurs rencontrés individuellement (P1 Identifier) pour préparer une séance collective de discussion sur ces différentes informations (P2 Croiser), ou une réunion des acteurs pour qu'un état des lieux synthétique de leurs attentes (P2 Croiser) soit validé avant de proposer des actions pour répondre à ces attentes (P3 Intégrer). C'est pourquoi nous nous sommes aussi intéressés aux deux interphases, entre les phases P1 Identifier et P2 Croiser d'une part (IP 1-2) et entre les phases P2 Croiser et P3 Intégrer d'autre part (IP 2-3), pour affiner la définition de la fonction des outils.

L'enchainement des trois phases est largement chronologique, mais des allers-retours peuvent avoir lieu lors des démarches de construction de projets de territoire. Cependant, pour le cadre d'analyse que nous proposons, nous retenons le déroulement chronologique global des démarches de construction de projets de territoire.

Nous avons comparé le modèle que nous proposons à plusieurs démarches de construction de projets collectifs notamment de territoire (Tableau 1). Selon les auteurs, ces démarches ne se composent pas des mêmes phases. Mais des correspondances ressortent entre les quatre références citées et surtout entre ces références et le modèle proposé. Il est aussi possible de distinguer plusieurs phases lors de la mise en œuvre du projet (pilotage, suivi, évaluation), mais cela n'entre pas dans le propos de cet article.

Notre première phase "Identifier" correspond au travail d'identification ou de cristallisation du problème (Cornwall et Jewkes 1995 ; López Rieux 2010) lorsqu'un problème est perçu et que l'objectif est de le résoudre. Ce travail est plus généralement fait pour établir un état des lieux (Lardon et Piveteau 2005). Cela passe par la collecte d'informations notamment issues du terrain (Blumenthal et Jannink 2000 ; Cornwall et Jewkes 1995 ; López Rieux 2010).
Notre deuxième phase "Croiser" correspond au temps d'interprétation et d'analyse des informations collectées (Cornwall et Jewkes 1995) pour poser un diagnostic (López Rieux 2010) sur le fonctionnement du système territorial concerné. Lardon et Piveteau (2005) parlent de détermination des enjeux au sens "des effets possibles des dynamiques à l'œuvre et des risques encourus". Il s'agit dans ce cas d'un travail prospectif qui amène à confronter les différentes représentations de l'avenir du territoire considéré. C'est en cela qu'elle correspond à notre étape de croisement et se distingue de l'identification des enjeux, exprimés par les acteurs, que nous plaçons dans la première phase. La présentation des résultats de l'analyse aux acteurs (Cornwall et Jewkes 1995) prépare la troisième phase et pourrait ainsi correspondre à l'interphase entre Croiser et Intégrer.
Notre troisième phase "Intégrer" correspond à la mobilisation des résultats des deux phases précédentes pour proposer les actions (Cornwall et Jewkes 1995 ; Lardon et Piveteau 2005 ; López Rieux 2010) qui composeront le projet. La planification de la mise en œuvre de ces actions est ensuite définie (Blumenthal et Jannink 2000 ; Lardon et Piveteau 2005 ; López Rieux 2010).

Tableau 1 : Positionnement des trois phases du modèle proposé du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire vis-à-vis de quatre autres descriptions de démarches similaires / Comparison of the three phases of the model proposed for construction of local development project with four others descriptions of similar approaches

Modèle proposé du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire		**Démarches similaires**			
		Cornwall et Jewkes (1995)	Blumenthal et Jannink (2000)	Lardon et Piveteau (2005)	López Rieux (2010)
		Participatory research	Collaborative management methods	Projet de territoire	Aménagement participatif
Construction du projet	**1. IDENTIFIER**	1. Problem identification	1. Information collection	1. État des lieux	1. Cristallisation sociale du problème
		2. Data collection			2. Approche du terrain et collecte d'information
	2. CROISER	3. Interpretation		2. Détermination des enjeux	3. Diagnostic
		4. Analysis			
		5. Presentation of finding			
	3. INTÉGRER	6. Action on findings	2. Planning	3. Choix d'une stratégie	4. Élaboration des propositions
				4. Proposition d'actions	
				5. Plan d'action	5. Définition du projet
Mise en œuvre du projet (pilotage, suivi, évaluation)			*3. Implementation*	*6. Mise en œuvre*	*6. Rassemblement des ressources financières et autres*
			4. Monitoring		*7. Réalisation et suivi*
			5. Assessment		*8. Evaluation*

Dans l'analyse des outils participatifs avec Canopa, la fonction d'un outil est définie en précisant pour lesquelles des phases "identifier", "croiser", "intégrer" et des interphases cet outil est mis en œuvre lors des démarches de construction de projets de territoire.

Trois modalités pour caractériser la participation des acteurs impliqués

Dans cette étude, nous considérons la participation comme la mobilisation des citoyens sur un projet à l'initiative d'un décideur, l'une des trois formes de participation que Bresson (2014) identifie. Avant de présenter les différentes modalités la participation des acteurs, nous pensons

utile de préciser qui sont ces acteurs. Ainsi, nous distinguons trois parties prenantes des démarches participatives de construction de projets de territoire (Figure 2) :
- le porteur du projet : il est celui qui initie, commande ou soutient le projet. Il est, par exemple, un décideur, un financeur, une équipe de recherche mandatée, un bureau d'étude mandaté. Il peut aussi être plusieurs de ces acteurs en partenariat. Dans tous les cas, il est un détenteur de pouvoir qui cherche à mobiliser tous les acteurs concernés pour s'assurer de parvenir à un projet partagé de territoire. Il est lui-même un acteur concerné. Et, lorsqu'il participe à la démarche de construction du projet, il est aussi un acteur impliqué et partie prenante de la construction du projet ;
- les acteurs impliqués dans la construction du projet : ils sont des acteurs concernés par le projet qui ont la particularité de prendre part à sa construction. Les acteurs concernés sont compris dans un sens globalisant (Claeys-Mekdade 2001). Ils couvrent ainsi divers acteurs du territoire (habitants, acteurs économiques locaux, élus) ou externes au territoire (acteurs économiques externes, touristes, porteurs d'expertise) qui, par leurs activités ou leurs statuts (usagers, gestionnaires, décideurs, propriétaires, experts), se sentent concernés personnellement ou en tant que représentant d'un collectif ou d'un organisme par les enjeux du projet et les changements que le projet prévoit de générer. Dans la suite de l'étude présentée ici, parmi les acteurs concernés, nous nous concentrons sur les acteurs impliqués puisque ce sont eux qui sont engagés dans la mise en œuvre des outils participatifs ;
- le facilitateur : il est l'organisateur ou l'équipe organisatrice de la démarche de construction du projet. Il prépare et anime cette démarche de façon à favoriser, notamment grâce à des outils participatifs, la participation des acteurs impliqués et la construction d'un projet partagé de territoire. Il peut être considéré comme un acteur impliqué dans la démarche, puisqu'il peut être lié au porteur du projet ou être concerné par les changements que le projet prévoit de générer. Dans tous les cas, il n'est jamais totalement neutre dans le processus de construction (Barnaud 2013) et est ainsi une partie prenante de la démarche de construction du projet et de son résultat, au même titre que les acteurs impliqués. De par son rôle particulier, le facilitateur n'est pas pris en compte parmi les acteurs impliqués dans la suite de l'étude présentée ici.

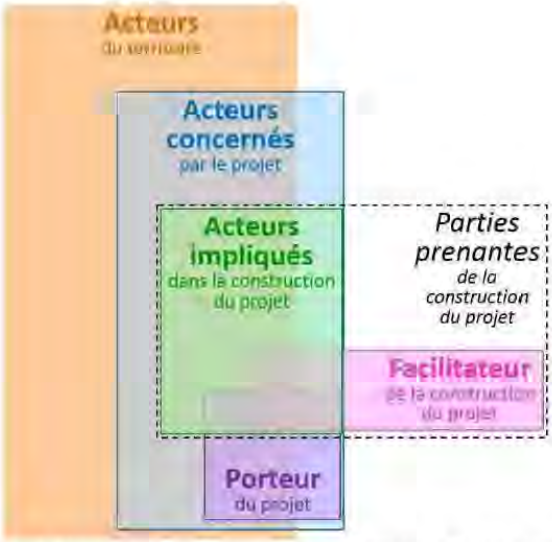


Figure 2 : Schéma des parties prenantes des démarches participatives de construction de projets de territoire / Diagram of stakeholders in participatory approach of construction of local development projects

La participation des acteurs impliqués peut varier selon les démarches participatives et au cours de ces démarches. Pour caractériser la participation engendrée par les outils participatifs, nous examinons deux aspects de la participation que nous combinons ensuite :
- le niveau de participation : il s'agit du degré d'implication des acteurs et du pouvoir de décision qui leur est octroyé (Arnstein 1969 ; Cornwall 2008 ; Reed 2008). Cela s'étend de la consultation des acteurs pour valider une décision, jusqu'à la transmission à ces acteurs de la prise de décision et de l'application des décisions. Nous estimons que, bien plus que l'outil lui-même, c'est le porteur du projet et le facilitateur qui définissent la portée accordée au résultat de l'application d'un outil participatif dans le projet de territoire et donc le poids de la contribution des acteurs impliqués. Autrement dit, les outils participatifs facilitent la participation des acteurs, mais ce ne sont pas eux intrinsèquement qui définissent le degré d'implication des acteurs et le pouvoir de décision qui leur est octroyé dans la construction de projets de territoire. Or, dans notre étude, nous nous focalisons sur les outils participatifs et n'analysons pas la portée accordée au résultat de ces outils. Par conséquent, nous caractérisons le niveau de participation en distinguant simplement deux cas de figure : l'implication et l'absence d'implication des acteurs.
- le mode de participation : il s'agit de la manière dont les acteurs sont impliqués. Cet aspect couvre de plusieurs caractéristiques : les acteurs peuvent être mis à contribution isolément, en petit groupe ou en grande assemblée ; leurs contributions peuvent rester anonymes ou au contraire être dévoilées ; les acteurs peuvent participer directement ou indirectement par l'intermédiaire de représentants. Il nous a semblé que le plus structurant dans un outil concernant la manière d'impliquer les acteurs est sa disposition à les impliquer un par un ou au contraire en les réunissant. Nous caractérisons donc le mode de participation en distinguant une participation individuelle d'une participation collective des acteurs impliqués.

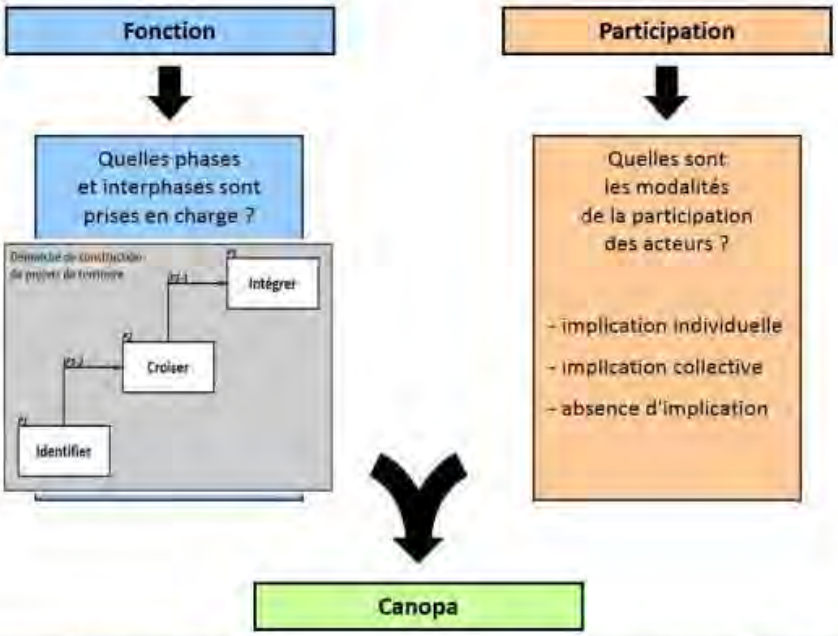
La combinaison des deux aspects décrits ci-dessus aboutit à trois modalités de la participation : i) les acteurs sont impliqués individuellement, ii) les acteurs sont impliqués collectivement ou iii) les acteurs ne sont pas impliqués. Dans l'analyse des outils participatifs avec Canopa, la participation engendrée par un outil mis en œuvre lors des démarches de construction de projets de territoire est caractérisée grâce à ces trois modalités.

Canopa : le cadre d'analyse des outils participatif pour la construction de projets de territoire

Le cadre d'analyse Canopa que nous proposons pour décrire et comparer les outils participatifs repose sur la fonction de ces outils et la participation qu'ils engendrent. Il interroge chaque outil sur ces deux traits (Figure 3, en haut) :

- i) Pour quelles phases des démarches de construction de projets de territoire l'outil est-il mis en œuvre ? Cette première question sert à situer l'outil au sein du modèle du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire et ainsi à définir sa fonction. La réponse consiste à indiquer les phases et interphases pour lesquelles l'outil est utilisé ou non ;
- ii) Quelles modalités de la participation sont appliquées lors de la mise en œuvre de l'outil ? Cette seconde question sert à renseigner sur l'implication des acteurs et ainsi à caractériser la participation. La réponse consiste à indiquer la modalité de la participation appliquée pour chaque phase que l'outil couvre.

Le cadre d'analyse Canopa peut être synthétisé dans un tableau (Figure 3, en bas) qui sert à consigner les informations qu'il met en exergue.



Nom de l'outil	Phase 1	Interphase 1-2	Phase 2	Interphase 2-3	Phase 3
	Identifier	→	Croiser	→	Intégrer
...	□ ind. □ col. □ s.a. □ Ø	□ ind. □ col. □ s.a. □ Ø	□ ind. □ col. □ s.a. □ Ø	□ ind. □ col. □ s.a. □ Ø	□ ind. □ col. □ s.a. □ Ø

ind. : implication des acteurs individuellement
col. : implication des acteurs collectivement
s.a. : absence d'implication des acteurs (sans acteurs)
Ø : absence de prise en charge par l'outil

Figure 3 : Le cadre d'analyse Canopa et les deux traits des outils participatifs qu'il interroge : leur fonction et la participation qu'ils engendrent / The analatical framework Canopa and both examined traits of participatory tools: function and produced participation

Nous avons utilisé Canopa pour analyser quinze outils participatifs et définir leurs profils. Nous entendons par outils participatifs, des dispositifs méthodologiquement institués, ou d'usage commun, et documentés qui facilitent l'implication des acteurs au cours de démarches participatives. Cette acception large a entrainé la considération d'une diversité de dispositifs et a abouti, par conséquent, à quinze outils variés :

- des supports présentant des informations qui proviennent des ou sont transmis aux acteurs : la carte mentale, la carte heuristique, la cartographie de l'occupation du sol, le diagramme de Venn ou schéma d'acteurs, la matrice AFOM, la rétrospective et le zonage à dires d'acteurs ;
- des techniques consistant en un ensemble intrinsèque de règles ou d'étapes à suivre avec les acteurs : l'entretien semi-directif ou libre et la prospective ;

- des approches correspondant à une entrée pour ou une façon de traiter un sujet avec les acteurs : l'approche paysagère ;
- des dispositifs mixtes : l'audit patrimonial (technique et approche), la méthode ARDI (support et technique), la méthode de l'appareil photo jetable (support et technique), le photo-questionnaire (support et technique) et le système multi-agent et jeu de rôles (support et technique).

Ces quinze outils sont ceux qui ont été envisagés au début d'un travail de recherche-action au cours duquel une démarche participative a été mise en œuvre afin qu'émerge un projet partagé de territoire concernant la place des forêts et sa gestion dans le développement local (Brédif et Simon 2014 ; Brédif et al. 2017 ; Valenzisi et al. 2016). Tous ces outils ont la particularité commune d'être utilisés ou même d'avoir été conçus lors de travaux de recherche participative. La plupart sont spécialement prévus pour l'étape de construction de projets de territoire.

Les quinze outils et le résultat de leur analyse avec Canopa

Les quinze outils étudiés ont été analysés en suivant le cadre Canopa. Une description et le résultat de l'analyse sont présentés pour chacun des outils classés selon le profil établi par l'analyse (Tableau 2). Chaque outil peut éventuellement être utilisé de différentes manières et donc afficher plusieurs profils. Toutefois, une seule manière est présentée pour chaque outil dans le tableau. Il s'agit de celle retenue dans le cadre du projet de recherche-action pour lequel ces outils ont été sélectionnés. Les citations bibliographiques proposées dans le tableau sont des références présentant la description de l'outil considéré et/ou des exemples de travaux lors desquels cet outil a été mis en oeuvre d'une manière similaire à celle retenue. Certaines autres options d'utilisation sont présentées dans la partie suivante décrivant les différents types de profil ressortant de l'analyse.

Tableau 2 : Description des outils participatifs étudiés et résultat de leur analyse avec Canopa / Description of participatory tools considered and result of their analysis with Canopa

La fonction d'un outil et les modalités de la participation des acteurs sont définies en indiquant à la fois si l'outil est mis en œuvre et comment les acteurs sont impliqués (ind. : impliquant les acteurs individuellement ; col. : impliquant les acteurs collectivement ; s.a. : n'impliquant pas les acteurs (sans acteurs) ; Ø : absence de prise en charge par l'outil) pour chaque phase (P1 : identifier ; P2 : croiser ; P3 : intégrer) et interphase (IP 1-2 entre P1 et P2 ; IP 2-3 entre P2 et P3) du modèle du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire.

	Outil	Description	Résultat de l'analyse					Exemple ou références
			P1	IP 1-2	P2	IP 2-3	P3	
1	**Carte mentale**	Chaque acteur impliqué décrit l'objet d'étude et le territoire considéré en matérialisant ses propos (mots, symboles, dessins) sur un support vierge et en indiquant les relations et les proximités (spatiales, notionnelles, sociales) entre les éléments inscrits. Les informations collectées au cours des différents entretiens sont analysées pour mieux comprendre l'objet et le territoire. Une synthèse peut être produite pour établir un état de lieux des différentes connaissances, motivations et représentations.	ind.	s.a.	s.a.	Ø	Ø	Soini (2001) Breux et al. (2010)
2	**Entretien** (semi-directif ou libre)	Chaque acteur impliqué est interviewé pour fournir des informations sur l'objet d'étude et le territoire considéré. Les informations collectées au cours des différents entretiens sont analysées pour mieux comprendre l'objet et le territoire. Une synthèse peut être produite pour établir un état de lieux des différentes connaissances, motivations et représentations.	ind.	s.a.	s.a.	Ø	Ø	Blanchet et Gotman (2007) Bertrand et al. (2007)
3	**Photo-questionnaire**	Chaque acteur impliqué est interrogé sur l'objet d'étude et le territoire considéré et répond aux questions sur la base de photographies fournies. Les réponses consistent en le choix de photographies paraissant illustrer le mieux la réponse à chaque question ou en une appréciation portée sur les photographies proposées au regard de chaque question. Les réponses sont ensuite analysées pour recueillir et comparer les différentes représentations.	ind.	s.a.	s.a.	Ø	Ø	Sullivan et al. (2004) Lelay et al. (2005) Cottet et al. (2013)
4	**Audit patrimonial**	Chaque acteur impliqué est placé en position d'expert et est interviewé pour fournir ses connaissances, motivations et représentations sur l'objet d'étude et le territoire considéré. L'entretien suit une grille d'analyse stratégique en quatre registres (IDPA) : i) identification de la situation et des problèmes, ii) diagnostic des actions engagées face aux problèmes,	ind.	s.a.	s.a.	col.	s.a.	Ollagnon (1987) Goussot (2003) Pupin et al. (2008)

		iii) prospective des problèmes et des actions, iv) actions pour résoudre les problèmes. Après un travail d'analyse des entretiens, une synthèse croisant les différentes connaissances, motivations et représentations est produite. Elle est ensuite présentée lors d'une réunion des acteurs rencontrés pour éventuellement apporter de légères modifications et surtout obtenir la validation du résultat par les acteurs. La visée stratégique des entretiens et la validation du résultat par les acteurs garantissent un matériau pouvant servir à définir les actions à entreprendre dans le cadre d'un projet de territoire.						
5	**Diagramme de Venn, schéma d'acteurs**	Chaque acteur impliqué représente les éléments (acteurs, lieux, ressources) en lien avec l'objet d'étude et le territoire considéré. La proximité (voire la superposition) et la taille des éléments renseignent sur respectivement les liens (voire l'appartenance ou l'appropriation) entre les éléments et l'importance des éléments. Les relations entre les éléments, particulièrement les acteurs, sont précisées. La construction codifiée sert à comparer voire compiler les diagrammes ou schémas produits par tous les acteurs. La mise en forme de cette comparaison ou compilation sert ensuite de support de discussion entre les acteurs réunis de leurs différentes représentations. La discussion peut aboutir à la production d'un diagramme ou schéma commun.	ind.	s.a.	col.	Ø	Ø	Hagmann et Murwira (1996) Ferguson et Heinz (2014)
6	**Méthode de l'appareil photo jetable**	Chaque acteur impliqué réalise des photographies, avec des appareils photo jetables mis à leur disposition, pour illustrer un sujet ou répondre à des questions concernant l'objet d'étude et le territoire considéré. Un entretien avec chaque acteur peut être conduit sur la base de ses photos notamment pour préciser leur signification. Après un travail de compilation, les photos faites par les différents acteurs peuvent servir de support de discussion entre les	ind.	s.a.	col.	Ø	Ø	Michelin (1998) Lelli et Paradis (2005) Marie et Madeline (2012)

13

		acteurs sur les différentes connaissances, motivations et représentations.						
7	**Rétrospective**	Chaque acteur impliqué produit une frise chronologique en positionnant les états et évènements passés qui expliquent la situation actuelle concernant l'objet d'étude et le territoire considéré. Les frises chronologiques produites par tous les acteurs peuvent être superposées et servir de support de discussion entre les acteurs sur les différentes représentations de la genèse de la situation actuelle. Une frise commune peut être produite lors de cette discussion.	ind.	s.a.	col.	Ø	Ø	Tremblay et Gutberlet (2010) Magcale-Macandog et al. (2014)
8	**Matrice AFOM** (ou SWOT)	Chaque acteur impliqué distingue les atouts, faiblesses, opportunités et menaces (AFOM ; ou SWOT : strengths, weaknesses, opportunities, threats) de l'objet d'étude et du territoire considérés. Ces informations sont consignées dans une matrice en quatre cases. Cette structuration uniforme rend aisée la compilation des informations de tous les acteurs impliqués dans une seule matrice. Cette matrice commune met en évidence les points forts et les convergences à valoriser et les points faibles et les divergences à solutionner. Elle est ainsi un support propice aux discussions entre les acteurs impliqués pour cibler les points sur lesquels les actions devront intégrer les différentes connaissances, motivations et représentations.	ind.	s.a.	col.	col.	Ø	Srivastava et al. (2005) Braun et Amorim (2015)
9	**Zonage à dires d'acteurs** (ZADA)	Chaque acteur impliqué représente les éléments (espaces, ressources, activités, acteurs) en lien avec l'objet d'étude et le territoire considéré en les localisant sur une carte muette du territoire. Les relations entre ces éléments peuvent être ajoutées à la carte ou consignées au cours de la production de la carte. Les ZADA produits par tous les acteurs peuvent être superposés et révèlent les différentes zones marquées par les convergences ou les divergences au regard de l'objet d'étude. Ils servent ainsi de support de discussion entre les acteurs pour cibler les zones d'intérêts où les actions	ind.	s.a.	col.	col.	Ø	Bonin et al. (2001) Caron et Cheylan (2005) Tounsi et al. (2008)

		devront intégrer les différentes connaissances, motivations et représentations.						
10	**Cartographie de l'occupation du sol**	Des informations géographiques concernant l'occupation du sol et l'utilisation de l'espace sont mises en forme cartographique pour représenter l'état actuel et les évolutions de l'objet d'étude et du territoire considéré. Les cartes servent de support à la discussion avec les acteurs impliqués réunis pour croiser leurs représentations avec celles des cartes et entre elles. Les cartes et les discussions révèlent les états et changements à prendre en compte dans le projet. Elles servent aussi à définir des actions qui intègrent les représentations des acteurs pour maintenir ou modifier ces états et accompagner, limiter ou pallier ces changements.	Ø	s.a.	col.	col.	col.	Touré et al. (2004) Kohler et al. (2013)
11	**Prospective**	Les acteurs impliqués sont réunis pour produire et échanger sur des scénarios d'évolution possible de l'objet d'étude et du territoire considéré. Une préparation peut être nécessaire préalablement au travail de production des scénarios pour structurer les informations mises à disposition des acteurs impliqués. Dans certains cas, ce sont les scénarios eux-mêmes qui sont préparés et proposés aux acteurs pour servir de supports de discussion. Le travail sur les scénarios sert à cibler les points de la prospective à prendre en compte dans le projet et à intégrer les connaissances, motivations et représentations des acteurs dans les actions définies pour atteindre les points positifs et éviter les points négatifs de la prospective.	Ø	s.a.	col.	col.	col.	de Jouvenel (1999) Durance et al. (2007) Dodane et al. (2014)
12	**Système multi-agents** (SMA), **jeu de rôles**	Un modèle est élaboré pour simuler le fonctionnement de l'objet d'étude et/ou du territoire considéré. Les acteurs impliqués réunis utilisent ce modèle pour reproduire et échanger sur le fonctionnement actuel. Ce modèle leur sert aussi à proposer et tester des changements. Sur la base de ces	Ø	s.a.	col.	col.	col.	Barreteau et al. (2002) Lardon et al. (2008) Chlous-Ducharme et Gourmelon (2012)

		simulations, des actions intégrant les connaissances, motivations et représentations des acteurs peuvent être définies.						
13	**Approche paysagère**	Les acteurs impliqués considèrent le paysage comme une entrée pour construire un projet concernant l'objet d'étude et le territoire considéré. Le paysage est à la fois la résultante du fonctionnement en cours et passé du territoire et le but à atteindre. Ainsi, cette approche aide les acteurs impliqués collectivement à poser un diagnostic et à croiser leurs regards sur l'objet d'étude et le territoire considéré. Puis, elle les aide à définir des objectifs et à proposer des actions qui intègrent les différentes connaissances, motivations et représentations pour atteindre ces objectifs.	col.	col.	col.	col.	col.	Dérioz (2008) Dubois (2009) Peyrache-Gadeau et Perron (2010)
14	**Carte heuristique** (mind-mapping, méthode des post-it)	La carte heuristique correspond à une carte mentale élaborée collectivement par les acteurs impliqués. Ce travail identifie et croise les connaissances, motivations et représentations des acteurs impliqués et aboutit à une représentation commune de l'objet d'étude et du territoire considéré. Cette représentation commune est un support pour aider les acteurs à définir des actions qui intègrent leurs différentes connaissances, motivations et représentations.	col.	col.	col.	col.	col.	Mosimane et al. (2014) Kraaijvanger et al. (2016)
15	**Méthode ARDI**	Les acteurs impliqués collectivement décrivent le fonctionnement de l'objet d'étude et du territoire considéré en précisant les acteurs, les ressources, les dynamiques et les interactions (ARDI) à l'œuvre. Ce travail identifie et croise les connaissances, motivations et représentations des acteurs impliqués et aboutit à un modèle du fonctionnement de l'objet d'étude et du territoire considéré. Ce modèle est un support pour aider les acteurs à définir et tester des actions qui intègrent leurs différentes connaissances, motivations et représentations.	col.	col.	col.	col.	col.	Etienne et al. (2011) Mathevet et al. (2011) de Doninck et al. (2015)

L'analyse des quinze outils participatifs avec Canopa a fait ressortir plusieurs profils. Elle a aussi révélé des répétitions de profils identiques. Cette particularité du résultat nous a amenés à réfléchir à la définition d'une typologie de ces outils. Nous proposons de décrire les différents profils obtenus au regard de cette typologie.

Quatre types de profils d'outils participatifs

La détermination des types a été effectuée en regroupant les outils par similarité de leurs profils. Nous avons focalisé l'observation de la similarité sur les trois phases, donc sans tenir compte des interphases, afin de se concentrer sur les activités essentielles lors de la construction de projets partagés de territoire. Ce travail distingue quatre types d'outils (Figure 4). Nous avons nommé chaque type en considérant les phases prises en charge de manière participative par les outils qu'il regroupe.

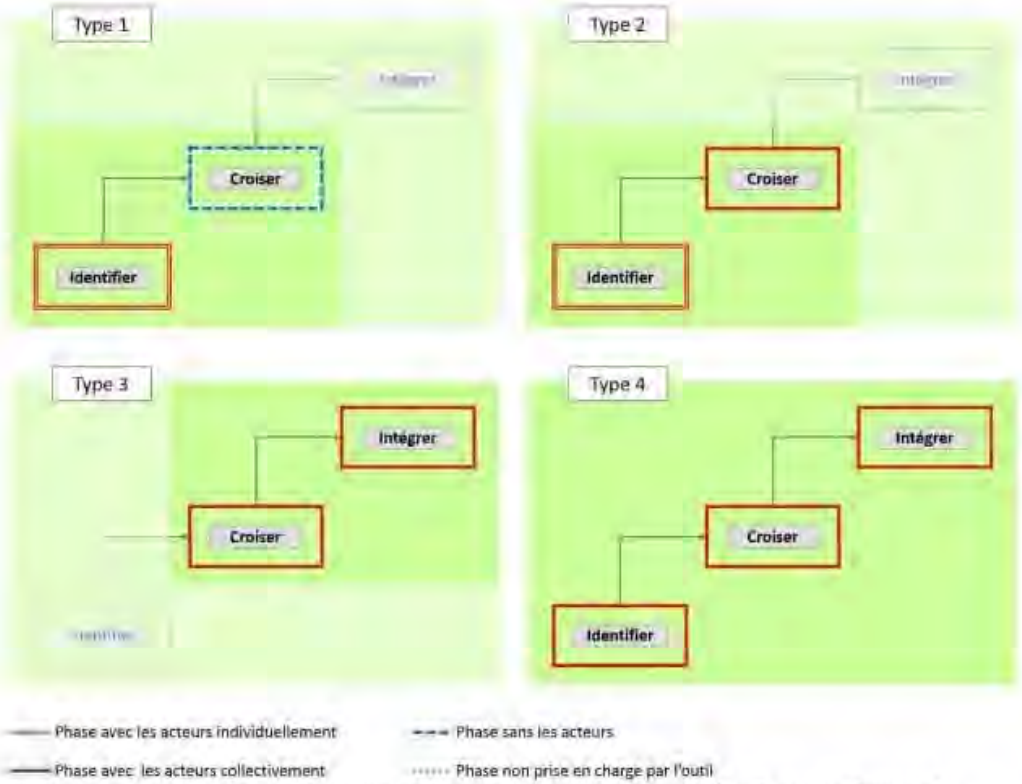


Figure 4 : La typologie des outils participatifs en quatre groupes issus de l'analyse avec Canopa des quinze outils étudiés / The four types of participatory tools derived from the analysis with Canopa of the fifteen tools considered

Type 1 : "Identifier"

Le premier type regroupe quatre outils. Parmi eux, la carte mentale (1), l'entretien semi-directif ou libre (2) et le photo-questionnaire (3) ressortent avec un profil identique. Ils servent tous trois à collecter les informations auprès des acteurs individuellement. En analysant ces informations, le facilitateur établit un état des lieux des différentes connaissances, motivations et représentations concernant l'objet d'étude et le territoire considérés.
L'état des lieux produit par les outils de ce profil peut ensuite servir de base et être mobilisé par d'autres outils pour la suite des démarches de construction de projets de territoire. Le résultat de l'analyse des informations collectées peut être mis en forme et présenté aux acteurs impliqués. Mais ce travail de mise en forme n'est pas inhérent à la carte mentale (1) et à l'entretien semi-directif ou libre (2). Le photo-questionnaire (3) n'est pas non plus conçu pour ce travail de mise en forme synthétique, mais en collectant uniformément l'information auprès de tous les acteurs, il semble plus directement approprié à une telle mise en forme.

Le quatrième outil inclus dans le premier type est l'audit patrimonial (4). Dans les premières phases, il a un profil identique à celui décrit ci-dessus. En effet, l'identification implique les acteurs individuellement et le croisement se fait sans les acteurs. Par construction, l'audit patrimonial (4) comprend une réunion des acteurs impliqués pour leur présenter et valider le résultat du croisement. Une telle réunion de présentation/validation est aussi envisageable avec les outils précédents, ce qui, si tel est le cas, prolonge la similarité jusqu'à la deuxième interphase. Mais, par sa structure et sa finalité stratégique, l'audit patrimonial (4) sert à déterminer les actions à entreprendre pour répondre aux différentes motivations des acteurs concernés. Il se distingue ainsi du profil des outils 1, 2 et 3 précédent puisqu'il est disposé à être mis en œuvre pour la phase d'intégration des connaissances, motivations et représentations des différents acteurs impliqués pour concevoir des projets partagés de territoire.

Les outils de ce premier type servent à préciser le contexte, les acteurs, leurs connaissances, motivations et représentations et les enjeux concernant l'objet d'étude et le territoire considérés, pour établir un état des lieux de la situation. Pour cela, ces outils sont utilisés pour la phase d'identification en impliquant les acteurs individuellement. Les rencontres individuelles lors de cette première phase constituent une condition favorable à une expression par chaque acteur de ses connaissances, motivations et représentations. Ce point est important car les projets de territoire nécessitent de traiter de sujets qui revêtent très souvent de multiples connaissances, motivations et représentations, différentes selon les acteurs, et qu'il n'est pas toujours aisé d'exprimer en groupe. Le croisement des informations identifiées est ensuite réalisé par le facilitateur sans les acteurs. Le résultat de ce croisement peut être présenté aux acteurs dans le but de préparer la phase d'intégration des différentes connaissances, motivations et représentations dans le projet de territoire considéré. Toutefois, les outils de ce premier type ne sont pas prévus pour cette phase d'intégration. L'audit patrimonial (4) fait figure d'exception car il est conçu pour prendre en charge cette phase, mais de manière non participative. C'est pour cette raison que nous l'avons inclus dans ce premier type.

Type 2 : "Identifier et croiser"

Le deuxième type regroupe cinq outils. Le diagramme de Venn ou schéma d'acteur (5), la méthode de l'appareil photo jetable (6) et la rétrospective (7) constituent un même profil. Comme ceux du premier type, ces quatre outils servent à collecter les informations auprès des acteurs individuellement. Mais la transcription des informations se faisant en respectant un format uniforme avec tous les acteurs, la compilation des informations collectées est aisée à réaliser et à présenter aux acteurs impliqués sans transformation. Le résultat de la compilation permise par ces outils est alors un support propice à la discussion et la phase de croisement est possible avec les acteurs collectivement. Ce travail collectif est un préalable à l'intégration participative des différentes connaissances, motivations et représentations.
Une utilisation collective dès la phase d'identification est envisageable avec le diagramme de Venn ou schéma d'acteurs (5) (Munyua et Stilwell 2010 ; Senyaz et al. 2011) et la rétrospective (7) (Sharma et al. 2016 ; Sword-Daniels et al. 2015). Mais il est alors plus délicat de révéler les spécificités des représentations des acteurs voire les divergences. Ces spécificités et divergences sont en effet plus facilement exprimées et visibles lorsque l'identification est individuelle et leur intégration ultérieure dans les actions à mettre en œuvre favorise la définition de projets partagés.

Deux autres outils sont inclus dans ce deuxième type. Il s'agit de la matrice AFOM (8) et du zonage à dires d'acteurs (9). Dans leurs premières phases, ces deux outils ont un profil identique à celui juste avant : une identification individuelle et une compilation pour un croisement collectif. Mais ces deux outils ciblent les points de fonctionnement ou géographiques sur lesquels les actions devront particulièrement intégrer les différentes connaissances, motivations et représentations des acteurs. Ils préparent ainsi à la phase d'intégration, ce qui les distingue du profil des outils 5, 6 et 7.
Une utilisation collective dès la phase d'identification est envisageable avec la matrice AFOM (8) (Peltonen-Sainio et al. 2015) et le zonage à dires d'acteurs (9) (Saqalli et al. 2009), avec la même limite que celle présentée précédemment pour les outils 5 et 7.

Les outils de ce deuxième type servent à exprimer et échanger sur les différentes connaissances, motivations et représentations concernant l'objet d'étude et le territoire considérés. Pour cela, ces outils sont mis en œuvre pour la phase d'identification en impliquant les acteurs individuellement. Comme avec les outils du premier type, les rencontres individuelles de la première phase constituent une condition favorable à une expression par chaque acteur de ses connaissances, motivations et représentations. Les informations sont collectées en suivant un format uniforme ce qui permet leur compilation sans transformation. Le résultat de cette compilation constitue un support pour qu'ensuite les acteurs collectivement croisent et comprennent les différentes connaissances, motivations et représentations. La plupart des outils de ce type peuvent aussi être mis en œuvre collectivement dès la phase d'identification. L'identification et le croisement ont alors lieu simultanément et aboutissent à une production commune. Dans tous les cas, les outils de ce deuxième type aident au dialogue entre les acteurs. Ils ne sont toutefois pas conçus pour prendre en charge la phase d'intégration, mais le résultat des discussions, notamment en matière d'apprentissage collectif, constitue un préalable solide à cette intégration. La matrice AFOM (9) et le zonage à dires d'acteurs (10) sont même appropriés à la préparation de cette phase puisqu'ils révèlent les points stratégiques ou géographiques sur lesquels les actions devraient porter.

Type 3 : "Croiser et intégrer"

Le troisième type regroupe trois outils : la cartographie de l'occupation du sol (10), la prospective (11) et le système multi-agent et le jeu de rôles (12). Ils servent à faire discuter les acteurs de leurs connaissances, motivations et représentations sur la base de supports de représentations diverses ou synthétiques de l'objet d'étude et du territoire considérés. La production des supports vierges nécessite une préparation pour organiser les informations qu'ils apportent. Ces informations ont été collectées préalablement auprès d'acteurs impliqués ou d'autres sources. Les supports complétés et les discussions qu'ils suscitent peuvent être utilisés pour proposer, tester, comparer et préciser par les acteurs impliqués collectivement des actions qui intègrent leurs différentes connaissances, motivations et représentations. Les outils au profil décrit ici interviennent souvent après la mise en œuvre d'outils prenant notamment en charge la phase d'identification et s'appuient sur les résultats de ces précédents outils. Par exemple, la prospective (11) peut s'appuyer sur un travail préalable de rétrospective (7) (Foran et al. 2013), la cartographie de l'occupation du sol peut assimiler les informations de cartes mentales (Kohler et al. 2013). Les systèmes multi-agent et jeux de rôles (12) s'insèrent souvent dans des processus de modélisation qui accompagnent la construction de projets de territoire et qui couvrent les trois phases des démarches (Barreteau et al. 2003 ; Becu et al. 2016). Nous regroupons les systèmes multi-agents et les jeux de rôles car leur liaison est très fréquente dans le cadre de ces processus de modélisation d'accompagnement (Barreteau et al. 2001 ; Le Page et al. 2009).

Les outils de ce troisième type servent à façonner des pistes d'actions partagées en aidant les acteurs collectivement à croiser leurs différentes connaissances, motivations et représentations pour les intégrer dans les actions qui composeront les projets en construction. Préalablement à leur mis en œuvre, ces outils nécessitent de connaitre la situation et de mettre en forme des informations. Pour obtenir ces informations, il peut être nécessaire de recourir à d'autres outils, appartenant au premier type par exemple. La mise en forme préalable des informations demande un travail généralement conséquent et sans les acteurs impliqués. Mais ce travail, lorsqu'il est réalisé au plus près des connaissances, motivations et représentations des acteurs, aboutit à des outils intéressants pour la facilitation des démarches et pour la construction de projets partagés de territoire.

Type 4 : "Identifier, croiser et intégrer"

Le quatrième type regroupe trois outils : l'approche paysagère (13), la carte heuristique (14) et la méthode ARDI (15). Ces outils ont la capacité d'œuvrer à toutes les phases des démarches de construction de projets de territoire et d'impliquer les acteurs toujours collectivement. Les deux premières phases se confondent, car les propos exprimés sont souvent immédiatement confrontés aux précédents. Ces deux phases confondues aboutissent à un état des lieux des connaissances, connaissances, motivations et représentations des acteurs. Cet état des lieux sert de support pour la phase d'intégration durant laquelle des actions sont proposées, testées, comparées et précisées par les acteurs impliqués.
L'état des lieux produit peut aussi être mobilisé par un autre outil pour prendre en charge la phase d'intégration. C'est par exemple possible avec la méthode ARDI (15) dont l'état des lieux produit est souvent utilisé pour la modélisation d'accompagnement et la réalisation de systèmes multi-agents ou jeux de rôle (12) et la prospective (11) (Etienne et al. 2011 ; Gourmelon et al. 2008).

L'approche paysagère (13) inclue souvent l'utilisation d'autres outils participatifs pour la construction de projets de territoire (Davodeau et Toublanc 2010).

Les outils de ce quatrième type peuvent prendre en charge les trois phases des démarches de manière participative et collective. Ils combinent ainsi les fonctions des trois autres types. En réunissant les acteurs impliqués tout au long des démarches, ils permettent un apprentissage collectif et favorise la constitution de groupes d'acteurs contribuant à la construction des projets partagés de territoire. Bien qu'ils aient la capacité de prendre en charge les trois phases, ils sont toutefois très souvent associés à d'autres outils sur certaines phases.

Une typologie générique des outils participatifs ?

Les quatre types ont été distingués à partir du résultat de l'analyse avec Canopa de quinze outils. Cet échantillon est limité mais les quatre types qui se distinguent semblent toutefois constituer des patrons généraux. En effet, un certain parallèle peut être fait entre cette typologie et les échelles de niveaux de participation (Arnstein 1969 ; OECD 2004) : les outils du premier type servent à identifier la situation et, utilisés seuls, ne développent ainsi qu'un niveau de participation faible, de l'ordre de la consultation ; les outils du deuxième type servent à croiser les différentes connaissances, motivations et représentations et développent ainsi un niveau de participation moyen, de l'ordre de l'échange réciproque ou de la collaboration ; les outils des troisième et quatrième types servent à intégrer les différentes connaissances, motivations et représentations aux actions à entreprendre et ainsi développent potentiellement un niveau de participation élevé de l'ordre du partenariat ou du partage du pouvoir de décision. Ce parallèle conforte l'attribution d'une certaine généricité à cette typologie. Il est à noter que les délimitations entre les types ne sont toutefois pas rigides comme le montre le cas de l'audit patrimonial dont le profil correspond au premier type bien qu'il puisse être utilisé pour la phase d'intégration.
Nous pouvons aussi remarquer que cette typologie ne distingue pas les outils en catégorie de dispositifs. En effet, elle rassemble dans un même type des outils très différents : des supports, des techniques, des approches. Des outils participatifs très différents peuvent donc contribuer à la même phase des démarches de construction de projets de territoire et, au contraire, des outils participatifs proches par certains traits peuvent contribuer à des phases différentes.

Canopa : un cadre d'analyse pour se repérer parmi les outils participatifs

La diversité des façons d'impliquer les acteurs et de considérer la participation est vaste (Reed 2008). Or, Canopa questionne le mode et le niveau de la participation engendrée par les outils participatifs au regard de trois modalités : l'implication individuelle des acteurs, l'implication collective des acteurs et l'absence d'implication des acteurs. Nous avons fait le choix de cette gamme de seulement trois modalités pour analyser la participation pour deux raisons. Nous souhaitions proposer une analyse qui, d'une part, soit simple, rapide et ne nécessite pas d'entrer dans le détail du fonctionnement technique de chaque outil à analyser et, d'autre part, qui définisse pour chaque outil un profil général valable quelle que soit la situation et ne s'attache pas aux différentes options de mise en œuvre. Concernant le niveau de participation, nous n'avons pas jugé possible d'apporter plus de précision que la dualité implication / non implication des acteurs puisque nous nous focalisons sur les outils. En effet, les outils participatifs ne sont pas

intrinsèquement responsables du niveau de participation atteint lors des démarches de construction de projets de territoire. En outre, la participation au cours des démarches ne se réduit pas aux outils participatifs employés (Bonaccorsi et Nonjon 2012). Pour évaluer le niveau de participation, il semble donc falloir évaluer les démarches dans leur ensemble, ce à quoi Canopa peut contribuer comme nous le présentons plus loin. Concernant le mode de participation, c'est-à-dire comment les acteurs sont impliqués, il nous a semblé difficile d'en tenir compte finement étant donné la possibilité d'adapter la mise en œuvre de la plupart des outils à chaque situation. Nous avons toutefois pris en compte la dualité implication individuelle / implication collective des acteurs car cette distinction apparait discriminante dans le fonctionnement de nombreux outils. De fait, dans notre étude, seul le profil des outils 5, 6 et 7 présente une certaine polyvalence sur ce point. Cette dualité touche à l'expression par les acteurs et à l'agrégation des différentes connaissances, motivations et représentations. Cette expression est souvent plus libre lors d'une implication individuelle. Une implication collective peut en effet constituer des barrières sociales, reproduisant celles existant au sein des territoires ou de nouvelles au sein des collectifs constitués pour l'occasion, limitant cette expression. Mais l'agrégation nécessite souvent une transformation des propos des acteurs lorsqu'ils se sont exprimés individuellement, alors qu'elle est souvent directement réalisée par les acteurs lors d'une implication collective. Ainsi, avec cette dualité, nous considérons deux modes de participation très structurants dans le fonctionnement et le résultat des outils.

Selon les auteurs, la construction d'un projet de territoire peut se décomposer en un nombre variable de phases. Par exemple, Blumenthal et Jannink (2000) ne distinguent que deux phases ("*Information collection*" et "*Planning*") avant la mise en œuvre d'un projet, certains auteurs en distinguent cinq ou six (Cornwall et Jewkes 1995 ; Lardon et Piveteau 2005 ; López Rieux 2010) et d'autres peuvent en distinguer un nombre bien plus important pour étudier des processus particuliers, tels que Barreteau et al. (2010) qui en spécifient quinze. Le modèle du déroulement général des démarches participatives que nous proposons comme base de Canopa distingue trois phases représentant les activités essentielles de ces démarches : i) identifier la situation, les connaissances, motivations et représentations des acteurs, ii) croiser ces connaissances, motivations et représentations, et iii) les intégrer dans les actions à prévoir pour parvenir à des projets partagés de territoire. Nous avons retenu ce nombre limité de phases, afin de proposer un cadre d'analyse général et simple des outils utilisables dans le cadre de telles démarches. Ces trois phases semblent couvrir la totalité des activités essentielles de ces démarches, comme cela apparait avec les correspondances que nous avons fait ressortir entre notre modèle et différentes démarches comparables (Tableau 1). À ces trois phases, deux interphases ont été ajoutées pour renseigner sur le fonctionnement des outils. Ces interphases précisent soit le besoin de préparer une phase prise en charge par un outil (par exemple la première interphase IP 1-2 dans les cas du profil des outils 10, 11 et 12), soit la capacité à préparer une phase non prise en charge par un outil (par exemple, la deuxième interphase IP 2-3 dans le cas du profil des outils 8 et 9). Mais, ces interphases apparaissent peu pertinentes voire inutiles lorsqu'elles se situent entre deux phases pour lesquelles la modalité de la participation est identique (par exemple les deux interphases dans le cas du profil des outils 13, 14 et 15). De plus, ces interphases ne représentent pas, au contraire des trois phases, des activités essentielles pour la construction de projets partagés de territoire. On peut donc leur accorder une moindre importance. Le résultat de l'analyse des quinze outils participatifs présenté plus haut montre d'ailleurs que ces interphases ne participent que très peu dans la distinction des profils (seuls le profil des outils 5, 6 et 7 et le profil des outils 8 et 9 se différencient grâce à la

deuxième interphase). C'est pourquoi nous avons proposé une typologie des outils participatifs sur la base des profils obtenus sans considérer les interphases.

Le modèle du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire sur lequel repose Canopa laisse supposer une certaine linéarité chronologique des trois phases. En fait, il peut exister des allers-retours entre ces phases. Ces allers-retours sont soit des rétroactions provoquées par l'émergence de nouvelles problématiques ou de sujets subsidiaires à aborder au cours de l'avancement des démarches, soit des retours en arrière nécessaires pour lever des points de blocage ou approfondir certains éléments des projets. Suite à un retour vers une phase antérieure, il est possible d'utiliser de nouveau un outil déjà mis en œuvre lors de cette phase antérieure ou d'opter pour un nouvel outil pertinent et complémentaire. En outre, certains outils incluent dans leur fonctionnement la possibilité de supporter ce genre d'allers-retours. C'est le cas par exemple des systèmes multi-agents ou jeux de rôles lors desquels de nouvelles informations, identifiées au cours de leur mise en œuvre avec les acteurs, peuvent être ajoutées aux règles de fonctionnement ou de décision modélisées pour enrichir les discussion et définir des actions intégrant mieux les connaissances, motivations et représentations des acteurs. Bien que Canopa parviennent à décrire ces outils, il pourrait être affiné pour évaluer spécifiquement la capacité des outils participatifs à supporter de tels allers-retours lors des démarches de construction de projets de territoire.

La contribution de Canopa au choix des outils participatifs et à l'évaluation des démarches participatives

Plusieurs outils sont souvent nécessaires, simultanément ou successivement, au cours d'une même démarche participative (Lynam et al. 2007). Si de nombreuses études proposent des informations ou des méthodes pour aider au choix d'outils appropriés au projet considéré (Diot-Labuset 2015 ; Evans et al. 2006 ; PAM 2001 ; Slocum et al. 2006), nous n'avons pas trouvé de travaux qui aident à questionner la complémentarité entre les outils utilisés au cours des démarches de construction de projets de territoire. En rapprochant les profils établis par Canopa, il est possible d'examiner deux formes de complémentarité potentiellement concomitantes :
- une complémentarité par successivité, les différents outils couvrant des phases distinctes d'une même démarche. Cette forme est notamment à analyser pour estimer l'étendue de la couverture participative des démarches ;
- une complémentarité par supplémentarité, différents outils couvrant une ou plusieurs mêmes phases d'une même démarche. Cette forme est notamment à analyser lorsqu'apparait le besoin d'un approfondissement ou d'une répétition d'une ou plusieurs phases des démarches en diversifiant les outils.
Canopa peut ainsi servir à analyser la complémentarité des outils participatifs pour mieux maîtriser (analyse *a priori*) ou pour discuter (analyse *a posteriori*) leur choix pour une démarche donnée. Il vient ainsi compléter les analyses existantes des caractéristiques techniques du fonctionnement et des résultats des outils participatifs.

La mobilisation d'outils participatifs lors des démarches de construction de projets de territoire ne renseigne que très peu sur le niveau de participation dans ces démarche. En effet, elle ne dit rien de l'étendue de l'implication des acteurs ni du pouvoir de décision qui leur est accordé. Pourtant, dans le contexte général actuel, la participation est de plus en plus un impératif et est l'objet de lobbying pour les projets publics (Mazeaud et Nonjon 2015), et pour d'autres projets également

(projets de recherche, projets d'entreprise). Dans ce contexte, être critique concernant la participation est plus que jamais une nécessité pour éviter qu'elle ne se réduise qu'aux outils mobilisés et au qualificatif "participatifs" qu'on leur accole (Bonaccorsi et Nonjon 2012). Canopa, peut contribuer à évaluer la participation développée lors de démarches de construction de projets de territoire. En effet, son analyse des outils participatifs mis en œuvre lors de telles démarches révèle les phases impliquant les acteurs. Elle renseigne ainsi sur l'étendue de l'implication des acteurs lors de ces démarches. Cette étendue de l'implication reste toutefois à approfondir en précisant notamment quels acteurs participent et de quel pouvoir de décision ils disposent effectivement (Cornwall 2008 ; Rowe et Frewer 2000) pour évaluer la participation dans la globalité des démarches de construction de projets de territoire.

Remerciements

Cet article a été rédigé grâce à des travaux réalisés dans le cadre du projet OPTIQ-Biodiversité (Outils et processus de territorialisation intégrée de la qualité de la biodiversité). Ce projet fait partie du programme Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques (BGF) financé par le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) et le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (MAAF), et animé par le Groupement d'intérêt public Écosystèmes forestiers (GIP ECOFOR).
Plusieurs personnes ont contribué aux travaux du projet OPTIQ-Biodiversité qui ont alimenté cet article : Paul Arnould, Kristell Michel et Clément Dodane (UMR EVS, ENS Lyon), Christine Jacqueminet (UMR EVS, Université Jean Monnet Saint-Étienne), Saïda Kermadi (UMR EVS, Université Lumière Lyon 2), Marc Valenzisi (FCBA), Hervé Brédif (UMR Ladyss, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne) et Élise Levinson (UFR GVSP, AgroParisTech).

Cet article a aussi été rédigé lors du projet Terafor (Territoire et agroforesterie) financé par la Fondation de France dans le cadre de son programme Agroforesterie tempérée.

Plusieurs relecteurs ont contribué à enrichir et éclairer cet article. Nous tenons à les en remercier.

Bibliographie

Arnstein SR (1969) A ladder of citizen participation, *Journal of the American Institute of planners*, *35*, 4, pp. 216-224.

Barnaud C (2013) La participation, une légitimité en question, *Natures Sciences Sociétés*, *21*, 1, pp. 24-34.

Barreteau O, Antona M, D'Aquino P, Aubert S, Boissau S, Bousquet F, Daré W, Etienne M, Page C Le, Mathevet R, Trébuil G, Weber J (2003) Our companion modelling approach, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation [en ligne]*, *6*, 1.

Barreteau O, Bots PWG, Daniell KA (2010) A framework for clarifying "participation" in participatory research to prevent its rejection for the wrong reasons, *Ecology and Society [en*

ligne], *15*, 2.

Barreteau O, Bousquet F, Attonaty J-M (2001) Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems, *Journal of artificial societies and social simulation [en ligne]*, *4*, 2.

Barreteau O, D'Aquino P, Bousquet F, Le Page C (2002) "Le jeu de rôles à l'interface entre systèmes réel et virtuel pour la gestion de ressources renouvelables : exemples d'application au Sénégal," dans Orange D, Arfi R, Kuper M, Morand P et Poncet Y. (dir.), *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, Marseille, France, IRD Editions, pp. 799-814.

Becu N, Coninck A De, Taleb Heidi M, Abdallahi Ould Inejih C, Dionnet M, Rougier JE, Leteurtre E, Chavance PN, Bouzouma M (2016) Construction de compromis autour d'une démarche d'accompagnement à la mise en place du plan d'aménagement de la pêcherie de la courbine en Mauritanie, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [en ligne]*, *16*, 3.

Bertrand M, Blot F, Dascon J, Gambino M, Milian J, Molina G (2007) Géographie et représentations : de la nécessité des méthodes qualitatives, *Bilan et prospectives de la recherche qualitative en sciences humaines et sociales*, 3, pp. 316-334.

Blanchet A, Gotman A (2007) *L'entretien : l'enquête et ses méthodes*, 2ème édition, Paris, France, Armand Colin (128 - Sociologie - Anthropologie).

Blumenthal D, Jannink J-L (2000) A classification of collaborative management methods, *Conservation Ecology [en ligne]*, *4*, 2.

Bonaccorsi J, Nonjon M (2012) "La participation en kit" : l'horizon funèbre de l'idéal participatif, *Quaderni*, *3*, 79, pp. 29-44.

Bonin M, Thinon P, Caron P, Cheylan J-P, Clouet Y (2001) Territoire, zonage et modélisation graphique : recherche-action et apprentissage, *Géocarrefour*, *76*, 3, pp. 241-252.

Braun R, Amorim A (2015) Rapid 'SWOT" Diagnosis Method for Conservation Areas, *Scottish Geographical Journal*, *131*, 1, pp. 17-35.

Brédif H, Simon L (2014) Ordinary Biodiversity, Local Stakeholders and Forest Management as a Driver for Regional Sustainable Development, *Open Journal of Forestry*, *4*, pp. 249-258.

Brédif H, Simon L, Valenzisi M (2017) Stakeholder motivation as a means toward a proactive shared approach to caring for biodiversity: Application on Plateau de Millevaches, *Land Use Policy*, *61*, pp. 12-23.

Bresson M (2014) La participation : un concept constamment réinventé. Analyse sociologique des enjeux de son usage et de ses variations, *Socio-logos [en ligne]*, 9.

Breux S, Reuchamps M, Loiseau H (2010) Apports et potentialités de l'utilisation de la carte mentale en science politique, *Transeo Review [en ligne]*, 2-3.

Caron P, Cheylan J-P (2005) Donner sens à l'information géographique pour accompagner les projets de territoire : cartes et représentations spatiales comme supports d'itinéraires croisés, *Géocarrefour*, *80*, 2, pp. 111-122.

Chlous-Ducharme F, Gourmelon F (2012) Modélisation d'accompagnement : appropriation de la démarche par différents partenaires et conséquences : Expérience originale en milieu côtier, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [en ligne]*, *11*, 3.

Claeys-Mekdade C (2001) Qu'est-ce qu'une "population concernée" ? L'exemple camarguais, *Géocarrefour*, *76*, 3, pp. 217-223.

Cornwall A (2008) Unpacking 'Participation': models, meanings and practices, *Community Development Journal*, *43*, 3, pp. 269-283.

Cornwall A, Jewkes R (1995) What is participatory research?, *Social science and medicine*, *41*, 12, pp. 1667-1676.

Cottet M, Piégay H, Bornette G (2013) Does human perception of wetland aesthetics and healthiness relate to ecological functioning?, *Journal of environmental management*, *128*, pp. 1012-1022.

Davodeau H, Toublanc M (2010) Le paysage outil, les outils du paysage, *Co-construction ou construction en commun d'objectifs collectifs*, p. 436.

Dérioz P (2008) L'approche paysagère : un outil polyvalent au service de l'approche opérationnelle et interdisciplinaire des problématiques environnementales, *Interdisciplinarité et gestion environnementale : Partage d'expériences autour de la psychologie environnementale*, p. CDrom.

Diot-Labuset C (2015) "Démocratie participative : Guide des outils pour agir," *Etats des lieux et analyses*, Boulogne-Billancourt, France.

Dodane C, Joliveau T, Rivière-Honegger A (2014) Simuler les évolutions de l'utilisation du sol pour anticiper le futur d'un territoire. Analyse critique d'une expérience de géoprospective dans un bassin versant périurbain de l'agglomération lyonnaise, *Cybergeo: European Journal of Geography [en ligne]*, 689.

Doninck A de, Deroubaix J-F, Carré C, Becu N, Haghe JP, Hubert G (2015) "Confronter et recomposer les représentations pour concilier des politiques environnementales antagonistes. L'implication de la communauté scientifique dans la mise en débat de la continuité écologique sur Grand Morin," dans Beringuier P, Blot F, Desailly B, Saqalli M (coord.), *Environnement, politiques publiques et pratiques locales*, Paris, France, L'Harmattan, p. 563.

Dubois C (2009) Le paysage, enjeu et instrument de l'aménagement du territoire, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, *13*, 2, pp. 309-316.

Durance P, Godet M, Mirénowicz P, Pacini V (2007) "La prospective territoriale. Pour quoi faire ? Comment faire ?," dans Godet M, Pesqueux Y (dir.), *Les cahiers du LIPSOR*, Paris, France, CNAM - Librairie des Arts et Métiers (Recherche), p. 134.

Etienne M, Toit D Du, Pollard S (2011) ARDI: a co-construction method for participatory modeling in natural resources management, *Ecology and Society [en ligne]*, *16*, 1.

Evans K, Jong W de, Cronkleton P, Sheil D, Lynam T, Kusumanto T, Colfer CJP (2006) *Guide to participatory tools for forest communities*, Bogor, Indonesia, CIFOR.

Ferguson O, Heinz K (2014) Venn Diagram. Also known as the Chapati Diagram, p. 2.

Foran T, Ward J, Kemp-Benedict E, Smajgl A (2013) Developing detailed foresight narratives: a participatory technique from the Mekong region, *Ecology and Society [en ligne]*, *18*, 4.

Gourmelon F, Etienne M, Rouan M, Kerbiriou C, Charles M, Bioret F, Chlous-Ducharme F, Guermeur Y, Levrel H (2008) Eléments de prospective environnementale dans une réserve de biosphère, *Cybergeo: European journal of geography [en ligne]*, 429.

Goussot A (2003) Place de l'eau et de sa gestion dans la construction et le développement d'un territoire : le cas de Bièvre-Valloire (Isère et Drôme, France), *Revue de géographie alpine*, *91*, 2, pp. 41-56.

Hagmann J, Murwira K (1996) *Indigenous Soil And Water Conservation In Southern Zimbabwe: A Study On Techniques Historical Changes And Recent Developments Under Participatory Research And Extension*, IIED (Dryland Programme Issue Paper).

Jouvenel H de (1999) La démarche prospective. Un bref guide méthodologique, *Futuribles*, 247, pp. 47-68.

Kohler F, Marchand G, Léna P, Thierry C (2013) Conditions socio-environnementales pour la réhabilitation de la nature ordinaire : un exemple de démarche participative, *Cahiers des Amériques latines*, 72-73, pp. 85-106.

Kraaijvanger R, Almekinders C, Veldkamp A (2016) Identifying crop productivity constraints and opportunities using focus group discussions: A case study with farmers from Tigray, *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, *78*, pp. 139-151.

Lajarge R, Roux E (2007) "Ressource, projet, territoire : le travail continu des intentionnalités," dans Gumuchian H, Pecqueur B (dir.), *La ressource territoriale*, Economica, p. 252.

Lardon S, Angeon V, Leblanc P, Trognon L (2008) Usage du "jeu de territoire" pour faciliter la construction d'une vision partagée du territoire dans une démarche participative. L'élaboration du plan stratégique du Temiscamingue Daniel Ricard (dir.) (dir.), *Développement Durable des*

Territoires : de la Mobilisation des Acteurs aux Démarches Participatives, 28, pp. 129-145.

Lardon S, Piveteau V (2005) Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux, *Géocarrefour*, *80*, 2, pp. 75-90.

Lelay Y-F, Piegay H, Cossin M (2005) Les enquêtes de perception paysagère à l'aide de photographies. Choix méthodologiques et exemples en milieu fluvial, *Actes des Septièmes Rencontres de Théo Quant [en ligne]*.

Lelli L, Paradis S (2005) Analyse critique d'un dispositif méthodologique de diagnostic paysager : le cas du bassin versant du Cérou (Tarn, Midi-Pyrénées), *Géocarrefour*, *80*, 2, pp. 123-130.

López Rieux CX (2010) L'aménagement participatif. Un nouvel objet d'étude, *L'Ordinaire des Amériques [en ligne]*, 214.

Lynam T, Jong W de, Sheil D, Kusumanto T, Evans K (2007) A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management, *Ecology and society [en ligne]*, *12*, 1.

Magcale-Macandog DB, Cruz CPP de la, Edrial JD, Reblora MA, Pabico JP, Salvacion AR, Marquez Jr TL, Macandog PBM, Perez DKB (2014) Eliciting local ecological knowledge and community perception on fishkill in Taal Lake through Participatory Approaches, *Journal of Environmental Science and Management*, *17*, 2, pp. 1-16.

Marie M, Madeline P (2012) D'une génération à l'autre : lecture et interprétation des paysages de bocage par les agriculteurs de trois régions laitières en Basse-Normandie (France), *Cahiers de géographie du Québec*, *56*, 157, pp. 9-28.

Mathevet R, Etienne M, Lynam T, Calvet C (2011) Water management in the Camargue Biosphere Reserve: insights from comparative mental models analysis, *Ecology and Society [en ligne]*, *16*, 1.

Mazeaud A, Nonjon M (2015) De la cause au marché de la démocratie participative, *Agone*, *1*, 1, pp. 135-152.

Michelin Y (1998) Des appareils photo jetables au service d'un projet de développement : représentations paysagères et stratégies des acteurs locaux de la montagne thiernoise, *Cybergeo: European journal of geography [en ligne]*, 65.

Mosimane AW, McCool S, Brown P, Ingrebretson J (2014) Using mental models in the analysis of human-wildlife conflict from the perspective of a social-ecological system in Namibia, *Oryx*, *48*, 1, pp. 64-70.

Munyua H, Stilwell C (2010) A mixed qualitative-quantitative-participatory methodology: A study of the agricultural knowledge and information system (AKIS) of small-scale farmers in

Kirinyaga district, Kenya, *Library management*, *31*, 1/2, pp. 5-18.

OECD (2004) Stakeholder Involvement Techniques: Short Guide and Annotated Bibliography, p. 30.

Ollagnon H (1987) Une nécessaire rencontre des approches théoriques et pragmatiques de la gestion de la nature : l'audit patrimonial de type système-acteurs, *Cahier du GERMES*, *12*, pp. 1-13.

Page C Le, Abrami G, Barreteau O, Becu N, Bommel P, Botta A, Dray A, Monteil C, Souchère V (2009) "Des modèles pour partager des représentations," dans Etienne, Michel (dir.), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, Paris, France, Quae éditions, pp. 71-101.

PAM (Programme alimentaire mondiale) (2001) "Techniques et outils participatifs. Guide du PAM," Rome, Italie.

Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Alakukku L (2015) Stakeholder perspectives for switching from rainfed to irrigated cropping systems at high latitudes, *Land Use Policy*, *42*, pp. 586-593.

Peyrache-Gadeau V, Perron L (2010) Le Paysage comme ressource dans les projets de développement territorial, *Développement durable et territoires [en ligne]*, *1*, 2.

Pupin V, Viel J-M, Colin M (2008) Une démarche patrimoniale de gestion de la qualité du vivant en Île-de-France : l'expérience de la plaine de Versailles et du plateau des Alluets, *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 55, pp. 125-134.

Reed MS (2008) Stakeholder participation for environmental management: a literature review, *Biological conservation*, *141*, 10, pp. 2417-2431.

Rowe G, Frewer LJ (2000) Public participation methods: a framework for evaluation, *Science, technology, and human values*, *25*, 1, pp. 3-29.

Saqalli M, Caron P, Defourny P, Issaka A (2009) The PBRM (perception-based regional mapping): A spatial method to support regional development initiatives, *Applied Geography*, *29*, 3, pp. 358-370.

Senyaz A, Sulusoglu M, Yilmaz E (2011) People's Participation in Forest Management and Some Recommendations. The Case Study of Mersin (Turkey), *Forêt méditerranéenne*, *32*, 4, pp. 465-470.

Sharma D, Holmes I, Vergara-Asenjo G, Miller WN, Cunampio M, Cunampio RB, Cunampio MB, Potvin C (2016) A comparison of influences on the landscape of two social-ecological systems, *Land Use Policy*, *57*, pp. 499-513.

Slocum N, Elliott J, Heesterbeek S, Lukensmeyer CJ (2006) *Méthodes participatives. Un guide pour l'utilisateur*, Bruxelles, Belgique, Fondation Roi Baudoin.

Soini K (2001) Exploring human dimensions of multifunctional landscapes through mapping and map-making, *Landscape and Urban planning*, *57*, 3, pp. 225-239.

Srivastava P, Kulshreshtha K, Mohanty C, Pushpangadan P, Singh A (2005) Stakeholder-based SWOT analysis for successful municipal solid waste management in Lucknow, India, *Waste management*, *25*, 5, pp. 531-537.

Sullivan WC, Anderson OM, Lovell ST (2004) Agricultural buffers at the rural-urban fringe: an examination of approval by farmers, residents, and academics in the Midwestern United States, *Landscape and Urban Planning*, *69*, 2, pp. 299-313.

Sword-Daniels V, Twigg J, Loughlin S (2015) Time for change? Applying an inductive timeline tool for a retrospective study of disaster recovery in Montserrat, West Indies, *International journal of disaster risk reduction*, *12*, pp. 125-133.

Tounsi K, Gammoudi L, Clouet Y (2008) Le zonage à dires d'acteurs : un outil cartographique pour la confrontation des savoirs et pouvoirs endogènes et exogènes à propos du développement local : étude de cas en Tunisie centrale, *Science et changements planétaires/Sécheresse*, *19*, 1, pp. 3-12.

Touré I, Bah A, D'Aquino P, Dia I (2004) Savoirs experts et savoirs locaux pour la coélaboration d'outils cartographiques d'aide à la décision, *Cahiers agricultures*, *13*, 6, pp. 546-553.

Tremblay C, Gutberlet J (2010) Empowerment through participation: assessing the voices of leaders from recycling cooperatives in Sao Paulo, Brazil, *Community Development Journal*, *47*, 2, pp. 282-302.

Valenzisi M, Brédif H, Vigan M (2016) "Qualité de la biodiversité et motivation des acteurs : une médiation prometteuse entre logique de filière et dynamique territoriale. Premiers résultats d'une démarche de recherche-action conduite sur le plateau de Millevaches," dans Farcy C, Huybens N (dir.), *Forêts, savoirs et motivations*, Paris, France, l'Harmattan, p. 353.

Liste des illustrations

Figure 1 : Les trois phases (P1, P2 et P3) et les deux interphases (IP 1-2 et IP 2-3) du modèle proposé du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire / The three phases (P1, P2 and P3) and both interphases (IP1-2 and IP2-3) in the model proposed for general proceedings of construction of local development projects

Figure 2 : Schéma des parties prenantes des démarches participatives de construction de projets de territoire / Diagram of stakeholders in participatory approach of construction of local development projects

Figure 3 : Le cadre d'analyse Canopa et les deux traits des outils participatifs qu'il interroge : leur fonction et la participation qu'ils engendrent / The analatical framework Canopa and both examined traits of participatory tools: function and produced participation

Figure 4 : La typologie des outils participatifs en quatre groupes issus de l'analyse avec Canopa des quinze outils étudiés / The four types of participatory tools derived from the analysis with Canopa of the fifteen tools considered

Tableau 1 : Positionnement des trois phases du modèle proposé du déroulement général des démarches de construction de projets de territoire vis-à-vis de quatre autres descriptions de démarches similaires / Comparison of the three phases of the model proposed for construction of local development project with four others descriptions of similar approaches

Tableau 2 : Description des outils participatifs étudiés et résultat de leur analyse avec Canopa / Description of participatory tools considered and result of their analysis with Canopa

Annexe 2 : Classement des fonctions des espaces arborés du modèle Terafor par catégorie et sous-catégorie de structures et processus biophysiques

Certaines fonctions impliquent des structures ou processus biophysiques de différentes catégories ou sous-catégories. Elles sont donc répétées dans ce tableau et sont repérées avec une lettre dans une case verte dans la colonne à droite du tableau. Cette lettre est précédée d'un astérisque pour les fonctions répétées au sein d'une même catégorie (aucune répétition n'est possible au sein d'une même sous-catégorie).
Le total des fonctions différentes que couvre chaque catégorie et sous-catégorie est indiqué sous chacune d'elle. Les fonctions composites, c'est-à-dire celles impliquant plusieurs structures ou processus biophysiques, répétées au sein d'une même catégorie sont comptées une seule fois dans ce total. Le nombre de fonctions composites comprises dans chaque total est indiqué sous ce total.
Les fonctions sont distinguées entre services ("(s)" ; en bleu), disservices ("(d)" ; en rouge) et fonctions ambivalentes ("(a)" ; en violet).

Catégorie de structures et processus biophysiques	Sous-catégorie de structures et processus biophysiques	Fonctions	
1. Structure physique Total : 40 composites : 15	**1.1. Structure fixe** Total : 10 composites : 4	(s) Délimitation et espacement entre propriétés ou parcelles	
		(a) Esthétique paysagère et marque culturelle	
		(s) Image de marque du territoire	
		(s) Intégration paysagère de bâtiments ou aménagements	
		(d) Obligations réglementaires ou juridiques	a
		(d) Obstacle pour des activités ou des aménagements	
		(s) Subventions, exonérations fiscales	b
		(s) Support d'activités récréatives, sportives, spirituelles	c
		(s) Support de grattage pour les animaux d'élevage	
		(d) Surface occupée excluant d'autres usages	d
	1.2. Filtre physique aérien Total : 23 composites : 9	(d) Accentuation des températures extrêmes (gel, coup de chaleur) dans les cultures à distance de la formation arborée	
		(d) Compétition pour la lumière avec les cultures	
		(s) Constitution d'un brise-vue	
		(s) Constitution de clôture	
		(s) Épuration de l'air (adsorption)	e
		(s) Limitation de l'érosion éolienne	
		(s) Limitation de l'érosion hydrique (exportation de sol)	*f
		(s) Limitation de la dispersion d'espèces invasives	g
		(s) Limitation de la propagation de maladies entre les parcelles	h
		(d) Limitation du champ de visibilité	
		(d) Limitation du déplacement et de la dispersion d'espèces de milieux asylvatiques	i
		(s) Limitation du déplacement et de la dispersion des bioagresseurs des cultures entre parcelles	j
		(a) Ombrage (obstacle ou protection) dans les lieux de vie	
		(a) Protection contre la chaleur des animaux d'élevage	
		(s) Protection des animaux d'élevage contre le vent et le froid	*k
		(s) Protection des animaux d'élevage contre les précipitations	
		(s) Protection des bâtiments et lieux de vie contre le vent	
		(s) Protection des cultures contre le dessèchement (échaudage)	*l

		(s) Protection des cultures contre les dégradations dues au vent	
		(a) Réduction de la vitesse du vent à l'échelle régionale	
		(s) Réduction des nuisances sonores	
		(s) Régulation des flux hydrologiques	*m
		(a) Répartition hétérogène des précipitations à l'échelle régionale	
	1.3. Filtre physique superficiel et souterrain Total : 7 composites : 5	(s) Épuration de l'eau	n
		(s) Limitation de l'érosion (ablation de sol)	
		(s) Limitation de l'érosion hydrique (exportation de sol)	*f
		(s) Limitation de la stagnation de l'eau et rabattement de la nappe phréatique (drainage)	
		(s) Protection des cultures contre le dessèchement (échaudage)	*l
		(s) Régulation des flux hydrologiques	*m
		(s) Source d'eau et amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs (stockage d'eau dans le sol)	o
	1.4. Capteur/émetteur de rayonnements Total : 4 composites : 1	(s) Augmentation de la température au sol	
		(a) Augmentation de la température et réduction des amplitudes de température à l'échelle régionale	
		(s) Protection des animaux d'élevage contre le vent et le froid	*k
		(s) Source de lumière par réflexion des rayons solaires	
2. Végétal (communauté végétale) Total : 25 composites : 11	**2.1. Producteur primaire (biomasse, expansion)** Total : 17 composites : 7	(s) Altération de la roche-mère	p
		(s) Fertilité des sols (MO, minéraux)	*q
		(s) Maintien de végétaux d'intérêt sanitaire ou diététique pour les animaux d'élevage	r
		(d) Nécessité de moyens (matériel, temps, argent, connaissances) pour l'entretien et l'amélioration des ressources sylvestres	s
		(d) Nécessité de moyens (matériel, temps, argent, connaissances) pour la récolte des produits sylvestres	t
		(d) Nécessité de moyens (matériel, temps, argent) pour retenir l'expansion de la formation arborée	
		(s) Production de bois buches et fagots	
		(s) Production de bois copeaux (BRF, plaquette (énergie, litière), trituration (papier, panneau, fibres))	
		(s) Production de bois d'œuvre (grumes pour le sciage, le tranchage ou le déroulage, lutherie)	
		(s) Production de bois de service (piquets, poteaux, manches)	
		(s) Production de fruits ou autres produits non ligneux des arbres et arbustes	
		(s) Production de fruits ou feuillage des arbres et arbustes pour le fourrage ou la litière	
		(s) Production de produits non issus des arbres et arbustes (plantes médicinales, champignons, petits fruits)	u
		(s) Production de produits non issus des arbres et arbustes pour le fourrage ou la litière	
		(s) Ressources mellifères (nectar, pollen) pour la production apicole	
		(s) Ressources pour la vie du sol	*v
		(s) Séquestration du carbone	
	2.2. Absorbeur Total : 3 composites : 2	(d) Compétition pour l'eau et les éléments nutritifs avec les cultures	
		(s) Épuration de l'air (absorption)	e
		(s) Épuration de l'eau	n

	2.3. Excréteur Total : 7 composites : 4	(a) Augmentation du taux d'humidité de l'air Réduction des amplitudes du taux d'humidité de l'air à l'échelle régionale	
		(s) Composition de l'air en éléments bénéfiques	
		(d) Composition de l'air en éléments néfastes	
		(s) Fertilité des sols (minéraux, salinité)	*q
		(s) Protection des cultures contre le dessèchement (échaudage)	l
		(s) Ressources pour la vie du sol	*v
		(s) Source d'eau et amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs (ascenseur hydraulique)	o
3. Ecosystème Total : 29 composites : 13	**3.1. Habitat écologique** Total : 16 composites : 9	(s) Altération de la roche-mère	p
		(s) Maintien d'espèces généralistes ou forestières héliophiles	
		(s) Maintien d'espèces sciaphiles	
		(s) Maintien d'espèces terricoles	
		(s) Maintien de végétaux bénéfiques à la vie des abeilles domestiques	
		(s) Maintien de végétaux d'intérêt sanitaire ou diététique pour les animaux d'élevage	r
		(d) Nécessité de moyens (matériel, temps, argent, connaissances) pour l'entretien et l'amélioration des ressources sylvestres	s
		(d) Nécessité de moyens (matériel, temps, argent, connaissances) pour la récolte des produits sylvestres	t
		(d) Obligations réglementaires ou juridiques	a
		(s) Production de produits non issus des arbres et arbustes (plantes médicinales, champignons, petits fruits)	u
		(s) Source de produits pour la cueillette récréative	
		(s) Subventions, exonérations fiscales	b
		(s) Support d'activités cynégétiques récréatives	
		(s) Support d'activités économiques cynégétiques	
		(s) Support d'activités récréatives, sportives, spirituelles	c
		(d) Surface occupée excluant d'autres usages	d
	3.2. Réservoir ou corridor écologique Total : 8 composites : 0	(s) Déplacement et dispersion d'espèces sciaphiles ou généralistes	
		(d) Dispersion d'espèces invasives	
		(d) Réservoir d'espèces bioagresseurs des arbres	
		(d) Réservoir d'espèces bioagresseurs des cultures	
		(d) Réservoir d'espèces bioagresseurs des herbages	
		(s) Réservoir d'espèces d'ennemis naturels des bioagresseurs des cultures	
		(d) Réservoir d'espèces parasites ou vectrices de maladies pour les animaux d'élevage	
		(s) Réservoir d'espèces pollinisatrices	
	3.3. Filtre écologique Total : 5 composites : 4	(d) Diminution d'espèces de milieux asylvatiques	
		(s) Limitation de la dispersion d'espèces invasives	g
		(s) Limitation de la propagation de maladies entre les parcelles	h
		(d) Limitation du déplacement et de la dispersion d'espèces de milieux asylvatiques	i
		(s) Limitation du déplacement et de la dispersion des bioagresseurs des cultures entre parcelles	j

Annexe 3 : Catégorisation des fonctions des espaces arborés du modèle Terafor selon la classification du MEA et la classification basée sur les caractéristiques spatiales des services écosystémiques

La classification du MEA (Millennium ecosystem assessment) (MEA 2005) classe les services écosystémiques en quatre groupes : les services i) de provision, ii) de régulation, iii) culturels et iv) de support.
La classification basée sur les caractéristiques spatiales des services écosystémiques proposée par Costanza (2008) et utilisée dans le projet smallFOREST (Decocq *et al.* 2016) distingue cinq groupes : les services i) *in situ*, ii) locaux-proximaux, iii) relatifs à des flux, iv) globaux et v) relatifs à l'attractivité pour les utilisateurs.

Tableau synthétique :

	MEA	**smallFOREST**
52 services	- services de provision : 7 - services de régulation : 19 - services culturels : 8 - services de support : 18	- services in situ : 19 - services locaux-proximaux : 20 - services relatifs à des flux : 7 - service global : 1 - services relatifs à l'attractivité : 5
7 fonctions ambivalentes	- fonctions de régulation : 6 - fonction culturelle : 1	- fonctions locales-proximales : 2 - fonctions globales : 4 - fonction relative à l'attractivité : 1
18 disservices	(non pris en compte, classification non adaptée aux disservices)	- disservices in situ : 6 - disservices locaux-proximaux : 9 - disservices relatifs à des flux : 2 - disservice relatif à l'attractivité : 1
Total des fonctions	- fonctions de provision : 7 (12%) - fonctions de régulation : 25 (42%) - fonctions culturels : 9 (15%) - fonctions de support : 18 (31%)	- fonctions in situ : 25 (32%) - fonctions locales-proximales : 31 (40%) - fonctions relatives à des flux : 9 (12%) - fonctions globales : 5 (7%) - fonctions relatives à l'attractivité : 7 (9%)

Tableaux de catégorisation :

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
1. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités forestières et agroforestières **(fonctions 1 à 10)**	Les services d'approvisionne-ment en produits ligneux et non ligneux	bois d'œuvre (1)	**provision**	**in situ**
		bois de service (2)	**provision**	**in situ**
		copeaux (3)	**provision**	**in situ**
		bûches et fagots (4)	**provision**	**in situ**
		produits non ligneux issus des arbres (5)	**provision**	**in situ**
		produits non ligneux non issus des arbres (6)	**provision**	**in situ**
		activités économiques cynégétiques (7)	**provision**	**in situ**
	Les disservices liés aux productions forestières et agroforestières	bioagresseurs des ressources forestières et agroforestières (8)		**in situ**
		moyens nécessaires à l'entretien ou à l'amélioration des ressources (9)		**in situ**
		moyens nécessaires à la récolte et au façonnage des produits (10)		**in situ**

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
2. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités d'élevage et apicoles **(fonctions 11 à 23)**	Les services soutenant l'élevage et l'apiculture	protection contre la chaleur et le soleil (11)	**régulation**	**local-proximal**
		protection contre le froid et le vent (12)	**régulation**	**local-proximal**
		protection contre les précipitations (13)	**régulation**	**local-proximal**
		support de grattage (14)	**support**	**in situ**
		source de plantes d'intérêt sanitaire (15)	**support**	**in situ**
		limitation de la propagation de maladies (16)	**régulation**	**local-proximal**
		source de fourrage (feuillage, fruits) ou de litière (feuilles) issus des arbres (18)	**support**	**in situ**
		source de fourrage (végétation herbacée, petits fruits) ou de litière (fougère) non issus des arbres (19)	**support**	**in situ**
		constitution de clôtures (21)	**support**	**in situ**
		ressources bénéfiques à la vie des abeilles (22)	**support**	**in situ**
		ressources mellifères pour les productions apicoles (23)	**support**	**in situ**
	Les disservices contraignant l'élevage	protection contre la chaleur et le soleil (11)		**local-proximal**
		source de parasites ou de vecteurs de maladies (17)		**local-proximal**
		source de bioagresseurs des herbages (20)		**local-proximal**

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
3. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités culturales **(fonctions 24 à 39)**	Les disservices contraignant les activités de production végétale	compétition pour la lumière avec les cultures (24)		local-proximal
		compétition pour l'eau et les éléments nutritifs du sol avec les cultures (26)		local-proximal
		accentuation des températures extrêmes (gel, coup de chaleur) au centre des cultures (31)		local-proximal
		source de bioagresseurs des cultures (35)		local-proximal
	Les services soutenant les productions végétales et la conservation des sols cultivés	source de lumière par réflexion des rayons solaires pour les cultures (25)	support	local-proximal
		source d'eau et amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures (27)	support	local-proximal
		protection des cultures contre le dessèchement (28)	régulation	local-proximal
		protection des cultures contre les dégradations dues au vent (29)	régulation	local-proximal
		augmentation de la température au sol dans les cultures contiguës (30)	support	local-proximal
		source de pollinisateurs des cultures (32)	support	local-proximal
		source d'ennemis naturels de bioagresseurs des cultures (33)	régulation	local-proximal
		limitation de la propagation des bioagresseurs des cultures (34)	régulation	local-proximal
		limitation de l'érosion éolienne (36)	régulation	flux
		limitation de l'érosion hydrique (37)	régulation	flux
		limitation de la stagnation de l'eau (drainage) et l'abaissement du niveau de la nappe phréatique (38)	régulation	local-proximal
		amélioration de la fertilité des sols (39)	support	local-proximal

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
4. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités de gestion et d'aménagement de ces espaces et leurs abords **(fonctions 40 à 44)**	Les disservices contraignant la gestion et l'aménagement de l'espace	obstacle aux activités et aménagements (40)		local-proximal
		surface occupée excluant d'autres usages (41)		in situ
		moyens nécessaires pour retenir l'expansion des espaces arborés (42)		in situ
		obligations ou contraintes réglementaires (44)		in situ
	Les services soutenant le maintien ou l'implantation d'espaces arborés	soutiens institutionnels (43)	culturel	in situ

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
5. Les fonctions des espaces arborés concernant les activités de résidence **(fonctions 45 à 52)**	Les services soutenant la qualité du cadre de vie des acteurs du territoire	démarcation d'espaces (propriétés, parcelles) (45)	**culturel**	**local-proximal**
		constitution d'un brise-vue (46)	**culturel**	**local-proximal**
		protection contre les nuisances sonores (47)	**régulation**	**local-proximal**
		protection des bâtiments et lieux de vie contre le vent et ses méfaits (48)	**régulation**	**local-proximal**
		ombrage des bâtiments et lieux de vie (49)	**régulation**	**local-proximal**
		absorption et adsorption de polluants volatiles (50)	**régulation**	**local-proximal**
		émission d'éléments bénéfiques dans l'air (51)	**régulation**	**local-proximal**
	Les disservices dégradant la qualité du cadre de vie des acteurs du territoire	ombrage des bâtiments et lieux de vie (49)		**local-proximal**
		émission d'éléments néfastes dans l'air (52)		**local-proximal**

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
6. Les fonctions des espaces arborés concernant l'attractivité du territoire et les activités récréatives **(fonctions 53 à 59)**	Les services soutenant la qualité du territoire	esthétique du paysage et marque culturelle (53)	**culturel**	**attractivité**
		intégration paysagère de bâtiments ou aménagements (54)	**culturel**	**attractivité**
		image de marque du territoire ou du lieu (56)	**culturel**	**attractivité**
		source de produits pour la cueillette récréative (57)	**culturel**	**attractivité**
		lieu ou support d'activités cynégétiques récréatives (58)	**culturel**	**attractivité**
		lieu ou support d'activités de loisir, sportives, spirituelles (59)	**culturel**	**attractivité**
	Les disservices dégradant la qualité du territoire	esthétique paysagère et marque culturelle (53)		**attractivité**
		obstruction du champ de visibilité (55)		**attractivité**

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
7. Les fonctions des espaces arborés concernant le fonctionnement écosystémique **(fonctions 60 à 68)**	Les services des espaces arborés contribuant à la préservation de la biodiversité	maintien d'espèces forestières sciaphiles (60)	**support**	**in situ**
		maintien d'espèces généralistes ou forestières héliophiles (61)	**support**	**in situ**
		amélioration du déplacement et de la dissémination d'espèces forestières ou généralistes (62)	**support**	**flux**
		limitation de l'expansion d'espèces invasives (63)	**régulation**	**flux**
		ressources pour la vie du sol (67)	**support**	**in situ**
		maintien d'espèces terricoles (68)	**support**	**in situ**
	Les disservices des espaces arborés fragilisant la biodiversité	diminution d'espèces d'habitats asylvatiques (64)		**local-proximal**
		limitation du déplacement et de la dissémination d'espèces d'habitats asylvatiques (65)		**flux**
		expansion d'espèces invasives (66)		**flux**

		Fonctions des espaces arborés Terafor	MEA	smallFOREST
8. Les fonctions des espaces arborés concernant les cycles biogéochimiques et le fonctionnement climatique régional **(fonctions 69 à 77)**	Les services des espaces arborés contribuant aux cycles biogéochimiques	altération de la roche-mère (69)	**support**	**local-proximal**
		limitation de l'érosion (70)	**régulation**	**flux**
		épuration de l'eau (71)	**régulation**	**flux**
		régulation des flux hydrologiques (72)	**régulation**	**flux**
		séquestration du carbone (73)	**régulation**	**global**
	Les fonctions des espaces arborés influençant le climat régional	augmentation de la température et réduction de ses amplitudes à l'échelle régionale (74)	**régulation**	**global**
		augmentation et stabilisation du taux d'humidité de l'air à l'échelle régionale (75)	**régulation**	**global**
		réduction de la vitesse du vent à l'échelle régionale (76)	**régulation**	**global**
		répartition hétérogène des précipitations à l'échelle régionale (77)	**régulation**	**global**

Annexe 4 : Les tableaux d'agrégation du modèle Terafor pour les évaluations des trois types d'espaces arborés (ponctuel, linéaire et surfacique)

Le tableau d'agrégation de chaque critère du modèle Terafor est présenté. La catégorie de chaque critère est précisée avant sa dénomination et sa position dans la structuration hiérarchique du modèle Terafor est précisée sous sa dénomination.
Les tableaux d'agrégation d'un même critère pour les trois types d'espaces arborés sont présentés ensemble pour les comparer. Les tableaux sont de couleur différente selon le type d'espace arborés : orangé pour "Ponctuel", vert pour "Linéaire" et bleu pour "Surfacique". Les tableaux identiques pour plusieurs types d'espaces arborés sont non colorés et présenté en une unique version pour tous les types concernés.
Six fonctions ne disposent pas de tableaux d'agrégation car sont évaluées directement (sans paramètres).
Les pourcentages indiquent le poids estimé par DEXi des critères composants (colonnes de gauche) dans l'évaluation du critère composé (colonne de droite).
Les lignes consignent toutes les règles d'agrégation du critère composé. Le signe * indique que la règle d'agrégation est valable quelle que soit la valeur du critère composant correspondant. Les signe <= ou >= indiquent que la règle d'agrégation est valable pour la valeur située après le signe ainsi que pour toute valeur ayant une position respectivement inférieure ou supérieure dans la distribution ordonnée des valeurs du critère composant correspondant.

Fonction : **Bois d'œuvre (1)**

>>> Activité : Produits ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel

ArbreOeuvre 60%	EntretienArbreOeuvre 20%	StationArbreOeuvre 20%	#1 - BoisOeuvre
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Linéaire

NombreArbreOeuvre 31%	LongueurPos100 14%	EntretienArbreOeuvre 28%	StationArbreOeuvre 28%	#1 - BoisOeuvre
0	*	*	*	Negligeable
<=1 - 4	< 100m	Negligeable	*	Negligeable
<=1 - 4	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
>=1 - 4	*	Notable	Notable	Notable
>=1 - 4	> 100m	*	Notable	Notable
>=1 - 4	> 100m	Notable	*	Notable
> 4	*	*	Notable	Notable
> 4	*	Notable	*	Notable

Surfacique

NombreArbreOeuvre 38%	SurfacePos02-1 11%	EntretienArbreOeuvre 25%	StationArbreOeuvre 25%	#1 - BoisOeuvre
0	*	*	*	Negligeable
<=1 - 8	< 0,2ha	Negligeable	*	Negligeable
<=1 - 8	< 0,2ha	*	Negligeable	Negligeable
<=1 - 8	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	<=0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable	Negligeable
>=1 - 8	*	Notable	Notable	Notable
>=1 - 8	>=0,2ha - 1ha	*	Notable	Notable
>=1 - 8	>=0,2ha - 1ha	Notable	*	Notable
> 8	*	*	Notable	Notable
> 8	*	Notable	*	Notable
> 8	> 1ha	*	*	Notable

Fonction : **Bois de service (2)**

>>> Activité : Produits ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel

ArbreService 50%	StationArbreService 50%	#2 - BoisService
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Linéaire

NombreArbreService 33%	LongueurPos100 33%	StationArbreService 33%	#2 - BoisService
< 4	< 100m	*	Negligeable
< 4	*	Negligeable	Negligeable
*	< 100m	Negligeable	Negligeable
*	> 100m	Notable	Notable
> 4	*	Notable	Notable
> 4	> 100m	*	Notable

Surfacique

NombreArbreService 40%	SurfacePos02-1 20%	StationArbreService 40%	#2 - BoisService
< 8	<=0,2ha - 1ha	*	Negligeable
< 8	*	Negligeable	Negligeable
*	<=0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable
*	> 1ha	Notable	Notable
> 8	*	Notable	Notable
> 8	> 1ha	*	Notable

Fonction : **Bois copeaux (3)**

>>> Activité : Produits ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel

ArbreCopeau 50%	StationArbreCopeau 50%	#3 - BoisCopeau
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Linéaire

DensiteArbreCopeau 25%	LongueurPos100 25%	LargeurPos5 25%	StationArbreCopeau 25%	#3 - BoisCopeau
Negligeable	< 100m	*	*	Negligeable
Negligeable	*	< 5m	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	< 100m	< 5m	*	Negligeable
*	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 5m	Negligeable	Negligeable
*	> 100m	> 5m	Notable	Notable
Notable	*	> 5m	Notable	Notable
Notable	> 100m	*	Notable	Notable
Notable	> 100m	> 5m	*	Notable

Surfacique

DensiteArbreCopeau 40%	SurfacePos02-1 20%	StationArbreCopeau 40%	#3 - BoisCopeau
Negligeable	< 0,2ha	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	< 0,2ha	Negligeable	Negligeable
*	>=0,2ha - 1ha	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	>=0,2ha - 1ha	*	Notable

Fonction : **Bois buches et fagots (4)**

>>> Activité : Produits ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel

ArbreBuche 50%	StationArbreBuche 50%	#4 - BoisBuche
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Linéaire

DensiteArbreBuche 25%	LongueurPos100 25%	LargeurPos5 25%	StationArbreBuche 25%	#4 - BoisBuche
Negligeable	< 100m	*	*	Negligeable
Negligeable	*	< 5m	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	< 100m	< 5m	*	Negligeable
*	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 5m	Negligeable	Negligeable
*	> 100m	> 5m	Notable	Notable
Notable	*	> 5m	Notable	Notable
Notable	> 100m	*	Notable	Notable
Notable	> 100m	> 5m	*	Notable

Surfacique

DensiteArbreBuche 40%	SurfacePos02-1 20%	StationArbreBuche 40%	#4 - BoisBuche
Negligeable	< 0,2ha	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	< 0,2ha	Negligeable	Negligeable
*	>=0,2ha - 1ha	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	>=0,2ha - 1ha	*	Notable

Activité : Produits ligneux

>>> *Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#1 - BoisOeuvre 25%	#2 - BoisService 25%	#3 - BoisCopeau 25%	#4 - BoisBuche 25%	Ligneux
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Notable	Modere
Negligeable	Negligeable	Notable	Negligeable	Modere
Negligeable	Notable	Negligeable	Negligeable	Modere
Notable	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Modere
*	*	Notable	Notable	Fort
*	Notable	*	Notable	Fort
*	Notable	Notable	*	Fort
Notable	*	*	Notable	Fort
Notable	*	Notable	*	Fort
Notable	Notable	*	*	Fort

Fonction : **Produits non ligneux issus des arbres (5)**

>>> Activité : Produits non ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel

ArbreFruit 60%	EntretienArbreFruit 20%	StationArbreFruit 20%	#5 - FruitArbre
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Linéaire

NombreArbreFruit 25%	LongueurPos100 25%	EntretienArbreFruit 25%	StationArbreFruit 25%	#5 - FruitArbre
< 4	< 100m	*	*	Negligeable
< 4	*	Negligeable	*	Negligeable
< 4	*	*	Negligeable	Negligeable
*	< 100m	Negligeable	*	Negligeable
*	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	> 100m	Notable	Notable	Notable
> 4	*	Notable	Notable	Notable
> 4	> 100m	*	Notable	Notable
> 4	> 100m	Notable	*	Notable

Surfacique

NombreArbreFruit 38%	SurfacePos02-1 11%	EntretienArbreFruit 25%	StationArbreFruit 25%	#5 - FruitArbre
0	*	*	*	Negligeable
<=1 - 8	< 0,2ha	Negligeable	*	Negligeable
<=1 - 8	< 0,2ha	*	Negligeable	Negligeable
<=1 - 8	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	<=0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable	Negligeable
>=1 - 8	*	Notable	Notable	Notable
>=1 - 8	>=0,2ha - 1ha	*	Notable	Notable
>=1 - 8	>=0,2ha - 1ha	Notable	*	Notable
> 8	*	*	Notable	Notable
> 8	*	Notable	*	Notable
> 8	> 1ha	*	*	Notable

Fonction : **Produits non ligneux non issus des arbres (6)**

>>> Activité : Produits non ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel

AutreFruit 50%	EntretienAutreFruit 50%	#6 - ProduitAutre
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Linéaire

DensiteAutreFruit 25%	LongueurPos100 25%	LargeurPos3 25%	EntretienAutreFruit 25%	#6 - ProduitAutre
Negligeable	< 100m	*	*	Negligeable
Negligeable	*	< 3m	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	< 100m	< 3m	*	Negligeable
*	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 3m	Negligeable	Negligeable
*	> 100m	> 3m	Notable	Notable
Notable	*	> 3m	Notable	Notable
Notable	> 100m	*	Notable	Notable
Notable	> 100m	> 3m	*	Notable

Surfacique

DensiteAutreFruit 40%	SurfacePos02-1 20%	EntretienAutreFruit 40%	#6 - ProduitAutre
Negligeable	< 0,2ha	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	< 0,2ha	Negligeable	Negligeable
*	>=0,2ha - 1ha	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	>=0,2ha - 1ha	*	Notable

Fonction : **Activités économiques cynégétiques (7)**

>>> Activité : Produits non ligneux >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

Etagement 30%	StrateBassePos 15%	NourritureGibier 40%	TalusFossePos 15%	#7 - ChasseEco
Abrupt	Negligeable	<=Modere	*	Negligeable
Abrupt	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Abrupt	*	<=Modere	Negligeable	Negligeable
*	*	Faible	*	Negligeable
*	*	Fort	Notable	Notable
*	Notable	>=Modere	Notable	Notable
*	Notable	Fort	*	Notable
Graduel	*	>=Modere	*	Notable

Surfacique

SurfacePos02-1 26%	StrateBassePos 30%	NourritureGibier 13%	ElementGibierPos 30%	#7 - ChasseEco
< 0,2ha	Negligeable	*	*	Negligeable
< 0,2ha	*	Faible	*	Negligeable
< 0,2ha	*	*	Negligeable	Negligeable
<=0,2ha - 1ha	Negligeable	<=Modere	*	Negligeable
<=0,2ha - 1ha	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
<=0,2ha - 1ha	*	<=Modere	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	<=Modere	Negligeable	Negligeable
*	Notable	>=Modere	Notable	Notable
>=0,2ha - 1ha	*	Fort	Notable	Notable
>=0,2ha - 1ha	Notable	*	Notable	Notable
>=0,2ha - 1ha	Notable	Fort	*	Notable
> 1ha	*	*	Notable	Notable
> 1ha	*	Fort	*	Notable
> 1ha	Notable	*	*	Notable

Activité : **Produits non ligneux**

>>> *Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières*

Ponctuel

#5 - FruitArbre 50%	#6 - ProduitAutre 50%	NonLigneux
Negligeable	Negligeable	Faible
Negligeable	Notable	Modere
Notable	Negligeable	Modere
Notable	Notable	Fort

Linéaire, Surfacique

#5 - FruitArbre 33%	#6 - ProduitAutre 33%	#7 - ChasseEco 33%	NonLigneux
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible
Negligeable	Negligeable	Notable	Modere
Negligeable	Notable	Negligeable	Modere
Notable	Negligeable	Negligeable	Modere
*	Notable	Notable	Fort
Notable	*	Notable	Fort
Notable	Notable	*	Fort

Fonction : **Source de bioagresseurs des ressources (agro)forestières (8)**

>>> Activité : Coûts des productions (agro)forestières >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel, Linéaire

StrateBasseNeg 33%	TalusFosseNeg 33%	NourritureNuisibleArbre 33%	#8 - NuisibleArbre
Notable	Notable	*	Notable
Notable	*	Notable	Notable
*	Notable	Notable	Notable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable

Surfacique

StrateBasseNeg 33%	ElementGibierNeg 33%	NourritureNuisibleArbre 33%	#8 - NuisibleArbre
Notable	Notable	*	Notable
Notable	*	Notable	Notable
*	Notable	Notable	Notable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable

Fonction : **Moyens pour l'entretien et l'amélioration des ressources (agro)forestières (9)**

>>> Activité : Coûts des productions (agro)forestières >>> Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

BesoinEntretien 53%	BesoinSupplement 47%	#9 - EntretienAmelio
Fort	*	Fort
<=Modere	Notable	Fort
Modere	Negligeable	Modere
Faible	Notable	Modere
Faible	Negligeable	Faible

Fonction : **Moyens pour la récolte et le façonnage des produits (agro)forestiers (10)**

>>> *Activité : Coûts des productions (agro)forestières* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

CoutRecolte	AccesExploit	#10 - Recolte
53%	47%	
Fort	*	Fort
<=Modere	Negligeable	Fort
Modere	Notable	Modere
Faible	Negligeable	Modere
Faible	Notable	Faible

Activité : **Coûts des productions (agro)forestières**

>>> *Domaine d'activités : Activités forestières et agroforestières*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#8 - NuisibleArbre 33%	#9 - EntretienAmelio 33%	#10 - Recolte 33%	CoutProduction
Notable	<=Modere	*	Fort
Notable	*	<=Modere	Fort
*	Fort	*	Fort
*	<=Modere	<=Modere	Fort
*	*	Fort	Fort
Notable	Faible	Faible	Modere
Negligeable	Modere	Faible	Modere
Negligeable	Faible	Modere	Modere
Negligeable	Faible	Faible	Faible

Domaine d'activités : **Activités forestières et agroforestières**

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Ligneux 33%	NonLigneux 33%	CoutProduction 33%	Agroforest
Faible	Faible	<=Modere	Negatif
Faible	<=Modere	Fort	Negatif
<=Modere	Faible	Fort	Negatif
Faible	<=Modere	Faible	Faible ou disparate
<=Modere	Faible	Faible	Faible ou disparate
Faible	Modere	>=Modere	Faible ou disparate
Faible	>=Modere	Modere	Faible ou disparate
<=Modere	Modere	Modere	Faible ou disparate
Faible	Fort	<=Modere	Faible ou disparate
<=Modere	Fort	Fort	Faible ou disparate
Modere	Faible	>=Modere	Faible ou disparate
Modere	<=Modere	Modere	Faible ou disparate
>=Modere	Faible	Modere	Faible ou disparate
Modere	Modere	<=Modere	Faible ou disparate
Modere	>=Modere	Fort	Faible ou disparate
>=Modere	Modere	Fort	Faible ou disparate
Fort	Faible	<=Modere	Faible ou disparate
Fort	<=Modere	Fort	Faible ou disparate
*	Fort	Faible	Positif
>=Modere	>=Modere	Faible	Positif
>=Modere	Fort	>=Modere	Positif
Fort	*	Faible	Positif
Fort	>=Modere	>=Modere	Positif
Fort	Fort	*	Positif

Infra-fonction : **Production d'ombre pour les animaux d'élevage**

***>>>** Fonction : Protection contre la chaleur et le soleil (11) **>>>** Infra-activité : Confort des animaux **>>>** Activité : Activité d'élevage **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : infra-fonction non évaluée

Linéaire, Surfacique

DepassHouppier 33%	HauteurPos5 33%	PorositeHoupPos50 33%	Ombre
< 2m	< 5m	*	Negligeable
< 2m	*	> 50%	Negligeable
*	< 5m	> 50%	Negligeable
*	> 5m	< 50%	Notable
> 2m	*	< 50%	Notable
> 2m	> 5m	*	Notable

Infra-fonction : **Limitation du rafraichissement des animaux d'élevage par le vent**

***>>>** Fonction : Protection contre la chaleur et le soleil (11) **>>>** Infra-activité : Confort des animaux **>>>** Activité : Activité d'élevage **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : infra-fonction non évaluée

Linéaire

OrientVentFreqNeg 50%	PorositeNeg50 50%	LimitVent
90 - 45 deg	< 50%	Notable
*	> 50%	Negligeable
45 - 0 deg	*	Negligeable

Surfacique

OrientVentFreqNeg 50%	DensitePos 50%	LimitVent
90 - 45 deg	Negligeable	Notable
*	Notable	Negligeable
45 - 0 deg	*	Negligeable

Fonction : **Protection contre la chaleur et le soleil (11)**

>>> Infra-activité : Confort des animaux >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

DepassHouppier 33%	HauteurPos5 33%	PorositeHoupPos50 33%	#11 - ProtecChaleur
< 2m	< 5m	*	Negligeable
< 2m	*	> 50%	Negligeable
*	< 5m	> 50%	Negligeable
*	> 5m	< 50%	Notable
> 2m	*	< 50%	Notable
> 2m	> 5m	*	Notable

Linéaire, Surfacique

Ombre 75%	LimitVent 25%	#11 - ProtecChaleur
Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Notable	*	Positif

Fonction : **Protection contre le vent et le froid (12)**

>>> Infra-activité : Confort des animaux >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel, Linéaire

OrientVentFroid 33%	PorositePos50 33%	HauteurPos3 17%	TauxPersistant 17%	#12 - ProtectFroid
0 - 45 deg	> 50%	*	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	< 3m	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	*	Negligeable	Negligeable
*	> 50%	< 3m	*	Negligeable
*	> 50%	*	Negligeable	Negligeable
*	< 50%	> 3m	Notable	Notable
45 - 90 deg	*	> 3m	Notable	Notable
45 - 90 deg	< 50%	*	*	Notable

Surfacique

OrientVentFroid 33%	DensitePos 33%	HauteurPos3 17%	TauxPersistant 17%	#12 - ProtectFroid
0 - 45 deg	Negligeable	*	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	< 3m	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	< 3m	*	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	Notable	> 3m	Notable	Notable
45 - 90 deg	*	> 3m	Notable	Notable
45 - 90 deg	Notable	*	*	Notable

Fonction : **Protection contre les précipitations (13)**

>>> Infra-activité : Confort des animaux >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

EssencePrecipit 8%	PorositeHoupPos25 42%	DepassHouppier 25%	HauteurPos5 25%	#13 - ProtecPluie
Pin et caduque	> 25%	*	*	Negligeable
*	> 25%	< 2m	*	Negligeable
*	> 25%	*	< 5m	Negligeable
*	*	< 2m	< 5m	Negligeable
*	< 25%	*	> 5m	Notable
*	< 25%	> 2m	*	Notable
Sapin	*	> 2m	> 5m	Notable

Fonction : **Support de grattage (14)**

>>> Infra-activité : Confort des animaux >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

NombreArbreGrattage 50%	AccesArbreGrattage 50%	#14 - Grattage
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Linéaire

NombreArbreGrattage 50%	AccesArbreGrattage 50%	#14 - Grattage
< 2	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
> 2	Notable	Notable

Surfacique

NombreArbreGrattage 50%	AccesArbreGrattage 50%	#14 - Grattage
< 4	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
> 4	Notable	Notable

Infra-activité : **Confort des animaux**

>>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

#11 - ProtecChaleur 25%	#12 - ProtectFroid 25%	#13 - ProtecPluie 25%	#14 - Grattage 25%	Confort
Negligeable	Negligeable	Negligeable	*	Faible ou disparate
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable	Faible ou disparate
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	*	Notable	Notable	Positif
*	Notable	*	Notable	Positif
*	Notable	Notable	*	Positif
Notable	*	*	Notable	Positif
Notable	*	Notable	*	Positif
Notable	Notable	*	*	Positif

Linéaire, Surfacique

#11 - ProtecChaleur 26%	#12 - ProtectFroid 25%	#13 - ProtecPluie 25%	#14 - Grattage 25%	Confort
Negatif	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negatif
Negatif	Negligeable	*	Notable	Faible ou disparate
Negatif	*	Negligeable	Notable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	Notable	Faible ou disparate
Negatif	Negligeable	Notable	*	Faible ou disparate
Negatif	*	Notable	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Notable	Negligeable	Faible ou disparate
Negatif	Notable	Negligeable	*	Faible ou disparate
Negatif	Notable	*	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Notable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	*	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	*	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	*	Notable	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	*	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	Notable	*	Positif
Positif	*	*	Notable	Positif
Positif	*	Notable	*	Positif
Positif	Notable	*	*	Positif

Fonction : **Source de plantes d'intérêt sanitaire (15)**

>>> *Infra-activité : Santé des animaux* ***>>>*** *Activité : Activité d'élevage* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

VegeSanitaire 50%	DiversVegeSanitaire 50%	#15 - Sanitaire
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Fonction : **Limitation de la propagation des maladies (16)**

>>> *Infra-activité : Santé des animaux* ***>>>*** *Activité : Activité d'élevage* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire, Surfacique

OrientVentFreqPos 25%	PorositePos50 25%	HauteurPos3 25%	LongueurPosRelat80 25%	#16 - ProtecMaladie
0 - 45 deg	*	*	*	Negligeable
*	> 50%	*	*	Negligeable
*	*	< 3m	*	Negligeable
*	*	*	< 80%	Negligeable
45 - 90 deg	< 50%	> 3m	> 80%	Notable

Fonction : **Source de parasites ou de vecteurs de maladies (17)**

>>> Infra-activité : Santé des animaux >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel, Linéaire

StrateBasseNeg 25%	TalusFosseNeg 25%	ConnectNeg 25%	NourritureVecteur 25%	#17 - Parasite
Notable	Notable	*	*	Notable
Notable	*	< 50m	*	Notable
Notable	*	*	Notable	Notable
*	Notable	< 50m	*	Notable
*	Notable	*	Notable	Notable
*	*	< 50m	Notable	Notable
*	Negligeable	> 50m	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	> 50m	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	> 50m	*	Negligeable

Surfacique

StrateBasseNeg 25%	ElementGibierNeg 25%	ConnectNeg 25%	NourritureVecteur 25%	#17 - Parasite
Notable	Notable	*	*	Notable
Notable	*	< 50m	*	Notable
Notable	*	*	Notable	Notable
*	Notable	< 50m	*	Notable
*	Notable	*	Notable	Notable
*	*	< 50m	Notable	Notable
*	Negligeable	> 50m	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	> 50m	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	> 50m	*	Negligeable

Infra-activité : **Santé des animaux**

>>> *Activité : Activité d'élevage* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel

#15 - Sanitaire 50%	#17 - Parasite 50%	Sante
Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	Positif

Linéaire

#15 - VegeSanitaire 25%	#16 - ProtecMaladie 25%	#17 - Parasite 50%	Sante
Negligeable	Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Positif
Notable	*	Negligeable	Positif

Surfacique

#15 - Sanitaire 25%	#16 - ProtecMaladie 25%	#17 - Parasite 50%	Sante
Negligeable	Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Positif
Notable	*	Negligeable	Positif

Fonction : **Source de fourrage ou de litière issus des arbres (18)**

>>> Infra-activité : Production fourragère >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

ArbreFourrage 60%	EntretienArbreFourrage 20%	StationArbreFourrage 20%	#18 -FourrageArbre
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
Notable	*	*	Notable

Linéaire

NombreArbreFourrage 25%	LongueurPos50 25%	EntretienArbreFourrage 25%	StationArbreFourrage 25%	#18 - FourrageArbre
0	*	*	*	Negligeable
<=1 - 4	< 50m	*	*	Negligeable
<=1 - 4	*	Negligeable	*	Negligeable
<=1 - 4	*	*	Negligeable	Negligeable
*	< 50m	Negligeable	*	Negligeable
*	< 50m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
>=1 - 4	> 50m	Notable	Notable	Notable
> 4	*	Notable	Notable	Notable
> 4	> 50m	*	Notable	Notable
> 4	> 50m	Notable	*	Notable

Surfacique

NombreArbreFourrage 38%	SurfacePos02-1 11%	EntretienArbreFourrage 25%	StationArbreFourrage 25%	#18 -FourrageArbre
0	*	*	*	Negligeable
<=1 - 8	< 0,2ha	Negligeable	*	Negligeable
<=1 - 8	< 0,2ha	*	Negligeable	Negligeable
<=1 - 8	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	<=0,2ha - 1ha	Negligeable	Negligeable	Negligeable
>=1 - 8	*	Notable	Notable	Notable
>=1 - 8	>=0,2ha - 1ha	*	Notable	Notable
>=1 - 8	>=0,2ha - 1ha	Notable	*	Notable
> 8	*	*	Notable	Notable
> 8	*	Notable	*	Notable
> 8	> 1ha	*	*	Notable

Fonction : **Source de fourrage ou de litière non issus des arbres (19)**

>>> Infra-activité : Production fourragère >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

DensiteAutreFourrage 100%	DiversAutreFourrage 0%	#19 - FourrageAutre
Negligeable	*	Negligeable
Notable	*	Notable

Fonction : **Source de bioagresseurs des herbages (20)**

>>> Infra-activité : Production fourragère >>> Activité : Activité d'élevage >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

StrateBasseNeg 20%	TalusFosseNeg 20%	NourritureNuisibleHerbe 60%	#20 - NuisibleHerbage
Notable	Notable	*	Notable
*	*	Notable	Notable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable

Infra-activité : **Production fourragère**

>>> *Activité : Activité d'élevage* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#18 -FourrageArbre 25%	#19 - FourrageAutre 25%	#20 - NuisibleHerbage 50%	Fourrage
Negligeable	Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Positif
Notable	*	Negligeable	Positif

Fonction : **Constitution de clôtures (21)**

>>> *Activité : Activité d'élevage* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

DensiteBasPos 20%	LongueurPosRelat80 60%	Epineux 20%	#21 - Cloture
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	< 80%	*	Negligeable
*	> 80%	Notable	Notable
Notable	> 80%	*	Notable

Surfacique

DensiteBasPos 50%	Epineux 50%	#21 - Cloture
Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Notable	*	Notable

Activité : **Activité d'élevage**

>>> *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel

Confort 28%	Sante 36%	Fourrage 36%	Elevage
Negatif	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
*	Negatif	Negatif	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	*	Positif	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Positif	*	Positif

Linéaire, Surfacique

Confort 23%	Sante 26%	Fourrage 26%	#21 - Cloture 25%	Elevage
Negatif	Negatif	Negatif	*	Negatif
Negatif	Negatif	<=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif	Negligeable	Negatif
*	Negatif	Negatif	Negligeable	Negatif
Negatif	Negatif	>=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Negatif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Negatif	Negatif	Positif	*	Faible ou disparate
Negatif	<=Faible ou disparate	Positif	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Negligeable	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Negatif	Notable	Faible ou disparate

<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	Notable	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Negatif	Positif	Negatif	*	Faible ou disparate
Negatif	Positif	<=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif	Notable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Negatif	Notable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	*	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Negligeable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	Negligeable	Faible ou disparate
*	>=Faible ou disparate	Positif	Notable	Positif
*	Positif	>=Faible ou disparate	Notable	Positif
*	Positif	Positif	*	Positif
>=Faible ou disparate	*	Positif	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	*	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	*	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	*	Positif
Positif	*	>=Faible ou disparate	Notable	Positif
Positif	*	Positif	*	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	*	Notable	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	*	Positif
Positif	Positif	*	*	Positif

Fonction : **ressources bénéfiques à la vie des abeilles domestiques (22)**

>>> *Activité : Activité apicole* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

VegeAbeille 50%	DiversVegeAbeille 50%	#22 - VegeBenefAbeille
Negligeable * Notable	* Negligeable Notable	Negligeable Negligeable Notable

Fonction : **Ressources mellifères pour les productions apicoles (23)**

>>> *Activité : Activité apicole* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

VegeMellifere 50%	DiversVegeMellifere 50%	#23 - VegeMellifere
Negligeable * Notable	* Negligeable Notable	Negligeable Negligeable Notable

Activité : **Activité apicole**

>>> *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#22 - VegeBenefAbeille 50%	#23 - VegeMellifere 50%	Apiculture
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Fonction : **Compétatition pour la lumière (24)**

>>> Infra-activité : Compétition avec les cultures >>> Activité : Activité de productions végétales >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

HauteurNeg5 50%	PorositeNeg50 50%	#24 - CompetLumiere
> 5m	< 50%	Notable
*	> 50%	Negligeable
< 5m	*	Negligeable

Linéaire

OrientCardinale 50%	HauteurNeg5 50%	PorositeNeg50 0%	LongueurNegRelat50 0%	#24 - CompetLumiere
90 - 45 deg	> 5m	*	*	Notable
*	< 5m	*	*	Negligeable
45 - 0 deg	*	*	*	Negligeable

Surfacique

PorositeHoupNeg50-75 36%	OrientCardinale 32%	HauteurNeg5 32%	#24 - CompetLumiere
< 50%	*	*	Notable
<=50% - 75%	90 - 45 deg	*	Notable
<=50% - 75%	*	> 5m	Notable
*	90 - 45 deg	> 5m	Notable
>=50% - 75%	45 - 0 deg	< 5m	Negligeable
> 75%	*	< 5m	Negligeable
> 75%	45 - 0 deg	*	Negligeable

Fonction : **Source de lumière par réflexion des rayons solaires (25)**

>>> *Infra-activité : Compétition avec les cultures* ***>>>*** *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Surfacique

PorositePos25 50%	HauteurPos5 50%	#25 - SourceLumiere
> 25%	*	Negligeable
*	< 5m	Negligeable
< 25%	> 5m	Notable

Linéaire

PorositePos25 33%	HauteurPos5 33%	LongueurPosRelat50 33%	#25 - SourceLumiere
> 25%	< 5m	*	Negligeable
> 25%	*	< 50%	Negligeable
*	< 5m	< 50%	Negligeable
*	> 5m	> 50%	Notable
< 25%	*	> 50%	Notable
< 25%	> 5m	*	Notable

Fonction : **Compétition pour l'eau et les éléments nutritifs du sol (26)**

>>> *Infra-activité : Compétition avec les cultures* ***>>>*** *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Surfacique

ProfondSol 33%	CompetEssence 33%	ConduiteRacine 33%	#26 - CompetEau
< 50cm	Notable	*	Notable
< 50cm	*	Negligeable	Notable
*	Notable	Negligeable	Notable
*	Negligeable	Notable	Negligeable
> 50cm	*	Notable	Negligeable
> 50cm	Negligeable	*	Negligeable

Linéaire

ProfondSol 40%	CompetEssence 20%	ConduiteRacine 20%	LongueurNegRelat50 20%	#26 - CompetEau
< 50cm	Notable	Negligeable	*	Notable
< 50cm	Notable	*	> 50%	Notable
< 50cm	*	Negligeable	> 50%	Notable
*	*	Notable	< 50%	Negligeable
*	Negligeable	*	< 50%	Negligeable
*	Negligeable	Notable	*	Negligeable
> 50cm	*	*	*	Negligeable

Infra-fonction : **Stockage d'eau dans le sol**

>>> Fonction : Source d'eau et disponibilité des éléments nutritifs (27) >>> Infra-activité : Compétition avec les cultures >>> Activité : Activité de productions végétales >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

PositionHydro 33%	TalusFossePos 33%	TextureSolFin 33%	StockageEau
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Linéaire

SensPente 25%	TalusFossePos 25%	TextureSolFin 25%	LongueurPosRelat50 25%	StockageEau
0 - 45 deg	Negligeable	*	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	Negligeable	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	*	< 50%	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	*	< 50%	Negligeable
*	*	Negligeable	< 50%	Negligeable
*	Notable	Notable	> 50%	Notable
45 - 90 deg	*	Notable	> 50%	Notable
45 - 90 deg	Notable	*	> 50%	Notable
45 - 90 deg	Notable	Notable	*	Notable

Surfacique

TalusFossePos 33%	TextureSolFin 33%	PorositeHoupPos50 33%	StockageEau
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	> 50%	Negligeable
*	Negligeable	> 50%	Negligeable
*	Notable	< 50%	Notable
Notable	*	< 50%	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Infra-fonction : **Prélèvement en profondeur et libération en surface d'eau par les arbres**

***>>>** Fonction : Source d'eau et disponibilité des éléments nutritifs (27) **>>>** Infra-activité : Compétition avec les cultures **>>>** Activité : Activité de productions végétales **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

PenetrabSousol 20%	PotentielAscenseur 60%	PenetraRacine 20%	AscenseurHydrau
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Fonction : **Source d'eau et disponibilité des éléments nutritifs (27)**

>>> *Infra-activité : Compétition avec les cultures* ***>>>*** *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

StockageEau 50%	AscenseurHydrau 50%	#27 - SourceEau
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Infra-activité : **Compétition avec les cultures**

***>>>** Activité : Activité de productions végétales **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#24 - CompetLumiere 22%	#25 - SourceLumiere 11%	#26 - CompetEau 33%	#27 - SourceEau 33%	CompetCulture
Notable	Negligeable	Notable	*	Negatif
Notable	Negligeable	*	Negligeable	Negatif
*	*	Notable	Negligeable	Negatif
Notable	*	Negligeable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Notable	Negligeable	*	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Negligeable	*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Negligeable	*	Negligeable	Notable	Positif

Fonction : **Protection contre le déssèchement (28)**

>>> Infra-activité : Microclimat pour les cultures >>> Activité : Activité de productions végétales >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

OrientVentSec 40%	PorositePos50 20%	HauteurPos3 20%	LongueurPosRelat80 20%	#28 - ProtecEchaudage
0 - 45 deg	*	*	*	Negligeable
*	> 50%	< 3m	*	Negligeable
*	> 50%	*	< 80%	Negligeable
*	*	< 3m	< 80%	Negligeable
45 - 90 deg	*	> 3m	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	*	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	> 3m	*	Notable

Surfacique

OrientVentSec 20%	DensitePos 60%	HauteurPos3 20%	#28 - ProtecEchaudage
0 - 45 deg	*	< 3m	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	Notable	> 3m	Notable
45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Fonction : **Protection contre les dégradations dues au vent (29)**

>>> Infra-activité : Microclimat pour les cultures >>> Activité : Activité de productions végétales >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

OrientVentFort 40%	PorositePos50 20%	HauteurPos3 20%	LongueurPosRelat80 20%	#29 - ProtecVerse
0 - 45 deg	*	*	*	Negligeable
*	> 50%	< 3m	*	Negligeable
*	> 50%	*	< 80%	Negligeable
*	*	< 3m	< 80%	Negligeable
45 - 90 deg	*	> 3m	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	*	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	> 3m	*	Notable

Surfacique

OrientVentFort 20%	DensitePos 60%	HauteurPos3 20%	#29 - ProtecVerse
0 - 45 deg	*	< 3m	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	Notable	> 3m	Notable
45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Fonction : **Augmentation de la température au sol (30)**

>>> *Infra-activité : Microclimat pour les cultures* ***>>>*** *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

PorositePos25 33%	HauteurPos10 33%	LongueurPosRelat80 33%	#30 - RechaufSol
> 25%	*	*	Negligeable
*	< 10m	*	Negligeable
*	*	< 80%	Negligeable
< 25%	> 10m	> 80%	Notable

Surfacique

DensitePos 50%	HauteurPos5 50%	#30 - RechaufSol
Negligeable	*	Negligeable
*	< 5m	Negligeable
Notable	> 5m	Notable

Fonction : **Accentuation des températures extrêmes au centre des cultures (31)**

>>> *Infra-activité : Microclimat pour les cultures* ***>>>*** *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Surfacique : fonction non évaluée

Linéaire

OrientVentChaud 20%	PorositeNeg50 40%	HauteurNeg3 20%	LongueurNegRelat80 20%	#31 - TemperExtreme
90 - 45 deg	< 50%	> 3m	*	Notable
90 - 45 deg	< 50%	*	> 80%	Notable
*	< 50%	> 3m	> 80%	Notable
*	*	< 3m	< 80%	Negligeable
*	> 50%	*	*	Negligeable
45 - 0 deg	*	*	< 80%	Negligeable
45 - 0 deg	*	< 3m	*	Negligeable

Infra-activité : **Microclimat pour les cultures**

***>>>** Activité : Activité de productions végétales **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : infra-activité non évaluée

Linéaire

#28 - ProtecEchaudage 19%	#29 - ProtecVerse 19%	#30 - RechaufSol 19%	#31 - TemperExtreme 44%	MicroclimCulture
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Negligeable	*	Notable	Notable	Faible ou disparate
*	Negligeable	Notable	Notable	Faible ou disparate
Negligeable	Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	*	Notable	Faible ou disparate
Notable	*	Negligeable	Notable	Faible ou disparate
*	*	Notable	Negligeable	Positif
*	Notable	*	Negligeable	Positif
Notable	*	*	Negligeable	Positif
Notable	Notable	Notable	*	Positif

Surfacique

#28 - ProtecEchaudage 33%	#29 - ProtecVerse 33%	#30 - RechaufSol 33%	MicroclimCulture
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable
*	Notable	*	Notable
Notable	*	*	Notable

Fonction : **Source de pollinisateurs des cultures (32)**

>>> *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

VegePollini 60%	DiversVegePollini 20%	ElementPollini 20%	#32 - Pollinisation
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Fonction : **Source d'ennemis naturels de bioagresseurs des cultures (33)**

>>> *Infra-activité : Contrôle des bioagresseurs des cultures* ***>>>*** *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Etagement 20%	DiversVegePos 60%	ConnectPos 20%	#33 - SourceAuxiliaire
Abrupt	*	> 50m	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	Notable	< 50m	Notable
Graduel	Notable	*	Notable

Fonction : **Limitation de la propagation des bioagresseurs des cultures (34)**

***>>>** Infra-activité : Contrôle des bioagresseurs des cultures **>>>** Activité : Activité de productions végétales **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

OrientVentFreqPos 25%	PorositePos50 25%	HauteurPos5 25%	LongueurPosRelat80 25%	#34 - BarriereBioagr
0 - 45 deg	> 50%	*	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	< 5m	*	Negligeable
0 - 45 deg	*	*	< 80%	Negligeable
*	> 50%	< 5m	*	Negligeable
*	> 50%	*	< 80%	Negligeable
*	*	< 5m	< 80%	Negligeable
*	< 50%	> 5m	> 80%	Notable
45 - 90 deg	*	> 5m	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	*	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	> 5m	*	Notable

Surfacique

OrientVentFreqPos 20%	DensitePos 60%	HauteurPos5 20%	#34 - BarriereBioagr
0 - 45 deg	*	< 5m	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	Notable	> 5m	Notable
45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Fonction : **Source de bioagresseurs d des cultures (35)**

***>>>** Infra-activité : Contrôle des bioagresseurs des cultures **>>>** Activité : Activité de productions végétales **>>>** Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

VegeBioagr 60%	DiversVegeNeg 20%	ConnectNeg 20%	#35 - SourceBioagr
Notable	*	*	Notable
*	Notable	< 50m	Notable
Negligeable	*	> 50m	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable

Infra-activité : **Contrôle des bioagresseurs des cultures**

>>> *Activité : Activité de productions végétales* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel

#33 - SourceAuxiliaire 50%	#35 - SourceBioagr 50%	ControleBio
Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	Positif

Linéaire, Surfacique

#33 - SourceAuxiliaire 25%	#34 - BarriereBioagr 25%	#35 - SourceBioagr 50%	ControleBio
Negligeable	Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Positif
Notable	*	Negligeable	Positif

Activité : **Activité de productions végétales**

>>> *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel

CompetCulture 34%	#32 - Pollinisation 32%	ControleBio 34%	Culture
Negatif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	*	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif	Negatif
Negatif	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	Negatif	Faible ou disparate
*	Notable	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	*	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	*	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Notable	*	Positif

Linéaire

CompetCulture 25%	MicroclimCulture 25%	#32 - Pollinisation 25%	ControleBio 25%	Culture
Negatif	Negatif	Negligeable	*	Negatif
Negatif	Negatif	*	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	*	Negatif	Negatif
Negatif	*	Negligeable	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	Negatif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negatif
<=Faible ou disparate	Negatif	*	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif	Negatif
*	Negatif	Negligeable	Negatif	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Notable	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Notable	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	*	Positif	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	Notable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate

<=Faible ou disparate	Positif	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	*	Positif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	Notable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Notable	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Positif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Positif	*	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Positif	Negligeable	Negatif	Faible ou disparate
Positif	Negatif	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	Negatif	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	<=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	Negatif	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	<=Faible ou disparate	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Positif	Faible ou disparate	Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	Faible ou disparate	*	Negatif	Faible ou disparate
Positif	>=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Notable	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Notable	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	*	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	Notable	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	*	Notable	Positif	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	*	Positif	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	Notable	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Positif	*	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Positif	Notable	*	Positif

Surfacique

CompetCulture 25%	MicroclimCulture 25%	#32 - Pollinisation 25%	ControleBio 25%	Culture
Negatif	Negligeable	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	Negligeable	*	Negatif	Negatif
Negatif	*	Negligeable	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	Negatif	Negatif
Negatif	Negligeable	*	Positif	Faible ou disparate
Negatif	*	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	Positif	Faible ou disparate

Negatif	Negligeable	Notable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	*	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Notable	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Notable	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Notable	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Notable	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Notable	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Notable	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	*	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Notable	Negligeable	Negatif	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	*	Negatif	Faible ou disparate
Positif	*	Negligeable	Negatif	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	*	Notable	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	*	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	Notable	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	*	*	Positif	Positif
Positif	*	Notable	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Notable	*	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Notable	Notable	*	Positif

Fonction : **Limitation de l'érosion éolienne (36)**

>>> Infra-activité : Réduction de la perte de sol >>> Activité : Conservation des sols agricoles >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

OrientVentSec 40%	PorositePos50 20%	HauteurPos3 20%	LongueurPosRelat80 20%	#36 - LimitErosionEol
0 - 45 deg	*	*	*	Negligeable
*	> 50%	< 3m	*	Negligeable
*	> 50%	*	< 80%	Negligeable
*	*	< 3m	< 80%	Negligeable
45 - 90 deg	*	> 3m	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	*	> 80%	Notable
45 - 90 deg	< 50%	> 3m	*	Notable

Surfacique

OrientVentSec 20%	DensitePos 60%	HauteurPos3 20%	#36 - LimitErosionEol
0 - 45 deg	*	< 3m	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	Notable	> 3m	Notable
45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Infra-fonction : **Infiltration des ruissellements**

>>> Fonction : Limitation de l'érosion hydrique (37) >>> Infra-activité : Réduction de la perte de sol >>> Activité : Conservation des sols agricoles >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

PositionPenteHaut 60%	TalusFossePos 20%	DensiteTigeBase 20%	InfiltrErosion
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Linéaire

PositionPenteHaut 50%	SensPente 30%	TalusFossePos 10%	DensiteTigeBase 10%	InfiltrErosion
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	Negligeable	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	*	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	*	*	Notable

Surfacique

PositionPenteHaut 40%	SensPente 20%	TalusFossePos 20%	DensiteTigeBase 20%	InfiltrErosion
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	Negligeable	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	*	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Infra-fonction : **Interception et restitution différée d'une partie des précipitations**

>>> Fonction : Limitation de l'érosion hydrique (37) >>> Infra-activité : Réduction de la perte de sol >>> Activité : Conservation des sols agricoles >>> Domaine d'activités : Activités agricoles

Ponctuel

PositionPenteHaut 60%	EssencePrecipit 20%	LargeurHouppier 20%	InterceptErosion
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Pin et caduque	< 10m	Negligeable
Notable	*	> 10m	Notable
Notable	Sapin	*	Notable

Linéaire

PositionPenteHaut 60%	EssencePrecipit 20%	LargeurHouppier 20%	InterceptErosion
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Pin et caduque	< 5m	Negligeable
Notable	*	> 5m	Notable
Notable	Sapin	*	Notable

Surfacique

PositionPenteHaut 60%	EssencePrecipit 20%	PorositeHoupPos50 20%	InterceptErosion
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Pin et caduque	> 50%	Negligeable
Notable	*	< 50%	Notable
Notable	Sapin	*	Notable

Fonction : **Limitation de l'érosion hydrique (37)**

>>> *Infra-activité : Réduction de la perte de sol* ***>>>*** *Activité : Conservation des sols agricoles* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

InfiltrErosion 50%	InterceptErosion 50%	#37 - LimitErosionHydri
Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Notable	*	Notable

Infra-activité : **Réduction de la perte de sol**

>>> *Activité : Conservation des sols agricoles* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel

#37 - LimitErosionHydri 100%	ProtecExport
Negligeable	Negligeable
Notable	Notable

Linéaire, Surfacique

#36 - LimitErosionEol 50%	#37 - LimitErosionHydri 50%	ProtecExport
Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Notable	*	Notable

Fonction : **Drainage et abaissement du niveau de la nappe phréatique (38)**

>>> *Infra-activité : Amélioration de la qualité des sols* ***>>>*** *Activité : Conservation des sols agricoles* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Hydromorphie 60%	PenetrabSousol 20%	PenetraRacine 20%	#38 - Drainage
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Fonction : **Amélioration de la fertilité des sols (39)**

>>> *Infra-activité : Amélioration de la qualité des sols* ***>>>*** *Activité : Conservation des sols agricoles* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel

EssenceLitiere 50%	ArbreLitiere 50%	#39 - Fertilite
Resineux	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Feuillus	*	Notable

Linéaire

EssenceLitiere 20%	NombreArbreLitiere 20%	LongueurPosRelat50 60%	#39 - Fertilite
Resineux	< 6	*	Negligeable
*	*	< 50%	Negligeable
*	> 6	> 50%	Notable
Feuillus	*	> 50%	Notable

Surfacique

EssenceLitiere 50%	NombreArbreLitiere 50%	#39 - Fertilite
Resineux	< 12	Negligeable
*	> 12	Notable
Feuillus	*	Notable

Infra-activité : **Amélioration de la qualité des sols**

>>> *Activité : Conservation des sols agricoles* ***>>>*** *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#38 - Drainage 50%	#39 - Fertilite 50%	QualiteSol
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Activité : **Conservation des sols agricoles**

>>> *Domaine d'activités : Activités agricoles*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

ProtecExport 50%	QualiteSol 50%	SolCultive
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Domaine d'activités : **Activités agricoles**

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Elevage 25%	Apiculture 25%	Culture 25%	SolCultive 25%	Agri
Negatif	Negligeable	Negatif	*	Negatif
Negatif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif
Negatif	*	Negatif	Negligeable	Negatif
<=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif	Negligeable	Negatif
Negatif	Negligeable	>=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Negatif	*	Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Negatif	Negligeable	Positif	*	Faible ou disparate
Negatif	*	Positif	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Positif	Negligeable	Faible ou disparate
Negatif	Notable	<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Notable	Negatif	Notable	Faible ou disparate
Negatif	Notable	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Negatif	Notable	>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Negatif	Notable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif	Notable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	Negatif	*	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	<=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Notable	Negatif	Negligeable	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	Negatif	*	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Positif	*	Negatif	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Positif	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	*	Positif	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	>=Faible ou disparate	Notable	Positif
>=Faible ou disparate	Notable	Positif	*	Positif
Positif	*	>=Faible ou disparate	Notable	Positif
Positif	*	Positif	*	Positif
Positif	Notable	*	Notable	Positif
Positif	Notable	>=Faible ou disparate	*	Positif

Fonction : **Obstacles aux activités et aux aménagements (40)**

>>> *Activité : Contraintes d'utilisation de l'espace* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

HauteurNeg5-1 20%	LocalisContrainte 27%	ElementContrainte 53%	#40 - Obstacle
> 5m	Notable	*	Notable
<=1 - 5m	*	Negligeable	Notable
*	Notable	Negligeable	Notable
*	Negligeable	Notable	Negligeable
>=1 - 5m	*	Notable	Negligeable
< 1m	Negligeable	*	Negligeable

Fonction : **Surface occupée excluant d'autres usages (41)**

>>> *Activité : Contraintes d'utilisation de l'espace* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel

SurfaceNeg300 50%	AutreUsage 50%	#41 - OccupSurface
> 300mc	Notable	Notable
*	Negligeable	Negligeable
< 300mc	*	Negligeable

Linéaire

LargeurNeg3 33%	LongueurNeg100 33%	AutreUsage 33%	#41 - OccupSurface
> 3m	> 100m	*	Notable
> 3m	*	Notable	Notable
*	> 100m	Notable	Notable
*	< 100m	Negligeable	Negligeable
< 3m	*	Negligeable	Negligeable
< 3m	< 100m	*	Negligeable

Surfacique

SurfaceNeg02 50%	AutreUsage 50%	#41 - OccupSurface
> 0,2ha	*	Notable
*	Notable	Notable
< 0,2ha	Negligeable	Negligeable

Fonction : **Moyens pour retenir l'expansion de l'espace arboré (42)**

>>> *Activité : Contraintes d'utilisation de l'espace* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Colonisation	AccesExploit	#42 - EntretienExpan
50%	50%	
Notable	*	Notable
*	Negligeable	Notable
Negligeable	Notable	Negligeable

Activité : **Contraintes d'utilisation de l'espace**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#40 - Obstacle 33%	#41 - OccupSurface 33%	#42 - EntretienExpan 33%	ContrainteEspace
Notable	*	*	Notable
*	Notable	*	Notable
*	*	Notable	Notable
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable

Fonction : **Soutiens institutionnels (43)**

>>> *Activité : Rétributions ou obligations pour l'intérêt général* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Fonction évaluée directement (sans paramètre)

Fonction : **Obligations ou contraintes réglementaires (44)**

>>> *Activité : Rétributions ou obligations pour l'intérêt général* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Fonction évaluée directement (sans paramètre)

Activité : **Rétributions ou obligations pour l'intérêt général**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#43 - Subvention 50%	#44 - Reglement 50%	RetributionObligation
Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	Positif

Fonction : **Démarcation d'espaces (45)**

>>> *Infra-activité : Séparation et protection des lieux de vie* ***>>>*** *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

LocalisLimite 60%	LongueurLimit 20%	ElementLimite 20%	#45 - LimiteEspace
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Fonction : **Constitution d'un brise-vue (46)**

>>> *Infra-activité : Séparation et protection des lieux de vie* ***>>>*** *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire

LocalisVue 25%	PorositePos50 25%	HauteurVue 25%	LongueurVue 25%	#46 - BriseVue
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	> 50%	*	*	Negligeable
*	*	Negligeable	*	Negligeable
*	*	*	Negligeable	Negligeable
Notable	< 50%	Notable	Notable	Notable

Surfacique

LocalisVue 25%	DensitePos 25%	HauteurVue 25%	LongueurVue 25%	#46 - BriseVue
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	Negligeable	*	*	Negligeable
*	*	Negligeable	*	Negligeable
*	*	*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable	Notable	Notable

Fonction : **Protection contre les nuisances sonores (47)**

>>> *Infra-activité : Séparation et protection des lieux de vie* ***>>>*** *Activité : Confort du cadre de vie*
>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire

LocalisBruit 20%	PorositePos50 40%	LongueurBruit 20%	HauteurBruit 20%	#47 - ProtecBruit
Negligeable	*	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	> 50%	*	*	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	< 50%	Notable	Notable	Notable
Notable	< 50%	*	Notable	Notable
Notable	< 50%	Notable	*	Notable

Surfacique

LocalisBruit 20%	DensitePos 40%	LongueurBruit 20%	HauteurBruit 20%	#47 - ProtecBruit
Negligeable	*	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	*	*	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	Notable	*	Notable

Infra-activité : **Séparation et protection des lieux de vie**

>>> *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#45 - LimiteEspace 50%	#46 - BriseVue 50%	Delimitation
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Fonction : **Protection des bâtiments et lieux de vie contre le vent (48)**

>>> Infra-activité : Microclimat des lieux de vie >>> Activité : Confort du cadre de vie >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel, Linéaire

OrientVentFort	PorositePos50	HauteurVent	LongueurVent	#48 - ProtecVent
37%	38%	13%	13%	
0 - 45 deg	*	*	*	Negligeable
*	> 50%	*	*	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
45 - 90 deg	< 50%	*	Notable	Notable
45 - 90 deg	< 50%	Notable	*	Notable

Surfacique

OrientVentFort	DensitePos	HauteurVent	LongueurVent	#48 - ProtecVent
37%	38%	13%	13%	
0 - 45 deg	*	*	*	Negligeable
*	Negligeable	*	*	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
45 - 90 deg	Notable	*	Notable	Notable
45 - 90 deg	Notable	Notable	*	Notable

Infra-fonction : **Protection des bâtiments et lieux de vie contre le soleil**

>>> Fonction : Ombrage des bâtiments et lieux de vie (49) >>> Infra-activité : Microclimat des lieux de vie >>> Activité : Confort du cadre de vie >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

LocalisProtecSoleil 33%	HauteurProtecSoleil 33%	PorositeHoupPos50 33%	ProtecSoleil
Negligeable	*	*	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
*	*	> 50%	Negligeable
Notable	Notable	< 50%	Notable

Infra-fonction : **Obstacle au soleil**

>>> Fonction : Ombrage des bâtiments et lieux de vie (49) >>> Infra-activité : Microclimat des lieux de vie >>> Activité : Confort du cadre de vie >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

LocalisObstacleSoleil 33%	HauteurObstacleSoleil 33%	PorositeNeg50 33%	ObstacleSoleil
Notable	Notable	< 50%	Notable
*	*	> 50%	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable

Fonction : **Ombrage des bâtiments et lieux de vie (49)**

>>> *Infra-activité : Microclimat des lieux de vie* ***>>>*** *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

ProtecSoleil 50%	ObstacleSoleil 50%	#49 - Ombrage
Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	Positif

Infra-activité : **Microclimat des lieux de vie**

>>> *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#48 - ProtecVent 47%	#49 - Ombrage 53%	MicroclimVie
Negligeable	Negatif	Negatif
Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Positif
Notable	>=Faible ou disparate	Positif

Fonction : **Absoprtion et adsorption des polluants volatiles (50)**

>>> Infra-activité : Qualité de l'air >>> Activité : Confort du cadre de vie >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel, Linéaire

LocalisEpurAir 25%	PorositePos50 25%	HauteurPos5 25%	LongueurEpurAir 25%	#50 - EpurAir
Negligeable	> 50%	*	*	Negligeable
Negligeable	*	< 5m	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	> 50%	< 5m	*	Negligeable
*	> 50%	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 5m	Negligeable	Negligeable
*	< 50%	> 5m	Notable	Notable
Notable	*	> 5m	Notable	Notable
Notable	< 50%	*	Notable	Notable
Notable	< 50%	> 5m	*	Notable

Surfacique

LocalisEpurAir 25%	DensitePos 25%	HauteurPos5 25%	LongueurEpurAir 25%	#50 - EpurAir
Negligeable	Negligeable	*	*	Negligeable
Negligeable	*	< 5m	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	< 5m	*	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 5m	Negligeable	Negligeable
*	Notable	> 5m	Notable	Notable
Notable	*	> 5m	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	> 5m	*	Notable

Fonction : **Emission d'éléments bénéfiques dans l'air (51)**

>>> Infra-activité : Qualité de l'air >>> Activité : Confort du cadre de vie >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel

LargeurPos3 33%	HauteurPos5 33%	LocalisEmisBenef 33%	#51 - EmissionBenef
< 3m	*	*	Negligeable
*	< 5m	*	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable
> 3m	> 5m	Notable	Notable

Linéaire

LargeurPos3 25%	LongueurPos50 25%	HauteurPos5 25%	LocalisEmisBenef 25%	#51 - EmissionBenef
< 3m	< 50m	*	*	Negligeable
< 3m	*	< 5m	*	Negligeable
< 3m	*	*	Negligeable	Negligeable
*	< 50m	< 5m	*	Negligeable
*	< 50m	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 5m	Negligeable	Negligeable
*	> 50m	> 5m	Notable	Notable
> 3m	*	> 5m	Notable	Notable
> 3m	> 50m	*	Notable	Notable
> 3m	> 50m	> 5m	*	Notable

Surfacique

HauteurPos5 50%	LocalisEmisBenef 50%	#51 - EmissionBenef
< 5m	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
> 5m	*	Notable

Fonction : **Emission d'élements néfastes dans l'air (52)**

>>> *Infra-activité : Qualité de l'air* ***>>>*** *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

VegeEmisNefaste 20%	DiversEmisNefaste 20%	LocalisEmisNefaste 60%	#52 - EmissionNefaste
Notable	*	Notable	Notable
*	Notable	Notable	Notable
*	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable

Infra-activité : **Qualité de l'air**

>>> *Activité : Confort du cadre de vie* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#50 - EpurAir 25%	#51 - EmissionBenef 25%	#52 - EmissionNefaste 50%	QualiteAir
Negligeable	Negligeable	Notable	Negatif
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Notable	*	Notable	Faible ou disparate
*	Notable	Negligeable	Positif
Notable	*	Negligeable	Positif

Activité : **Confort du cadre de vie**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Delimitation 25%	#47 - ProtecBruit 25%	MicroclimVie 25%	QualiteAir 25%	CadreVie
Negligeable	Negligeable	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
Negligeable	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
Negligeable	*	Negatif	Negatif	Negatif
*	Negligeable	Negatif	Negatif	Negatif
Negligeable	Negligeable	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negligeable	*	Negatif	Positif	Faible ou disparate
*	Negligeable	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Negligeable	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	*	Positif	Negatif	Faible ou disparate
*	Negligeable	Positif	Negatif	Faible ou disparate
Negligeable	Notable	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Notable	Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Notable	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Notable	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
*	Notable	Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	*	Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Negligeable	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Notable	*	Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Notable	Notable	Negatif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Notable	<=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
*	*	Positif	Positif	Positif
*	Notable	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
*	Notable	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
Notable	*	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
Notable	*	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
Notable	Notable	*	Positif	Positif
Notable	Notable	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif
Notable	Notable	Positif	*	Positif

Infra-fonction : **Marque culturelle de l'espace arboré**

>>> *Fonction : Esthétique du paysage et marque culturelle (53)* ***>>>*** *Infra-activité : Qualité paysagère du lieu et du territoire* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

QualiteEsthet 27%	Typicite 55%	AccesPieton 18%	MarqueCulturel
Negatif	*	*	Negligeable
<=Faible ou disparate	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable
>=Faible ou disparate	Notable	Notable	Notable
Positif	Notable	*	Notable

Infra-fonction : **Qualité esthétique de l'espace arboré dans le paysage**

>>> *Fonction : Esthétique du paysage et marque culturelle (53)* ***>>>*** *Infra-activité : Qualité paysagère du lieu et du territoire* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

QualiteEsthet 69%	LocalisEsthet 31%	EsthetPaysage
Negatif	*	Negatif
Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
Positif	Notable	Positif

Fonction : **Esthétique du paysage et marque culturelle (53)**

>>> *Infra-activité : Qualité paysagère du lieu et du territoire* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

MarqueCulturel	EsthetPaysage	#53 - EsthetCulturel
47%	53%	
Negligeable	Negatif	Negatif
Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Positif
Notable	>=Faible ou disparate	Positif

Fonction : **Intégration paysagère de bâtiments et aménagements (54)**

>>> *Infra-activité : Qualité paysagère du lieu et du territoire* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire

LocalisIntegr 25%	PorositePos50 25%	HauteurIntegrPaysage 25%	LongueurIntegrPaysage 25%	#54 - IntegrPaysage
Negligeable	> 50%	*	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	> 50%	Negligeable	*	Negligeable
*	> 50%	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	< 50%	Notable	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable	Notable
Notable	< 50%	*	Notable	Notable
Notable	< 50%	Notable	*	Notable

Surfacique

LocalisIntegr 25%	DensitePos 25%	HauteurIntegrPaysage 25%	LongueurIntegrPaysage 25%	#54 - IntegrPaysage
Negligeable	Negligeable	*	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	Notable	*	Notable

Fonction : **Obstruction du champ de visibilité (55)**

>>> *Infra-activité : Qualité paysagère du lieu et du territoire* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire

LocalisLimitVue 33%	PorositeNeg50 33%	HauteurLimitVue 33%	#55 - LimitVue
Notable	< 50%	*	Notable
Notable	*	Notable	Notable
*	< 50%	Notable	Notable
*	> 50%	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	> 50%	*	Negligeable

Surfacique

LocalisLimitVue 33%	DensiteNeg 33%	HauteurLimitVue 33%	#55 - LimitVue
Notable	Notable	*	Notable
Notable	*	Notable	Notable
*	Notable	Notable	Notable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable

Infra-activité : **Qualité paysagère du lieu et du territoire**

>>> *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#53 - EsthetCulturel 36%	#54 - IntegrPaysage 32%	#55 - LimitVue 32%	Paysage
Negatif	Negligeable	*	Negatif
Negatif	*	Notable	Negatif
<=Faible ou disparate	Negligeable	Notable	Negatif
Negatif	Notable	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	Notable	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	Notable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Notable	Negligeable	Positif
Positif	*	Negligeable	Positif
Positif	Notable	*	Positif

Fonction : **Image de marque du territoire ou du lieu (56)**

>>> *Infra-activité : Activités récréatives, touristiques, marketing* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Typicite 18%	QualiteEsthet 27%	LocalisImage 55%	#56 - ImageMarque
Negligeable	<=Faible ou disparate	*	Negligeable
*	Negatif	*	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable
*	Positif	Notable	Notable
Notable	>=Faible ou disparate	Notable	Notable

Fonction : **Source de produits pour la cueillette récréative (57)**

>>> *Infra-activité : Activités récréatives, touristiques, marketing* ***>>>*** *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

DensiteCueillette 50%	AccesPieton 50%	#57 - Cueillette
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Fonction : **Lieu ou support d'activités cynégétiques récréatives (58)**

>>> Infra-activité : Activités récréatives, touristiques, marketing >>> Activité : Attractivité du lieu et du territoire >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel, Linéaire

Etagement 30%	StrateBassePos 15%	TalusFossePos 15%	NourritureGibier 40%	#58 - ChasseRecrea
Abrupt	Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Abrupt	Negligeable	*	<=Modere	Negligeable
Abrupt	*	Negligeable	<=Modere	Negligeable
*	*	*	Faible	Negligeable
*	*	Notable	Fort	Notable
*	Notable	*	Fort	Notable
*	Notable	Notable	>=Modere	Notable
Graduel	*	*	>=Modere	Notable

Surfacique

SurfacePos02 21%	StrateBassePos 21%	ElementGibierPos 21%	NourritureGibier 37%	#58 - ChasseRecrea
< 0,2ha	Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
< 0,2ha	Negligeable	*	<=Modere	Negligeable
< 0,2ha	*	Negligeable	<=Modere	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	<=Modere	Negligeable
*	*	*	Faible	Negligeable
*	*	Notable	Fort	Notable
*	Notable	*	Fort	Notable
*	Notable	Notable	>=Modere	Notable
> 0,2ha	*	*	Fort	Notable
> 0,2ha	*	Notable	>=Modere	Notable
> 0,2ha	Notable	*	>=Modere	Notable

Fonction : **Lieu ou support d'activités de loisir, sportives, spirituelles (59)**

>>> Infra-activité : Activités récréatives, touristiques, marketing >>> Activité : Attractivité du lieu et du territoire >>> Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

AdaptActivites 50%	AccesPieton 50%	#59 - Loisir
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Infra-activité : **Activités récréatives, touristiques, marketing**

>>> *Activité : Attractivité du lieu et du territoire* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#56 - ImageMarque 25%	#57 - Cueillette 25%	#58 - ChasseRecrea 25%	#59 - Loisir 25%	VitaliteTerritoire
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	*	Notable	Notable
*	*	Notable	*	Notable
*	Notable	*	*	Notable
Notable	*	*	*	Notable

Activité : **Attractivité du lieu et du territoire**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement et activités du territoire*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Paysage	VitaliteTerritoire	Attractivite
53%	47%	
Negatif	Negligeable	Negatif
Negatif	Notable	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Notable	Positif
Positif	*	Positif

Domaine d'activités : **Fonctionnement et activités du territoire**

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

ContrainteEspace 24%	RetributionObligation 25%	CadreVie 25%	Attractivite 25%	Territoire
Notable	Negatif	<=Faible ou disparate	*	Negatif
Notable	Negatif	*	<=Faible ou disparate	Negatif
Notable	<=Faible ou disparate	Negatif	*	Negatif
Notable	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif
Notable	<=Faible ou disparate	*	Negatif	Negatif
Notable	*	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
Notable	*	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
*	Negatif	Negatif	*	Negatif
*	Negatif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif
*	Negatif	*	Negatif	Negatif
*	<=Faible ou disparate	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
*	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
*	*	Negatif	Negatif	Negatif
Notable	<=Faible ou disparate	Positif	Positif	Faible ou disparate
*	Negatif	Positif	Positif	Faible ou disparate
Notable	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Notable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
*	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Notable	Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	>=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Positif	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
*	Positif	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Notable	Positif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Positif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Positif	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Notable	Positif	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Positif	Positif	Negatif	Faible ou disparate
Negligeable	Negatif	>=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negligeable	Negatif	Positif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negligeable	>=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Faible ou disparate	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	>=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate

Negligeable	Positif	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Positif	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negligeable	Positif	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Positif	Positif	Positif
Negligeable	>=Faible ou disparate	Positif	Positif	Positif
Negligeable	Positif	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
Negligeable	Positif	Positif	>=Faible ou disparate	Positif

Fonction : **Maintien d'espèces forestières sciaphiles (60)**

>>> *Infra-activité : Conservation de la biodiversité* ***>>>*** *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire

PorositeHoupPos25 60%	LargeurPos5 20%	ElementBiodivScia 20%	#60 - HabitatScia
> 25%	*	*	Negligeable
*	< 5m	Negligeable	Negligeable
< 25%	*	Notable	Notable
< 25%	> 5m	*	Notable

Surfacique

PorositeHoupPos25 50%	ElementBiodivScia 50%	#60 - HabitatScia
> 25%	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
< 25%	*	Notable

Fonction : **Maintien d'espèces généralistes ou forestières héliophiles (61)**

>>> *Infra-activité : Conservation de la biodiversité* ***>>>*** *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Etagement 50%	ElementBiodivGene 50%	#61 - HabitatGene
Abrupt	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Graduel	*	Notable

Fonction : **Amélioration du déplacement d'espèces forestières ou généralistes (62)**

>>> *Infra-activité : Conservation de la biodiversité* ***>>>*** *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel

ConnectPos 50%	LargeurPos3 50%	#62 - CorridorSciaGene
> 50m	*	Negligeable
*	< 3m	Negligeable
< 50m	> 3m	Notable

Linéaire

ConnectPos 60%	LargeurPos3 20%	LongueurPos50 20%	#62 - CorridorSciaGene
> 50m	*	*	Negligeable
*	< 3m	< 50m	Negligeable
< 50m	*	> 50m	Notable
< 50m	> 3m	*	Notable

Surfacique

ConnectPos 50%	Etagement 50%	#62 - CorridorSciaGene
> 50m	Abrupt	Negligeable
*	Graduel	Notable
< 50m	*	Notable

Fonction : **Limitation de l'expansion d'espèces invasives (63)**

>>> *Infra-activité : Conservation de la biodiversité* ***>>>*** *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire

PorositePos50 33%	HauteurPos5 33%	LongueurPos100 33%	#63 - BarriereInvas
> 50%	< 5m	*	Negligeable
> 50%	*	< 100m	Negligeable
*	< 5m	< 100m	Negligeable
*	> 5m	> 100m	Notable
< 50%	*	> 100m	Notable
< 50%	> 5m	*	Notable

Surfacique

DensitePos 33%	HauteurPos5 33%	LongueurPos100 33%	#63 - BarriereInvas
Negligeable	< 5m	*	Negligeable
Negligeable	*	< 100m	Negligeable
*	< 5m	< 100m	Negligeable
*	> 5m	> 100m	Notable
Notable	*	> 100m	Notable
Notable	> 5m	*	Notable

Infra-activité : **Conservation de la biodiversité**

>>> *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel

#60 - HabitatScia 33%	#61 - HabitatGene 33%	#62 - CorridorSciaGene 33%	ConservBiodiv
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Linéaire, Surfacique

#60 - HabitatScia 25%	#61 - HabitatGene 25%	#62 - CorridorSciaGene 25%	#63 - BarriereInvas 25%	ConservBiodiv
Negligeable	Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable	Notable
*	Notable	*	Notable	Notable
*	Notable	Notable	*	Notable
Notable	*	*	Notable	Notable
Notable	*	Notable	*	Notable
Notable	Notable	*	*	Notable

Fonction : **Diminution d'espèces d'habitats asylvatiques (64)**

>>> *Infra-activité : Réduction de la biodiversité* ***>>>*** *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire

PorositeHoupNeg75 33%	LargeurNeg3 33%	StrateBasseNeg 33%	#64 - FiltreHelio
< 75%	*	*	Notable
*	> 3m	*	Notable
*	*	Notable	Notable
> 75%	< 3m	Negligeable	Negligeable

Surfacique

PorositeHoupNeg75 50%	StrateBasseNeg 50%	#64 - FiltreHelio
< 75%	*	Notable
*	Notable	Notable
> 75%	Negligeable	Negligeable

Fonction : **Limitation du déplacement d'espèces d'habitats asylvatiques (65)**

>>> *Infra-activité : Réduction de la biodiversité* ***>>>*** *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel : fonction non évaluée

Linéaire, Surfacique

ConnectNeg 33%	HauteurNeg5 33%	LongueurNeg50 33%	#65 - BarriereHelio
< 50m	*	*	Notable
*	> 5m	*	Notable
*	*	> 50m	Notable
> 50m	< 5m	< 50m	Negligeable

Fonction : **Expansion d'espèces invasives (66)**

***>>>** Infra-activité : Réduction de la biodiversité **>>>** Activité : Fonctionnement des écosystèmes **>>>** Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel

ConnectNeg 50%	LargeurNeg3 50%	#66 - CorridorInvas
< 50m	> 3m	Notable
*	< 3m	Negligeable
> 50m	*	Negligeable

Linéaire

ConnectNeg 33%	LargeurNeg3 33%	LongueurNeg50 33%	#66 - CorridorInvas
< 50m	> 3m	*	Notable
< 50m	*	> 50m	Notable
*	> 3m	> 50m	Notable
*	< 3m	< 50m	Negligeable
> 50m	*	< 50m	Negligeable
> 50m	< 3m	*	Negligeable

Surfacique

ConnectNeg 100%	#66 - CorridorInvas
< 50m	Notable
> 50m	Negligeable

Infra-activité **: Réduction de la biodiversité**

>>> *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel

#64 - FiltreHelio 50%	#66 - CorridorInvas 50%	ReducBiodiv
Notable * Negligeable	Notable Negligeable *	Notable Negligeable Negligeable

Linéaire, Surfacique

#64 - FiltreHelio 33%	#65 - BarriereHelio 33%	#66 - CorridorInvas 33%	ReducBiodiv
Notable	Notable	*	Notable
Notable	*	Notable	Notable
*	Notable	Notable	Notable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable

Fonction : **Ressources pour la vie du sol (67)**

>>> Infra-activité : Conservation de l'écosystème sol >>> Activité : Fonctionnement des écosystèmes >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel

DiversEssence 50%	StationArbre 50%	#67 - RessourceSol
Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Notable	*	Notable

Linéaire

NombreArbre 33%	DiversEssence 33%	StationArbre 33%	#67 - RessourceSol
< 6	Negligeable	*	Negligeable
< 6	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
> 6	*	Notable	Notable
> 6	Notable	*	Notable

Surfacique

NombreArbre 33%	DiversEssence 33%	StationArbre 33%	#67 - RessourceSol
< 12	Negligeable	*	Negligeable
< 12	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
> 12	*	Notable	Notable
> 12	Notable	*	Notable

Fonction : **Maintien d'espèces terricoles (68)**

>>> Infra-activité : Conservation de l'écosystème sol >>> Activité : Fonctionnement des écosystèmes >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel

LargeurPos3 60%	SurfacePos150 20%	EssenceVieSol 20%	#68 - HabitatTerri
< 3m	*	*	Negligeable
*	< 150mc	Negligeable	Negligeable
> 3m	*	Notable	Notable
> 3m	> 150mc	*	Notable

Linéaire

LargeurPos3 33%	LongueurPos50 33%	EssenceVieSol 33%	#68 - HabitatTerri
< 3m	< 50m	*	Negligeable
< 3m	*	Negligeable	Negligeable
*	< 50m	Negligeable	Negligeable
*	> 50m	Notable	Notable
> 3m	*	Notable	Notable
> 3m	> 50m	*	Notable

Surfacique

EssenceVieSol 100%	#68 - HabitatTerri
Negligeable	Negligeable
Notable	Notable

Infra-activité **: Conservation de l'écosystème sol**

>>> *Activité : Fonctionnement des écosystèmes* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#67 - RessourceSol 50%	#68 - HabitatTerri 50%	EcosystSol
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Activité : **Fonctionnement des écosystèmes**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

ConservBiodiv 25%	ReducBiodiv 50%	EcosystSol 25%	Ecosysteme
Negligeable	Notable	Negligeable	Negatif
*	Notable	Notable	Faible ou disparate
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Faible ou disparate
Notable	Notable	*	Faible ou disparate
*	Negligeable	Notable	Positif
Notable	Negligeable	*	Positif

Fonction : **Altération de la roche mère (69)**

>>> *Infra-activité : Formation et conservation des sols* ***>>>*** *Activité : Sol et cycles biogéochimiques* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel

NombreArbre 50%	PenetraRacine 50%	#69 - AlterRoche
Negligeable	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
Notable	Notable	Notable

Linéaire

NombreArbre 50%	PenetraRacine 50%	#69 - AlterRoche
< 6	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
> 6	Notable	Notable

Surfacique

NombreArbre 50%	PenetraRacine 50%	#69 - AlterRoche
< 12	*	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable
> 12	Notable	Notable

Fonction : **Limitation de l'érosion (70)**

>>> *Infra-activité : Formation et conservation des sols* ***>>>*** *Activité : Sol et cycles biogéochimiques* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

LocalisAblation 33%	DensiteTigeBase 33%	EssenceRetention 33%	#70 - LimitAblation
Negligeable	Negligeable	*	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	Negligeable
*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable	Notable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	Notable	*	Notable

Infra-activité **: Formation et conservation des sols**

>>> *Activité : Sol et cycles biogéochimiques* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#69 - AlterRoche 50%	#70 - LimitAblation 50%	Pedogenese
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Infra-fonction : **Absorption de l'eau et des polluants solvatés du sol**

>>> Fonction : Epuration de l'eau (71) >>> Infra-activité : Qualité et régulation de l'eau >>> Activité : Sol et cycles biogéochimiques >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel

LocalisEpurEau 60%	SurfacePos300 20%	EssenceEpurEau 20%	AbsorbEpurEau
Negligeable	*	*	Negligeable
*	< 300mc	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	> 300mc	*	Notable

Linéaire

LocalisEpurEau 40%	NombreArbre 20%	LongueurPos100 20%	EssenceEpurEau 20%	AbsorbEpurEau
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	< 6	< 100m	*	Negligeable
*	< 6	*	Negligeable	Negligeable
*	*	< 100m	Negligeable	Negligeable
Notable	*	> 100m	Notable	Notable
Notable	> 6	*	Notable	Notable
Notable	> 6	> 100m	*	Notable

Surfacique

LocalisEpurEau 60%	NombreArbre 20%	EssenceEpurEau 20%	AbsorbEpurEau
Negligeable	*	*	Negligeable
*	< 12	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable
Notable	> 12	*	Notable

Infra-fonction : **Infiltration des ruissellements**

>>> Fonction : Épuration de l'eau (71) >>> Infra-activité : Qualité et régulation de l'eau >>> Activité : Sol et cycles biogéochimiques >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel

PositionHydro 33%	SurfacePos300 17%	TalusFossePos 33%	DensiteTigeBase 17%	InfiltrEpurEau
Negligeable	< 300mc	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	*	Negligeable
*	< 300mc	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable	Notable
*	> 300mc	Notable	*	Notable
Notable	*	*	Notable	Notable
Notable	*	Notable	*	Notable
Notable	> 300mc	*	*	Notable

Linéaire

SensPente 33%	LongueurPos100 17%	TalusFossePos 33%	DensiteTigeBase 17%	InfiltrEpurEau
0 - 45 deg	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
0 - 45 deg	*	Negligeable	*	Negligeable
*	< 100m	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable	Notable
*	> 100m	Notable	*	Notable
45 - 90 deg	*	*	Notable	Notable
45 - 90 deg	*	Notable	*	Notable
45 - 90 deg	> 100m	*	*	Notable

Surfacique

PositionPenteBas 40%	SensPente 20%	TalusFossePos 20%	DensiteTigeBase 20%	InfiltrEpurEau
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	Negligeable	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	*	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Fonction : **Epuration de l'eau (71)**

>>> *Infra-activité : Qualité et régulation de l'eau* ***>>>*** *Activité : Sol et cycles biogéochimiques* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

AbsorbEpurEau 50%	InfiltrEpurEau 50%	#71 - EpurEau
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Infra-fonction : **Infiltration des ruissellements**

>>> Fonction : Régultation des flux hydrologiques (72) >>> Infra-activité : Qualité et régulation de l'eau >>> Activité : Sol et cycles biogéochimiques >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel : infra-fonction non évaluée

Linéaire

SensPente 33%	LongueurPos100 17%	TalusFossePos 33%	DensiteTigeBase 17%	InfiltrRegulHydro
0 - 45 deg	< 100m	*	Negligeable	Negligeable
0 - 45 deg	*	Negligeable	*	Negligeable
*	< 100m	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable	Notable
*	> 100m	Notable	*	Notable
45 - 90 deg	*	*	Notable	Notable
45 - 90 deg	*	Notable	*	Notable
45 - 90 deg	> 100m	*	*	Notable

Surfacique

PositionPenteBas 40%	SensPente 20%	TalusFossePos 20%	DensiteTigeBase 20%	InfiltrRegulHydro
Negligeable	*	*	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	Negligeable	*	Negligeable
*	0 - 45 deg	*	Negligeable	Negligeable
*	*	Negligeable	Negligeable	Negligeable
Notable	*	Notable	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	*	Notable	Notable
Notable	45 - 90 deg	Notable	*	Notable

Infra-fonction : **Interception et restitution différée d'une partie des précipitations**

>>> Fonction : Régultation des flux hydrologiques (72) >>> Infra-activité : Qualité et régulation de l'eau >>> Activité : Sol et cycles biogéochimiques >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel : infra-fonction non évaluée

Linéaire

LongueurPos100 25%	EssencePrecipit 25%	PorositePos50 25%	LargeurHouppier 25%	InterceptRegulHydro
< 100m	Pin et caduque	*	*	Negligeable
< 100m	*	> 50%	*	Negligeable
< 100m	*	*	< 5m	Negligeable
*	Pin et caduque	> 50%	*	Negligeable
*	Pin et caduque	*	< 5m	Negligeable
*	*	> 50%	< 5m	Negligeable
*	Sapin	< 50%	> 5m	Notable
> 100m	*	< 50%	> 5m	Notable
> 100m	Sapin	*	> 5m	Notable
> 100m	Sapin	< 50%	*	Notable

Surfacique

EssencePrecipit 50%	PorositeHoupPos50 50%	InterceptRegulHydro
Pin et caduque	> 50%	Negligeable
*	< 50%	Notable
Sapin	*	Notable

Fonction : **Régultation des flux hydrologiques (72)**

>>> Infra-activité : Qualité et régulation de l'eau >>> Activité : Sol et cycles biogéochimiques >>> Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel

Ponctuel

PositionHydro 33%	SurfacePos300 17%	TalusFossePos 33%	DensiteTigeBase 17%	InfiltrRegulHydro
Negligeable	< 300mc	*	Negligeable	Negligeable
Negligeable	*	Negligeable	*	Negligeable
*	< 300mc	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable	Notable
*	> 300mc	Notable	*	Notable
Notable	*	*	Notable	Notable
Notable	*	Notable	*	Notable
Notable	> 300mc	*	*	Notable

Linéaire, Surfacique

InfiltrRegulHydro 50%	InterceptRegulHydro 50%	#72 - RegulHydro
Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
Notable	*	Notable

Infra-activité **: Qualité et régulation de l'eau**

>>> *Activité : Sol et cycles biogéochimiques* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#71 - EpurEau 50%	#72 - RegulHydro 50%	RegulEau
Negligeable * Notable	Negligeable Notable *	Negligeable Notable Notable

Fonction : **Séquestration du carbone (73)**

>>> *Activité : Sol et cycles biogéochimiques* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel

SurfacePos300 33%	HauteurPos5 33%	PorositePos50 33%	#73 - Carbone
< 300mc	*	*	Negligeable
*	< 5m	*	Negligeable
*	*	> 50%	Negligeable
> 300mc	> 5m	< 50%	Notable

Linéaire

LargeurPos5 25%	HauteurPos5 25%	LongueurPos100 25%	PorositePos50 25%	#73 - Carbone
< 5m	< 5m	*	*	Negligeable
< 5m	*	< 100m	*	Negligeable
< 5m	*	*	> 50%	Negligeable
*	< 5m	< 100m	*	Negligeable
*	< 5m	*	> 50%	Negligeable
*	*	< 100m	> 50%	Negligeable
*	> 5m	> 100m	< 50%	Notable
> 5m	*	> 100m	< 50%	Notable
> 5m	> 5m	*	< 50%	Notable
> 5m	> 5m	> 100m	*	Notable

Surfacique

HauteurPos5 50%	DensitePos 50%	#73 - Carbone
< 5m	Negligeable	Negligeable
*	Notable	Notable
> 5m	*	Notable

Activité : **Sol et cycles biogéochimiques**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Pedogenese 33%	RegulEau 33%	#73 - Carbone 33%	PedoBiogeo
Negligeable	Negligeable	Negligeable	Negligeable
*	*	Notable	Notable
*	Notable	*	Notable
Notable	*	*	Notable

Fonction : **Augmentation de la température et réduction de ses amplitudes (74)**

>>> *Activité : Climat régional* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Fonction évaluée directement (sans paramètre)

Fonction : **Augmentation et stabilisation du taux d'humidité de l'air (75)**

>>> *Activité : Climat régional* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Fonction évaluée directement (sans paramètre)

Fonction : **Réduction de la vitesse du vent (76)**

>>> *Activité : Climat régional* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Fonction évaluée directement (sans paramètre)

Fonction : **Répartition hétérogène des précipitations (77)**

>>> *Activité : Climat régional* ***>>>*** *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Fonction évaluée directement (sans paramètre)

Activité : **Climat régional**

>>> *Domaine d'activités : Fonctionnement de l'environnement naturel*

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

#74 - TemperRegion 25%	#75 - HumidRegion 25%	#76 - VentRegion 25%	#77 - PrecipitRegion 25%	Climat
Negatif	Negatif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
<=Faible ou disparate	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	*	Positif	Faible ou disparate
Negatif	*	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	*	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	*	Negatif	Positif	Faible ou disparate
*	Negatif	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
*	<=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Negatif	<=Faible ou disparate	Positif	*	Faible ou disparate
Negatif	*	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Positif	*	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	*	Positif	Negatif	Faible ou disparate
*	Negatif	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	<=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	<=Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Negatif	Positif	*	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	Negatif	*	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	*	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Negatif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Positif	<=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate

>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Positif	Negatif	<=Faible ou disparate	*	Faible ou disparate
Positif	Negatif	*	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	<=Faible ou disparate	Negatif	*	Faible ou disparate
Positif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	<=Faible ou disparate	*	Negatif	Faible ou disparate
Positif	*	Negatif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	*	<=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
*	Positif	Positif	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	*	Positif	Positif	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Positif	*	Positif	Positif
Positif	Positif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Positif	Positif	*	Positif

Domaine d'activités : **Fonctionnement de l'environnement naturel**

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Ecosysteme 35%	PedoBiogeo 31%	Climat 35%	Enviro
Negatif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	*	Negatif	Negatif
<=Faible ou disparate	Negligeable	Negatif	Negatif
Negatif	*	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negligeable	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Notable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Notable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negligeable	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	*	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negligeable	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Notable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Notable	Negatif	Faible ou disparate
Positif	Negligeable	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Positif	*	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Notable	Positif	Positif
Positif	*	Positif	Positif
Positif	Notable	>=Faible ou disparate	Positif

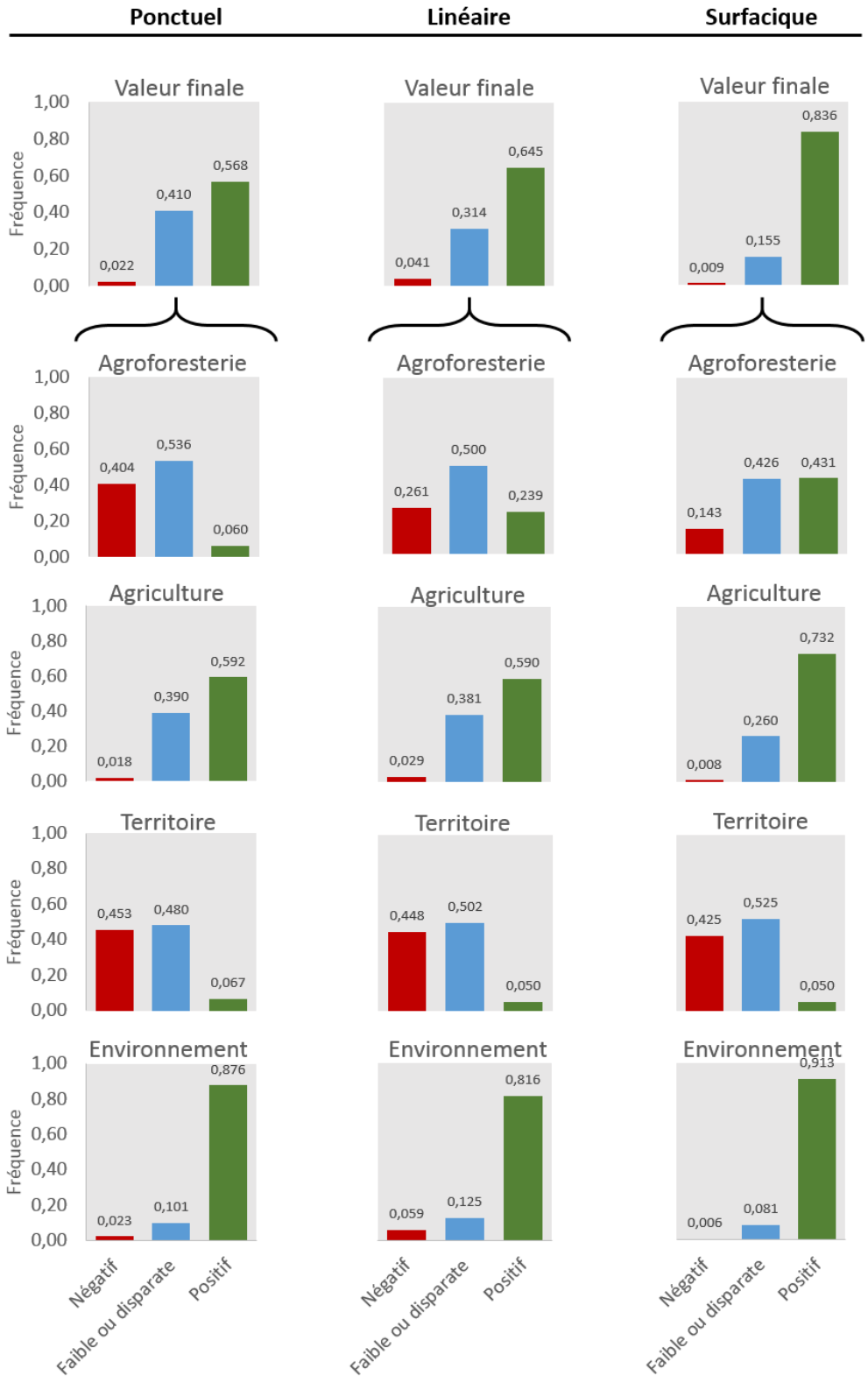
Critère final : **Rôle de l'espace arboré**

Ponctuel, Linéaire, Surfacique

Agroforest 20%	Agri 27%	Territoire 27%	Enviro 27%	Role
Negatif	Negatif	Negatif	*	Negatif
Negatif	Negatif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	Negatif	*	Negatif	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
Negatif	<=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
Negatif	*	Negatif	Negatif	Negatif
*	Negatif	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif
*	Negatif	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif
*	<=Faible ou disparate	Negatif	Negatif	Negatif
Negatif	Negatif	>=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negatif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Negatif	Positif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
*	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Faible ou disparate	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	>=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate
Negatif	Positif	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Negatif	Positif	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	<=Faible ou disparate	Positif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Negatif	Positif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate

Faible ou disparate	Negatif	Positif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Negatif	Positif	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Faible ou disparate	Faible ou disparate	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Positif	Negatif	<=Faible ou disparate	Faible ou disparate
Faible ou disparate	Positif	<=Faible ou disparate	Negatif	Faible ou disparate
>=Faible ou disparate	Positif	Negatif	Negatif	Faible ou disparate
*	>=Faible ou disparate	Positif	Positif	Positif
*	Positif	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
*	Positif	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
>=Faible ou disparate	*	Positif	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	*	Positif	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	>=Faible ou disparate	>=Faible ou disparate	Positif
>=Faible ou disparate	Positif	Positif	*	Positif
Positif	*	>=Faible ou disparate	Positif	Positif
Positif	*	Positif	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	*	Positif	Positif
Positif	>=Faible ou disparate	Positif	*	Positif
Positif	Positif	*	>=Faible ou disparate	Positif
Positif	Positif	>=Faible ou disparate	*	Positif

Annexe 5 : Fréquence des valeurs finales (rôle des espaces arborés) et des valeurs des domaines d'activités obtenues avec le modèle Terafor pour les types ponctuel, linéaire et surfacique lors d'une analyse de Monte-Carlo simulant l'évaluation de mille options (espaces arborés) par type



Annexe 6 : Description de l'utilisation du modèle Terafor dans une version non définitive pour évaluer les fonctions d'une haie sur une exploitation agricole.

Cette utilisation du modèle Terafor a eu lieu dans le cadre du stage de Céline Ottogali en 2015. La description présentée ici correspond aux pages de son rapport de stage qui présente cette utilisation et son résultat.

4. Une phase de test limitée mais encourageante

[redacted]

Avec l'aide du conseil Général qui a fourni les plants, le plastique pour le paillage ainsi que des conseils techniques pour le choix des espèces [redacted] a planté deux jeunes haies en 2008/2009. Ce sont elles que nous avons évaluées. (Figure 27).

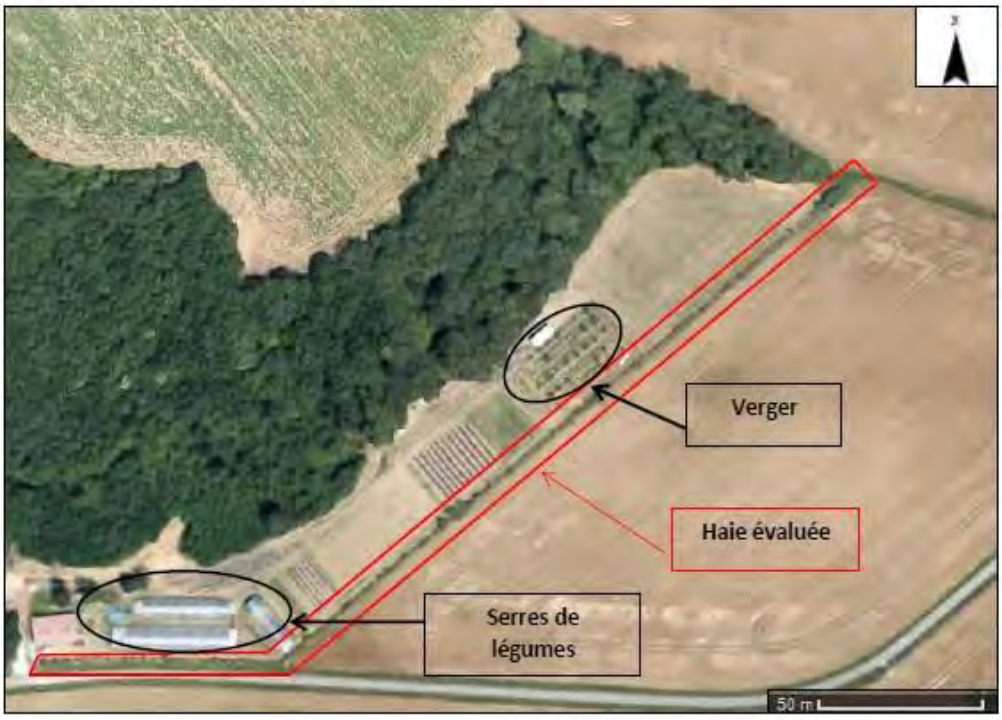


Figure 27: Vue aérienne de l'exploitation de [redacted] *Haute Garonne (Source : Google Maps)*

Avant d'évaluer les fonctions de cette haie, nous avons questionné [redacted] sur les raisons qui l'ont poussée à la planter. Elle avait 3 objectifs principaux :

1) Se protéger du vent d'Autan
2) Assurer un abri pour les auxiliaires
3) Se protéger contre les dispersions de pesticides de l'agriculteur voisin

43

Nous avons renseigné les critères de la haie sur le logiciel DEXi et obtenu les résultats suivants :

1) Pour la protection contre le vent :

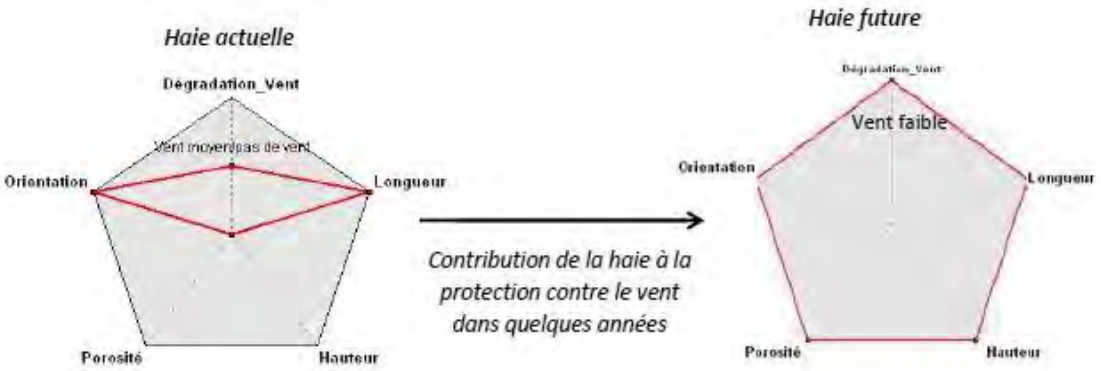


Figure 28: Schémas résultant de l'application de DEXi et représentant la contribution de la haie (actuelle et future) à la protection contre le vent

La fonction « Protection contre les dégradations du vent » par la haie est évaluée moyenne (figure 28). Cette fonction dépend de 4 critères : l'orientation de la haie par rapport au vent dominant, sa porosité (pourcentage de vides apparents), sa hauteur et sa longueur. On remarque que son orientation et sa longueur sont suffisantes pour une bonne protection contre le vent mais que sa hauteur et sa porosité sont mauvaises (figure 28 et 29).

Orientation	Porosité	Hauteur	Longueur	Vent
0-20°	<50%	>3m	>50%	**Vent fort**
20-45°	>50%	<3m	<50%	**Vent fort**
20-45°	>50%	<3m	>50%	**Vent fort**
20-45°	>50%	>3m	<50%	**Vent moyen/pas de vent**
20-45°	>50%	>3m	>50%	**Vent faible**
20-45°	<50%	<3m	<50%	**Vent fort**
20-45°	<50%	<3m	>50%	**Vent moyen/pas de vent**
20-45°	<50%	>3m	<50%	**Vent moyen/pas de vent**
20-45°	<50%	>3m	>50%	**Vent faible**
45-90°	>50%	<3m	<50%	**Vent fort**
45-90°	>50%	<3m	>50%	**Vent moyen/pas de vent**
45-90°	>50%	>3m	<50%	**Vent moyen/pas de vent**
45-90°	>50%	>3m	>50%	**Vent faible**
45-90°	<50%	<3m	<50%	**Vent moyen/pas de vent**

Figure 29: Table d'agrégation des critères pour la fonction "Protection contre les dégradations du vent" par la haie

Ceci est justifié par le jeune âge de la haie, les arbres ne sont donc pas suffisamment développés (figure 30).



Figure 30: Haie de [redacted] (Source : Google Maps)

2) Protection des dispersions de pesticides de l'agriculteur voisin

Cette fonction est liée à la protection contre le vent que nous avons vu précédemment. Ainsi, on ne peut pas affirmer qu'aujourd'hui la haie assure une protection suffisante contre la dispersion des pesticides du voisin.

3) Abri pour les auxiliaires

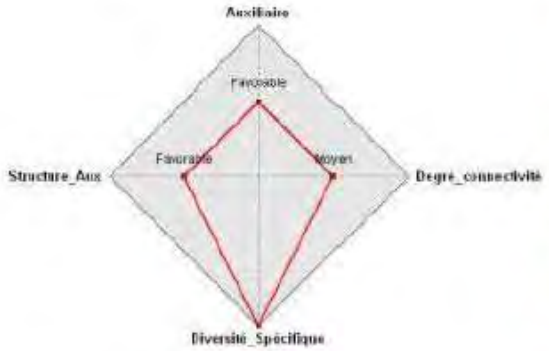


Figure 31: Résultat de l'évaluation de la fonction « Maintien des espèces auxiliaires » de la haie de [redacted]

Structure	Diversité_Spécifique	Degré_connectivité	Auxiliaire
Peu favorable	Moyenne	Fort	**Peu favorable**
Peu favorable	Forte	Faible	**Peu favorable**
Peu favorable	Forte	Moyen	**Favorable**
Peu favorable	Forte	Fort	**Favorable**
Favorable	Faible	Faible	**Peu favorable**
Favorable	Faible	Moyen	**Peu favorable**
Favorable	Faible	Fort	**Peu favorable**
Favorable	Moyenne	Faible	**Favorable**
Favorable	Moyenne	Moyen	**Favorable**
Favorable	Moyenne	Fort	**Favorable**
Favorable	Forte	Faible	**Favorable**
Favorable	Forte	Moyen	**Favorable**
Favorable	Forte	Fort	**Favorable**
Très favorable	Faible	Faible	**Favorable**

Figure 32: Table d'agrégation de la fonction "Maintien des espèces auxiliaires" par la haie

La fonction « maintien des espèces auxiliaires » de la haie est évaluée favorable (figure 31 et 32). Celle-ci dépend de 3 critères : le degré de connectivité de la haie avec d'autres éléments naturels, la structure de la haie et sa diversité spécifique. Son point fort est la diversité d'espèces car elle est composée de noyer, frêne, pommier, olme, cornouiller, cornier, de prunier, de laurier-sauce et de laurier-tin.

Après évaluation des 3 fonctions visées par l'agricultrice, nous avons mis en évidence au travers de l'arborescence hiérarchique de DEXi, les autres fonctions pouvant être assurées par une haie

(limitation de l'érosion, ombre, rayonnement...). Cependant, aucune ne semblait nouvelle pour [redacted].

Cette phase de test a duré entre 1h30 et 2h. Elle nous a permis de constater que l'outil peut produire des résultats cohérents concernant les évaluations des fonctions. De plus, les critères étaient simples et rapides à renseigner.

Lors de l'entretien, nous avons remarqué qu'il a été facile d'expliquer le principe et le fonctionnement du logiciel. [redacted] a trouvé l'arbre de décision complet et facile à comprendre. Ainsi, DEXi s'est révélé un support efficace de discussion concernant le rôle des haies.

Résumé

L'agroforesterie, au sens large, correspond aux associations entre des arbres et des productions agricoles qu'elle considère de l'échelle de la parcelle jusqu'à celle du territoire. Cette acception large est celle retenue dans la présente thèse. Elle incite à prendre en compte i) tous les espaces arborés des territoires agricoles, ii) toutes les fonctions de ces espaces et iii) tous les acteurs concernés par ces espaces et leurs fonctions. Ces trois points constituent les trois défis que les travaux de thèse s'attachent à relever, dans un contexte de développement récent de l'agroforesterie pour lequel des outils restent à inventer. Le positionnement de recherche de ces travaux articule développement territorial, démarches participatives et approche systémique. Ces notions ont été structurantes dans la définition de la finalité et de l'objectif de la thèse. La finalité est un outil d'aide à la discussion entre les acteurs concernés sur les espaces arborés et leurs fonctions pour faciliter la construction de projets partagés de territoires agroforestiers. L'objectif est de préparer cet outil et, pour cela, le modèle Terafor (Territoire et agroforesterie) a été conçu. Le modèle Terafor est implémenté avec le logiciel DEXi qui combine une méthode d'analyse multicritère qualitative structurée hiérarchiquement et un système expert d'évaluation. Il évalue qualitativement chacune des 77 fonctions des espaces arborés (production de bois, limitation de l'érosion, effet sur la qualité paysagère par exemple) qui ont été identifiées à partir de la littérature et de dires de 15 experts rencontrés. L'évaluation des fonctions mobilise des paramètres sélectionnés pour traduire les diverses caractéristiques des espaces arborés (forme, structure, composition, localisation) qui conditionnent ces fonctions. Les 77 fonctions sont regroupées par activité et par domaine d'activités (agroforesterie, agriculture, fonctionnement des écosystèmes par exemple). Ces regroupements font ressortir 22 activités et organisent les informations afin de faciliter les discussions entre les acteurs. La transparence, l'intelligibilité et la flexibilité du fonctionnement de DEXi rendent le

modèle Terafor approprié à favoriser la participation en impliquant les acteurs dans les différentes phases de la construction de projets de territoires agroforestiers. L'opérationnalisation du modèle Terafor en un outil participatif nécessite de poursuivre les tests de simulation, notamment de sensibilité, de développer des interfaçages avec des dispositifs de gestion de données (tableur, système d'information géographique, représentation graphique) et de l'expérimenter en situations réelles. En l'état, le modèle Terafor constitue toutefois une base (informations internes) et un producteur (informations en sortie) de connaissances homogènes et accessibles sur l'ensemble des fonctions des espaces arborés. Il peut donc d'ores et déjà servir de support pour la conception et l'accompagnement de projets agroforestiers ainsi que pour l'enseignement de l'agroforesterie, de la multifonctionnalité et de l'agroécologie.

Mots-clés

Fonctions des espaces arborés
Territoires agricoles
Évaluation multicritère qualitative
Agroforesterie
Modèle DEXi
Acteurs du territoire

Abstract

Agroforestry corresponds to the association between trees and agricultural productions. In a broad sense, the scale considered streches fom the plot to the landscape. This meaning took on in this thesis. It encourages taking into account (i) all treed areas in agricultural landscapes, (ii) all the functions of these treed areas and (iii) all the stakeholders involved. In the context of recent development of agroforestry, these three points constituted the three challenges that the thesis worked to tackle. Some tools need to be designed. The research positioning connected territorial development, participatory approaches and systems approach. These notions built the purpose and the goal of the thesis. A discussion aid tool for the relevant stakeholders about treed areas and their functions was the thesis purpose in order to facilitate the construction of shared projects of agroforestery landscapes. Designing Terafor model (Territory and agroforestry) to prepare this tool was thesis goal. The Terafor model was implemented with DEXi software which combines a hierarchically structured qualitative multi-criteria analysis method and an evaluation expert system. It evaluates each of the 77 functions of the treed areas qualitatively (for example: wood production, limitation of erosion, effect on the landscape quality). These 77 functions were identified beforehand from the literature and from 15 experts. The evaluation of functions uses selected parameters to translate the diverse characteristics of the treed areas (shape, structure, composition, location). The 77 functions were grouped into activities and fields of activities (for example: agroforestry, agriculture, ecosystem functioning). These groups bring out 22 activities and organize information to facilitate discussions between stakeholders. The transparency, the intelligibility and the flexibility of DEXi operation make the Terafor model suitable for promoting participation by involving stakeholders in the different phases of the construction of agroforestry territory projects. The implementation of the Terafor model in a participatory tool requires to continue the simulation tests, to develop interfaces with

data management devices (spreadsheet, geographical information system, graphical representation) and to experiment it in real-life situations. As it stands, the Terafor model constitutes a basis (internal data) and a producer (output data) of homogeneous and accessible knowledge on the whole functions of the treed areas. It can already serve not only as a support for building and for carrying out agroforestry projects, but for teaching about agroforestry, multifunctionality and agroecology as well.

Key words

Functions of treed areas
Agricultural landscapes
Qualitative multicriteria analysis
Agroforestery
DEXi-based model
Local stakeholders