Université Bordeaux-Montaigne
École Doctorale Montaigne Humanités (ED 480)

THÈSE DE DOCTORAT EN « SCIENCES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION »

Transformation numérique des organisations en réseau

Les potentiels d'une schématisation dynamique de l'information

présentée et soutenue publiquement le 21 juin 2021 par

Eric LACOMBE

sous la direction de Lise Vieira

Membres du jury

Bruno BACHIMONT, Professeur, Université de technologie de Compiègne, *Rapporteur*

Daniel BONNET, Consultant, chercheur associé à l'ISEOR, Université Jean Moulin, Lyon, HDR

Marianne HUCHARD, Professeur, Université de Montpellier

Sylvie LELEU-MERVIEL, Professeur, Université Polytechnique Hauts-de-France

Imad SALEH, Professeur, Université Paris 8, *Rapporteur*

Lise VIEIRA, Professeur, Université Bordeaux Montaigne, *Directrice de thèse*

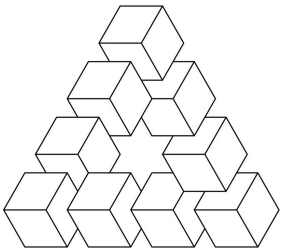


Table des matières

Remerciements....11
Conventions....12
Ouverture....13
0. Cadrage de la recherche....21
0.0. Introduction du cadrage....21
0.1. Contexte....22
0.1.1. Parcours professionnel et retour d'expérience....22
0.1.2. Formalisation de la problématique : la « boucle OitO »....29
0.1.3. Organiser l'information, le rôle de l'architecte de l'information....30
0.1.4. Cadrage de la problématique....33
0.2. Problématique....34
0.3. Sujet de recherche....35
0.4. Hypothèses....35
0.5. Cadre épistémologique....39
0.5.1. La connaissance de la connaissance....39
0.5.2. La méthode scientifique....40
0.5.3. Cadre théorique....44
0.6. Démarche méthodologique....49
0.6.1. La logique de l'énergie....52
0.6.2. L'Anneau des disciplines....55
0.6.3. Boucles Création, Connaissance, Commande....59
0.6.4. Le Pentachore des disciplines....63
0.7. Fil conducteur....69
0.8. Terrains d'application....70
0.9. Conclusion du cadrage....72

1. Exploration par questionnement....73
1.0. Introduction de l'exploration....73
1.1. Questionner l'information....73
1.1.0. Définitions de l'information....74
1.1.1. Information et Mathématiques....75
1.1.2. Information et Physique....77
1.1.3. Information et Biologie....80
1.1.4. Information et Sciences humaines et sociales....82
1.1.4.1. L'information, entre donnée et connaissance....83
1.1.4.2. L'ordinateur, vue générale de son organisation et fonctionnement..87
1.1.4.3. Le système d'information....88
1.1.4.4. L'intelligence artificielle....90
1.1.4.5. De l'information à la décision....94
1.1.4.6. L'instrumentalisation de l'information....94
1.1.4.7. S'informer comme se nourrir, un besoin vital....96
1.1.5. Information et Philosophie....97
1.1.6. Interprétation : 1 boucle, 4 modes, 3 formes, des vecteurs....101
1.1.6.1. Vers une troisième forme d'information....102
1.1.6.2. L'information comme vecteur de transformation....106
1.2. Questionner la transformation....109
1.2.0. Définition de la Transformation....109
1.2.1. Transformation et Philosophie....111
1.2.2. Transformation et Mathématiques....112
1.2.3. Transformation et Physique....118
1.2.4. Transformation et Biologie....133
1.2.5. Transformation et SHS....135
1.2.6. Transformation numérique....142
1.3. Questionner l'organisation....154
1.3.0. Introduction....154
1.3.1. Définitions de l'organisation....154

1.3.2. Organisation et Mathématiques....156
1.3.3. Organisation et Physique....158
1.3.4. Organisation et Biologie....162
1.3.5. Organisation et Sciences Humaines et Sociales....167
1.3.6. Organisation et Philosophie....168
1.3.7. Effet du numérique sur l'organisation des connaissances....170
1.4. Questionner la représentation....176
1.4.0. Définir la représentation....176
1.4.1. Représentation et Philosophie....179
1.4.2. Représentation et Mathématique....181
1.4.3. Représentation et Physique....184
1.4.4. Représentation et Biologie....185
1.4.5. Représentation et SHS....186
1.4.5.1. Représentation et la boucle Connaissance....187
1.4.5.2. Représentation et la boucle Commande....190
1.4.5.3. Représentation et la boucle Création....192
1.5. Conclusion de l'exploration....195
2. Proposition de modélisation....197
2.0. Introduction de la proposition....197
2.1. Design d'un modèle de la transformation (R1)....197
2.1.0. Introduction (R1)....197
2.1.1. Attracteurs de transformation....198
2.1.2. Champ de transformation....203
2.1.3. Le concept d'Ecart....207
2.1.4. Le concept de Tension....208
2.1.5. Opérateur de transformation....212
2.1.6. Modèle de représentation des transformations....215
2.1.7. Énergie de transformation....216
2.1.8. Cycle de transformation....217
2.1.9. Grille d'analyse des transformations....219

2.1.10. Conclusion (R1)....221
2.2. Design d'un modèle de l'organisation (R2)....222
2.2.0. Introduction (R2)....222
2.2.1. Processus d'organisation....222
2.2.2. Boucle d'organisation....224
2.2.3. Couplage....228
2.2.4. Composantes de l'organisation : deux espaces et un centre....230
2.2.5. Propriétés de l'organisation....234
2.2.6. Régimes du centre organisateur....236
2.2.7. Modèle de représentation de l'organisation....237
2.2.8. Grille d'analyse de l'organisation....238
2.2.9. Tensions motrices de l'organisation....239
2.2.10. Décoder le fonctionnement de l'organisation....240
2.2.11. Phases de l'organisation....242
2.2.12. Champ organisationnel....247
2.2.13. Cycle de vie....249
2.2.14. Conclusion illustrée (R2)....252
2.3. Design d'un instrument d'observation (R3)....259
2.3.0 Introduction (R3)....259
2.3.1. Du « sémioscope » aux « graines d'information »....259
2.3.2. Un « compas sémiotique »....262
2.3.3. Grille d'observation des tensions....265
2.3.4. Conclusion (R3)....266
2.4. Design d'un langage de description (R4)....267
2.4.0. Introduction (R4)....267
2.4.1. Genèse des graines d'information....267
2.4.2. Données versus Documents....268
2.4.3. Qualifier le document numérique, un ondoyant....271
2.4.4. Structurer le document numérique : la « graine d'information »....275
2.4.5. Modèle logique des graines d'information....278

2.4.6. Eléments du langage de description....287
2.4.6.1. Modélisation des entités : les Descripteurs....287
2.4.6.2. Modélisation des relations : les Constructeurs....298
2.4.7. Schémas d'organisation....302
2.4.7.1. Interacteurs....303
2.4.7.2. Patterns....304
2.4.8. Évolution du langage de description....306
2.4.9. Conclusion (R4)....308
2.5. Design d'une méthode d'analyse (R5)....310
2.5.0. Introduction (R5)....310
2.5.1. Cinq bifurcations....310
2.5.2. Modélisation de la méthode d'analyse....314
2.5.3. Conclusion (R5)....315
2.6. Conclusion de la proposition....316
3. Evaluation pour corroboration....317
3.0. Introduction de l'évaluation....317
3.0.1. Évaluer un système d'organisation des connaissances....320
3.1. Evaluation hypothético-déductive....322
3.1.0. Introduction....322
3.1.0.1. Usage de la grille d'exploration des transformations....324
3.1.1. Description de concepts....325
3.1.1.1. Concepts spatiaux et temporels (A1)....326
3.1.1.2. Concept d'espace-temps (A2)....328
3.1.2. Description de modèles....330
3.1.2.1. La pensée d'Edgar Morin et la construction de la société (B1)....331
3.1.2.2. Structures anthropologiques de l'imaginaire (B2)....335
3.1.2.3. Pyramide de Maslow étendue (B3)....338
3.1.2.4. Axes de Résonance (B4)....343
3.1.2.5. Haptonomie (B5)....345
3.1.2.6. Actes de Langage (B6)....347

3.1.3. Description de fonctions et processus....348
3.1.3.1. Processus économiques (C1)....348
3.1.3.2. Processus de création (C2)....362
3.2. Evaluation expérimentale....373
3.2.0. Introduction....373
3.2.1. Réseau Apidae....375
3.2.1.0. Présentation générale du projet....375
3.2.1.1. Organisation de l'information....376
3.2.1.2. La transformation de l'organisation....383
3.2.2. Bibracte....386
3.2.2.0. Présentation générale du projet....386
3.2.2.1. Organisation de l'information....388
3.2.2.2. Transformation de l'Organisation....396
3.2.3. Expérimentation à la MDA....399
3.2.3.0. Présentation générale du projet....399
3.2.3.1. Organisation de l'information au démarrage du projet....400
3.2.3.2. Premier bilan....407
3.2.4. Autres évaluations....408
3.2.4.1. Rencontres Moustic (juin 2019)....408
3.2.4.2. Intervention BSH (nov. 2019)....409
3.2.4.3. Validation procédurale itérative (continue)....410
3.2.4.4. Vers une validation algorithmique exploratoire....412
3.3. Approche abductive....414
3.3.0. Introduction....414
3.3.0.1 Emergence de l'hypothèse....415
3.3.1. Transformation adaptative des organisations - l'individu (tao-i)....421
3.3.1.1. Théories du développement liées aux âges de la vie....421
3.3.1.2. Corrélation cyclique : perception du temps....429
3.3.1.3. Corrélation périodique : ondes gravitationnelles....442
3.3.1.4. Corrélation relationnelle : proxémie....445

3.3.1.5. Qualification et quantification des relations....447
3.3.1.6. Relation aux phases de l'organisation....451
3.3.1.7. Critiques et perspectives....456
3.3.2. Transformation adaptative des organisations - la société (tao-s)....457
3.3.3. Transformation adaptative des organisations - l'espèce (tao-e)....463
3.3.4. Transformation adaptative des organisations - l'univers (tao-u)....465
3.4. Conclusion de l'évaluation....468
4. Critiques et Perspectives....469
4.0. Introduction du déploiement....469
4.1. Critiques....470
4.1.1. Synthèse, résumé des concepts clés et de leur articulation....470
4.1.2. Apports, usages et périmètres....475
4.1.3. Limites et obstacles....480
4.1.3.1. La transdisciplinarité....480
4.1.3.2. Le langage....482
4.1.3.3. L'abstraction : vers une logique opérationnelle et ensembliste....483
4.1.3.4. La prédiction....488
4.1.3.5. Le numérique....491
4.2. Perspectives....494
4.2.1. Intelligibilité : approfondissement de la recherche....495
4.2.1.1. Théories de l'évolution....496
4.2.1.2. Phénomènes ondulatoires....498
4.2.1.3. Approfondissement des mathématiques....501
4.2.1.4. Approfondissement de la physique....504
4.2.1.5. Exploration de la conscience....505
4.2.2. Sensibilité : propagation, enseignement, transmission....507
4.2.3. Direction : résonances....512
4.3. Requestionnement....514
4.4. Conclusion du déploiement....518
Réouverture....519

Index des illustrations....528
Cartes....528
Encadrés....535
Figures....536
Photos et Copies d'écran....536
Schémas....536
Tableaux....537
Index des mots-clés....539
Bibliographie....546
Annexes....584
Programmes....585
Onde organisationnelle....585
Horloges....589
Parabole....590
Spirale de Fermat....591

Remerciements

à Estelle, évidemment, à Anaïs et César, dont j'admire les parcours et réalisations, à mes parents, ma famille, et tous mes amis, pour leur accompagnement bienveillant ;

à Lise, ma directrice de thèse, qui m'a guidé avec subtilité dans cette aventure, faisant suite à Daniel, éclaireur de la transformation énantiologique des organisations, qui m'a incité à revenir à l'université[1];

à celles et ceux qui ont suivi cette recherche[2], puis l'ont évaluée — patemment un jury de choix — sans oublier les faciliteur.rice.s des démarches administratives[3] ;

à celles et ceux qui ont permis l'éclosion de ces idées[4], en me faisant confiance professionnellement, dont récemment[5] Karine Feige, Vincent Guichard, Clémentine Guillet, et à leurs équipes bien sûr ; à mes collègues et partenaires, multiples et précieux ; à celles et ceux qui ont permis l'affinage de cette proposition, en rendant le savoir accessible[6] ou en ouvrant des échanges constructifs, au sein de l'université mais aussi *hors-les-murs*, avec une pensée particulière au buriniste Jean Coulon (1947-2020) ; à celles et ceux répondant à nos premiers besoins, nourrir, protéger, soigner, rire, vibrer ; aux futur.e.s utilisateur.rice.s de cette recherche, souhaitant harmoniser les relations entre les humains, dans la nature[7] ; enfin et surtout, à tous les esprits jeunes qui réenchantent le monde, cet éclairage est pour eux.

1. Suite à l'accueil d'un jeune ingénieur en 1988 par le théoricien du cinéma Jacques Aumont, pour la réalisation d'un DEA
2. En particulier les membres du comité de suivi de thèse, Catherine, Marianne et Daniel
3. Telle Lorraine, rendant plus humains des processus qui deviennent parfois ubuesques…
4. Qui ont pris source auprès de nombreux inspirateurs, comme le philosophe Stéphane Lupasco (1900-1988), réhabilitateur du tiers-inclus avec la logique dynamique du contradictoire — cf. § 0.6.1. — mais également le cartographe Jacques Bertin (1918-2010), le médecin Jacques Robin (1919-2007) animateur du Groupe des Dix, le philosophe Gilbert Simondon (1924-1989), l'anthropologue et architecte Christopher Alexander, le mathématicien John Horton Conway (1937-2020), et bien d'autres…
5. Et précédemment, entre autres Bernard Prost, Philippe Climent, Louis Lecomte, Jean-Pierre Quenet
6. Une immense reconnaissance aux actions d'Aaron Swartz (1986-2013) et d'Alexandra Elbakyan
7. « *nous ne défendons pas la nature, nous sommes la nature qui se défend* » d'après Baptiste L. cf. https://reporterre.net/Nous-ne-defendons-pas-la-nature-nous-sommes-la-nature-qui-se-defend [consulté le 2020-11-10]

Conventions

Ce document présente plusieurs particularités. Il est en couleurs, abondamment illustré par des cartes, encadrés, figures[8], photos et copies d'écran, schémas et tableaux, avec une numérotation des parties qui commence à 0. Cette pratique issue de l'informatique permet de mieux distinguer les trois parties principales. Précisons quelques points qui facilitent la lisibilité :

- Le **gras** met en valeur les concepts clés indexés et sert à une lecture rapide.
- Les **couleurs**, au nombre de trois, sont significatives. Le code est défini en partie 2 Proposition. Pour résumer, le *rouge* traduit les concepts d'unicité, essentialité et intériorité ; en opposition le *bleu* traduit les concepts de multiplicité, diversité et extériorité ; en complémentarité le *vert* traduit les concepts d'émergence, organisation, interface, choix et résonance.
- Les **cartes** offrent un mode de lecture alternatif en s'appuyant sur *la graphique*, théorisée par le cartographe Jacques Bertin (1918-2010) : « *"langage" destiné à l'œil, elle bénéficie des propriétés d'ubiquité de la perception visuelle* [...] *système de signes monosémique, elle se définit comme la partie rationnelle du monde des images* » (Bertin, 1967:6).
- Les **encadrés** contiennent des *hyper textes*, textes *à la marge* qui précisent ou approfondissent des points de vues, et dont la lecture est optionnelle, indépendante du texte courant.

La mention CNRTL désigne le dictionnaire en ligne du *Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales*, disponible à l'adresse https://www.cnrtl.fr/definition/

La mention DESIC désigne le *Dictionnaire Encyclopédique des Sciences de l'Information et de la Communication* et DRSIC l'ouvrage collectif *Dynamiques des recherches en sciences de l'information et de la communication* — cf. Bibliographie.

8. Nous réservons le terme de *figure* aux trois schémas empruntés à d'autres auteurs.

Ouverture

L'objet de cette recherche est la *transformation des organisations*, dans le contexte des organisations en réseau, à l'*ère numérique*. Eclairons pour commencer une première ambiguïté linguistique en précisant notre usage élargi du terme **organisation** qui, en *sciences de l'information et de la communication*, désigne avant tout une entreprise[9]. Nous élargissons ce point de vue en considérant comme organisation tout corps organisé, incluant les organismes vivants, et tout élément organisé d'un corps organisé, comme un organe ou une cellule. La notion de **réseau** est également prise au sens large, elle exprime simplement l'*interdépendance* de toutes ces organisations, et ce à plusieurs niveaux. Par ce choix, nous inscrivons délibérément notre recherche dans le courant de la **transdisciplinarité** (Nicolescu, 1996), les *sciences de l'information et de la communication* étant elles-mêmes transdisciplinaires. Cette perspective nous a conduit à adopter une méthodologie spécifique, et à découper l'introduction en deux parties, *Ouverture* et *Cadrage*.

L'*Ouverture*, quelques mesures représentatives de la composition à suivre, reste minimaliste. Elle en constitue la tête, ayant avant tout un rôle d'*accueil*. Le corps de l'introduction est dans le *Cadrage*. L'ouvreur est un ingénieur qui présente une recherche sur la transformation numérique des organisations en réseau dans le champ des *sciences de l'information et de la communication*, s'efforçant ainsi à dépasser la dimension technique, pour considérer les dimensions humaines. Le terme d'ouverture a de nombreux homonymes. En plus de la forme musicale, il fait référence à trois notions en résonance avec notre recherche. En photographie, l'ouverture désigne le rapport entre la distance focale et le diamètre de la pupille d'entrée de l'objectif. Elle détermine la profondeur de champ. Plus le diaphragme est ouvert, plus la lumière rentre mais plus l'image est floue, nous jouerons alors sur sa fermeture dans la partie *Cadrage* pour apporter la netteté nécessaire. En

9. Organisation n'est pas une entrée du DESIC, mais l'entrée Organisation (Recherche en science de l') renvoie à *Entreprise*, « *entité économique de production de biens et de services, et de rémunération des facteurs ou des fournisseurs qui ont ont contribué par leur combinaison à cette production.* » (DESIC:228) Le terme d'organisation sera questionné dans la section 1.3.

architecture, l'ouverture fait référence au vide, qui sert à faire communiquer l'intérieur avec l'extérieur. Ce concept du vide est à rapprocher de celui de manque en psychanalyse, constitutif du sujet et du désir. Nous leur accordons une place toute particulière. Enfin, l'ouverture évoque les *Systèmes Ouverts*, qui réagissent en permanence à leur environnement. Cette *Ouverture* illustre également la méthode de travail ainsi que l'ampleur du champ exploré, que nous avons abordé avec l'esprit d'un *architecte de l'information*.

L'**architecture de l'information** (AI) est une discipline émergente qui se cherche. Elle est sous le regard critique des *sciences de l'information et de la communication* (Chartron et al., 2014) qui lui offre un cadre d'analyse privilégié, en distinguant par exemple les usages prévus des pratiques constatées. Mais l'AI se trouve également à la croisée d'autres disciplines comme le *Design*, plus particulièrement le *Design d'interaction*, et l'*Informatique*, dans le domaine de l'*Interaction Homme-Machine*. Ces disciplines en éclairent les différentes facettes, tant humaines que techniques. L'AI relève également de l'architecture, nous précisons notre point de vue sur cette discipline dans l'encadré E1.

E1 — De l'architecture à l'Architecture de l'Information

Le sens premier d'architecture est « *Art, science et technique de la construction, de la restauration, de l'aménagement des édifices* » (CNRTL). Par analogie l'architecture désigne un « *Principe d'organisation d'un ensemble, agencement, structure* » (CNRTL). Entre ces deux définitions, nous adoptons celle qui définit l'architecture comme « *l'art de concevoir comment habiter durablement l'espace* ». *Concevoir* et *durablement* signifient que cet art s'inscrit doublement dans le temps, celui de la construction et celui de l'exploitation. La seconde temporalité dépend de la première et appelle une troisième en considérant le cycle de vie dans son ensemble. Architecturer consiste ainsi à optimiser la relation avec l'environnement, en prenant en compte la diversité des cultures. L'architecture est donc à nourrir de bio-inspiration et d'anthropologie. Aujourd'hui l'architecture se déploie tant dans l'espace que dans le cyberespace. Selon

l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI), citée par Christophe Gasançon du Centre des Hautes Etudes Militaires (CHEM), le cyberespace est « *l'espace de communication constitué par l'interconnexion mondiale d'équipements de traitement automatisé de données numérisées. Il est généralement caractérisé par une approche sédimentaire en trois couches : une première « physique » ou « matérielle » [...]. Une deuxième couche « logique » ou « logicielle » [...]. Enfin une troisième couche « sémantique », « cognitive » ou « informationnelle » [...].* » (Gasançon, 2017). Chacune de ces couches est à architecturer. L'*Architecture Matérielle* se décline en architecture de l'ordinateur et celle du réseau. L'*Architecture Logicielle* s'intéresse à l'organisation des programmes, qui dépend des paradigmes de programmation. L'*Architecture de l'Information* concerne la troisième couche. Or celle-ci est souvent réduite à sa dimension technique, avec l'architecture des données, ou graphique, se limitant à leur présentation avec la visualisation de données (*dataviz*). Nous envisageons l'*Architecture de l'Information* plus globalement, dans une dynamique qui induit des comportements, qui en retour la font évoluer. Son rôle nous semble de ce fait primordial. Nous la présentons dans le § 0.1.3.

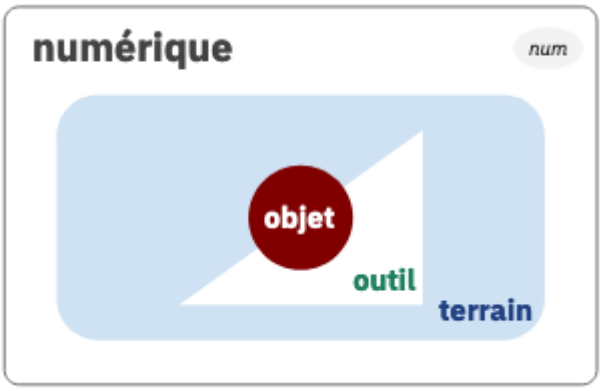
Un *cadrage* s'est rapidement imposé suite à l'ouverture à 360 degrés de notre recherche, dont le point de départ est le constat d'*une boucle dysfonctionnelle entre l'organisation de l'information et la transformation de l'organisation*. Cette boucle s'inscrit dans le contexte de l'avènement du numérique, dont l'emprise croissante avec l'usage du réseau internet impacte désormais l'ensemble des secteurs d'activités de la société, progressivement devenue *société de l'information*. Ce constat s'appuie sur une expérience professionnelle de 30 ans dans le domaine des *systèmes d'information*, que nous développons dans le cadrage. Le lien entre *information* et *transformation* est pressenti dès la fin des années 1960, en particulier par le *Groupe des dix*, actif de 1969 à 1976 et animé par Jacques Robin (Chamak, 1997). Ce *changement d'ère* (Robin, 1989) conduit et appelle à une *métamorphose numérique*[10] (Robin & Baranski, 2008) aujourd'hui clairement

10. Nous l'avons illustré ici : http://lacombe.eu/img-schema/numerique.svg

affirmée (Jutand, 2013). En effet, au niveau des organisations, l'Internet a progressivement connecté toutes les organisations en réseaux, créant des *écosystèmes numériques*, dont la croissance spectaculaire évoque le *big-bang* (Vieira, 2015).

En nous intéressant à la *transformation des organisations*, et en considérant leurs différents niveaux, nous ciblons donc une population très large puisqu'il est socialement de plus en plus difficile d'échapper à ce phénomène, qui impacte progressivement l'humanité entière : 4,54 milliards d'internautes et 3,8 milliards d'utilisateurs des réseaux sociaux sont comptabilisés en 2020[11]. Face à ce phénomène, les enjeux sont multiples et considérables, tant à l'échelle individuelle que collective, avec des répercussions en chaîne et planétaires car en favorisant la combinaison des facteurs, le numérique dévoile progressivement sa *face cachée* (Flipo et al., 2014) et ses impacts, tant sur le comportement de l'humain que sur les grands équilibres écologiques.

Notre point d'entrée est centré sur notre cœur de compétence, l'*organisation de l'information*, dont nous présentons dans l'introduction développée, que nous avons appelé *Cadrage de la recherche*, les grands principes, à la suite du résumé de notre parcours professionnel. Cette recherche s'appuie donc sur une expérience de terrain de trente années dans le numérique, l'ayant abordé à la fois comme objet, outil et terrain (Pasquier, 2020:8) comme l'illustre la carte [*num*]. Le point de départ est ainsi une activité professionnelle qui s'est inscrite dans la continuité d'une étude sur la convergence attendue entre trois secteurs d'activités, l'audiovisuel, les télécommunications et l'informatique, qui s'ignoraient à la fin des années 1980. Ces trois secteurs dans lesquels la technique est omniprésente se sont développés pour se rejoindre sous la bannière du numérique, mettant ainsi les



C1 — [num] — numérique

11. Source : https://www.blogdumoderateur.com/internet-reseaux-sociaux-2020/

organisations, de plus en plus communicantes, en réseaux dans ce milieu numérique. Bruno Bachimont a soulevé l'importance des enjeux épistémologiques et phénoménologiques que pose le numérique comme milieu (Bachimont, 2015), après avoir considéré une nouvelle raison, la *raison computationnelle*[12] (Bachimont, 2004), dans la prolongation de la *raison graphique* (Goody, 1979). Dans ce contexte, le cœur de notre recherche est le rapport entre l'organisation de l'information et la transformation de l'organisation, problématique modélisée dans la partie *0. Cadrage*. C'est dans cette introduction détaillée que nous présentons le corps d'hypothèses, le cadre épistémologique et les terrains d'application. Précisons simplement notre question de recherche : « *Comment organiser l'information pour une transformation de l'organisation (en réseau) en harmonie avec son environnement (à l'ère numérique) ?* » et l'hypothèse centrale associée « *un nouveau modèle de représentation de l'information est nécessaire pour comprendre la transformation numérique* » qui s'appuie sur une hypothèse de départ, « *l'information est un vecteur de transformation* ».

Cette recherche s'inscrit résolument dans le courant de la *transdisciplinarité* (Nicolescu, 1996) c'est pourquoi les *sciences de l'information et de la communication*, née de la pensée systémique, nous ont paru les plus aptes pour accueillir notre sujet d'étude. Nous ferons cependant appel à de nombreuses autres disciplines. Ce point de vue sera développé dans le *Cadrage*, conduisant à l'usage et la dérivation d'un outil d'analyse du systémicien Francis Bailly (2011) *l'anneau des disciplines*.

Le corps principal du document est constitué de trois parties : 1. *Exploration par questionnement*, 2. *Proposition de modélisation* et 3. *Vérification pour corroboration*. Prolongeant la métaphore photographique, le *Cadrage* précède la prise de vue qui sera faite en partie 1, explorant les connaissances sur les composantes de notre sujet, pour acquérir et présenter une vision personnelle de l'*état de l'art*. Nous prendrons ainsi quatre clichés, interrogeant au filtre de l'*anneau des disciplines* les

12. Nous reviendrons plusieurs fois sur cette théorie qui nous apparaît centrale, dans la partie 1, au § 1.14. et § 1.3.7 et la partie 2 au § 2.4.4

concepts polysémiques que sont l'*information*, la *transformation*, l'*organisation* et la *représentation*. Cette étude nous a permis de faire émerger une proposition de modélisation. La partie 2, *Proposition*, se passe au Laboratoire. Elle consiste à développer, révéler les films. Elle présente ainsi cinq représentations. Il s'agit d'une construction centrée autour de deux modélisations symétriques, l'une représentant les principes de la transformation, l'autre les principes de l'organisation. Trois autres en sont dérivées; elles ont une vocation opérationnelle : un instrument d'analyse, un langage de description, une méthode d'analyse. Numérotées de R1 à R5, elles forment l'esquisse d'une nouvelle approche de l'architecture de l'information. La partie 3, *Vérification*, est assimilable à l'exposition de nos travaux. Elle évalue la pertinence de ces modélisations selon trois axes orthogonaux. Le premier axe est théorique, et la validation hypothético-déductive. Il interroge des concepts et modèles existants, apportant un nouvel éclairage par nos représentations, et révélant leurs propriétés heuristiques. Le deuxième axe est pragmatique. Il présente trois validations sur le terrain avec des organisations en réseau accompagnées dans leur transformation numérique qui nous ont donné l'occasion de mettre en œuvre, à différents niveaux, ces cinq représentations. Tout comme l'étude exploratoire, ces projets ont participé à l'élaboration de notre proposition, sur un mode itératif. Nous avons cependant utilisé nos modélisations avec modération, dépendant de la temporalité de ces projets, sur lesquels nous n'avions qu'une faible maîtrise. Malgré cette limite, les résultats nous ont paru être suffisamment encourageants pour être reportés. Le troisième axe était parfaitement inattendu. La validation qui est cette fois abductive a émergé d'une tentative de matérialiser nos concepts et représentations. Mise en œuvre à plusieurs reprises, cette pratique s'est révélée particulièrement fructueuse.

La *Conclusion* est présentée symétriquement à l'introduction, découpée en deux blocs. La partie 4, *Critiques et Perspectives*, correspond aux échanges et débats qui suivent l'*exposition*. Elle aborde avec un regard critique les multiples suites envisagées, pour terminer sur une conclusion allégée, sous la forme d'une *Réouverture*. Les *Annexes* regroupent le code de 4 programmes informatiques. Ces

programmes ont permis d'affiner les représentations proposées, aidant à donner forme à nos idées sur l'hypothèse d'une onde organisationnelle sous-tendant le développement psychosocial de l'individu. Signalons également l'existence de planches de cartes qui illustrent une de nos méthodes de travail, faisant appel à la pensée visuelle. Elles constituent un *catalogue*, régulièrement actualisé, outil de travail central dans l'élaboration de la modélisation, permettant de naviguer dans les différentes dimensions prises en compte, comme les axes d'analyses et les niveaux d'organisation. Ce catalogue comptabilise plus de 800 cartes, dont environ un tiers illustrent ce document, les autres n'ayant pu être intégrées pour rester dans une limite de taille acceptable, voire étant encore à l'état de simples notes préparatoires, exploitables dans de prochaines communications.

Le second encadré E2, exploite nos résultats de recherche pour proposer une vue synoptique sur l'architecture de la thèse.

L'introduction se poursuit donc par la partie 0, *Cadrage de la recherche*.

E2 — Architecture de la thèse

I. Le *Corps de la thèse* se découpe en :

une *introduction* en deux parties :

Ouverture	*8 p.*	*pp. 13–20*
0. *Cadrage de la recherche*	*52 p.*	*pp. 21–72*

trois parties principales, la troisième étant divisée en trois sous-parties :

1. *Exploration*	*124 p.*	*pp. 73–196*
2. *Proposition*	*120 p.*	*pp. 197–316*
3. *Evaluation*	*152 p.*	*pp. 317–468*
3.1. *hypothético-déductive*		*p. 322*
3.2. *expérimentale*		*p. 373*
3.3. *abductive*		*p. 414*

une *conclusion* en deux parties :

4. *Perspectives*	*50 p.*	*pp. 469–518*
Réouverture	*9 p.*	*pp. 519–527*

II. Les *Index*, contiennent :

des cartes, encadrés, figures, photos, schémas et tableaux regroupés dans les

Illustrations	11 p.	pp. 528–538
Mots-clés	7 p.	pp. 539–545
Bibliographie	38 p.	pp. 546–583

III. Les *Annexes*, constituées de :

4 programmes informatiques	17 p.	pp. 584–600

0. Cadrage de la recherche

0.0. Introduction du cadrage

Le *Cadrage* constitue l'introduction détaillée de notre recherche. Elle complète l'*Ouverture*. Prolongeant la métaphore photographique, le cadrage précède la *prise de vue* qui sera faite en partie 1, Exploration, nous apportant une vision personnelle de l'état de l'art sur cette recherche : la transformation des organisations, dans le contexte des organisations en réseau, à l'ère numérique. La partie 2, Proposition, se passe au *laboratoire*. Elle consiste à développer, révéler et fixer les films. La partie 3, Vérification, est assimilable à l'*exposition* de nos travaux. La partie 4, Critiques et Perspectives, correspond au *débat* qui s'en suit.

Pour le cadrage, nous commençons par en approfondir le contexte, cette recherche étant issue et nourrie d'une expérience professionnelle. C'est pourquoi nous commençons par résumer notre parcours, présentant en particulier notre expertise en *architecture de l'information*, afin d'introduire la problématique et l'axe d'approche. Nous précisons ensuite le sujet, la question de recherche et le corps d'hypothèses. La présentation du cadre épistémologique définit ensuite le cadre théorique ainsi que la démarche méthodologique. Nous précisons également le fil conducteur avant de terminer cette introduction générale par la présentation du terrain d'application.

0.1. Contexte

0.1.1. Parcours professionnel et retour d'expérience

Cette recherche s'appuie sur une expérience professionnelle en *architecture de l'information*, concept que nous approfondissons ci-après. L'acquisition de cette compétence durant notre parcours professionnel fut progressive. Nous en précisons quelques phases clés afin d'éclairer notre sujet de recherche.

De formation initiale technique et généraliste, dans le domaine de la production avec la spécialisation énergie, nous étions initialement intéressé par l'image fixe et animée, photographie et cinéma. Également curieux du potentiel de l'informatique, suite à nos études d'ingénieur (Arts & Métiers, An185[13]), nous avons alors étudié à l'université (Censier, Paris III) la convergence attendue entre les secteurs de l'audiovisuel, de l'informatique et des télécommunications (Lacombe, 1989). Ce cursus nous a donné l'opportunité de rencontrer un des pionniers de la réalité virtuelle, Jaron Lanier, lors du salon *Imagina* organisé par Philippe Quéau. Ces deux experts nous ont sensibilisé au potentiel créatif du numérique. Philippe Quéau faisait l'éloge de la simulation (1986), théorisait cet art intermédiaire (1989) et explorait le virtuel (1993). Compositeur et chercheur en informatique, Jaron Lanier poursuivait quant à lui des travaux initiés à la Nasa (Krueger, 1991), et présentait deux produits de sa société VPL Research, VPL signifiant *Virtual Programming Languages*, un gant et une combinaison collecteurs de données : le *data glove* et le *data suit*. A cette époque, le marché de la réalité virtuelle était inexistant — VPL a fait faillite en 1990 — nous avons débuté notre activité professionnelle dans un autre secteur émergent, celui du **CD-ROM**, de l'anglais *Compact Disc Read Only Memory* signifiant disque compact en lecture seule. En 1990, ce support était considéré comme une « technique de pointe »[14]. Dans l'encadré E3, nous en

13. Cette notation en vigueur à l'ENSAM, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers signifie, études au centre d'Angers dans la promotion 1985

14. Durant notre scolarité, nous avions lu à leur parution l'intégralité des fascicules de *L'encyclopédie des techniques de pointe*, constituant un ouvrage de vulgarisation en 9 volumes, paru aux éditions Alpha dans les années 1980.

rappelons quelques caractéristiques et le contexte de son développement en abordant les principaux enjeux associés.

E3 — Bref historique CD-ROM et de ses enjeux

Dérivée du CD-Audio, Le CD-ROM a révolutionné le stockage d'information par sa volumétrie. Avec une capacité de 700 Mo, il permet en effet de stocker le contenu d'une bibliothèque sur un disque optique en polycarbonate de 12 cm ne pesant que 15 grammes. Le CD-ROM a ainsi été considéré comme un nouveau papyrus porteur d'un immense potentiel, comme l'annonçaient les deux ouvrages de référence sur cette nouvelle technologie (Lambert & Ropiequet, 1986; Ropiequet, 1987). Citons simplement l'introduction de Bill Gates dans le premier : « *Microsoft is extremely excited about the vast potential of this emerging technology" et l'annonce du second "CD-ROM, with its high storage capacity, durability, and low cost, is leading the information age into a new era.* » Ces affirmations n'étaient pas que des simples slogans publicitaires et ce nouveau support s'est rapidement positionné en concurrent d'autres supports, tel le papier et le microfilm, bien que ses caractéristiques techniques n'étaient pas toutes connues, en particulier sa durée de vie. L'émergence d'un nouveau support à fort potentiel appelait donc à repenser l'organisation de l'information. Mais avec des impacts sur la chaîne de production des contenus, leur diffusion, jusqu'à leur archivage il appelait évidemment une transformation du modèle économique de l'organisation.

D'où une première question, liée à l'usage de ce média : « Q1. *comment organiser l'information pour en optimiser l'accès pour l'utilisateur ?* » Avec un débit de 150 ko/s, relativement lent par rapport aux autres supports de mémorisation tels le disque dur et la mémoire de travail ou RAM, de l'anglais *Random Access Memory* signifiant mémoire à accès non séquentiel, la question était cette fois liée à la contrainte physique de lecture de ce support : « Q2. *comment organiser les données pour obtenir des temps d'accès acceptables pour l'utilisateur ?* » Le CD-ROM posait ainsi un double défi d'accès au contenu, humain d'une part sur les usages possibles de ce média, technique d'autre part, sur les limites fixées par la

technologie. Notons que ces dernières ne dépendait pas que du support mais également des technologies liées à sa lecture : au fil des années, la vitesse d'origine a été plusieurs fois doublée (x2, x4, x8, x16...), le support est devenu réinscriptible, les algorithmes de codage et décodage du signal (codec) se sont améliorés, ouvrant de nouvelles possibilités comme la consultation de vidéos en plein écran.

S'il est évident que les progrès technologiques font évoluer les organisations, celles-ci étaient déstabilisées par leur rapidité. Citons trois facteurs à titre d'exemple : la baisse du prix des graveurs de cd-rom, divisé par 5000 en quelques années, partant d'environ 500 000 francs pour un poids de plus de 100 kg en 1990; la multitude des formats et standards de mémoires optiques qui cherchaient leur marché, comme le LaserDisc, ancêtre des CD et DVD, le Data Discman de Sony (CD-ROM de 8 cm), le CD-Interactif de Philips ou le CD-Photo de Kodak; la concurrence avec les supports traditionnels comme le disque vinyle pour le son, la pellicule argentique pour l'image, le microfilm pour les archives, mais surtout le papier.

Notons que pendant la durée de commercialisation de ces mémoires optiques, aucune organisation standard des informations multimédias n'a réussi à s'imposer. Cette situation est à comparer avec celle qu'a connu précédemment le livre, avec le remplacement progressif du *volumen* par le *codex*, qui mit cependant près de quatre siècles à s'imposer (Melot, 2006:20). Cette nouvelle forme d'organisation du livre introduisit un lot de nouveaux concepts La page, la reliure et la numérotation, la couverture et le titre, la table des matière ainsi que les index sont des marqueurs qui servent de repères pour faciliter l'accès à l'information, et dont le fonctionnement est assimilé dès l'enfance à l'école. C'est un des multiples pouvoirs du papier (De Biasi & Guillaume, 1997) qui répond de manière équilibrée aux deux axes relevés par la **médiologie**[15], « Communiquer », essaimer l'information dans l'espace, et « Transmettre », veiller à son passage à

15. Théorie des médiations techniques et institutionnelles proposée par le philosophe Régis Debray

travers le temps (Gaillard & Bougnoux, 2001).

Sur un CD-ROM ces repères n'existant pas, tout était à inventer. Considérant que chaque média est porteur de nouvelles promesses (Mc Luhan, 1968), nous étions attachés à valoriser les contenus par l'organisation de l'information la plus adaptée.

Avant d'approfondir le concept d'information et ses différentes acceptations en partie 1, précisons dès à présent la différence entre les deux termes, *donnée* et *information*. Selon la définition de l'AFNOR, Association Française de Normalisation, « *une* **donnée** *est un fait, une notion, une instruction représentée sous une forme conventionnelle convenant à un traitement, soit par l'homme, soit par des moyens automatiques* » (DESIC:202). L'**information** fait sens pour l'utilisateur, elle est constituée d'un regroupement de données, signes ou ensemble de signes sans attribution de sens (DESIC:297).

Face à la rapidité d'évolution des technologies numériques, les éditeurs de contenus étaient donc confrontés à un double risque d'investissement, s'engager trop tôt sur des technologies dont la pérennité n'était pas assurée, ou trop tard sur un marché déjà occupé voire verrouillé par les pionniers. Une expérience a particulièrement bien illustré le rapport entre organisation de l'information et transformation de l'organisation. Il s'agit d'un projet emblématique de notre parcours, le portage de l'*Encyclopædia Universalis* sur CD-ROM.

Sur la version papier, la consultation des articles écrits par 6 400 auteurs spécialistes de leur discipline se faisait principalement à partir des 50 000 entrées du thésaurus-index. Le CD-ROM a permis un accès direct à l'ensemble des mots contenus dans les 23 000 pages. Selon le directeur éditorial, ce nouveau mode de recherche permettait de découvrir des pépites cachées, auparavant introuvables car non présentes dans l'index. La pépite pouvait n'être cependant qu'un simple *Schtroumpf*, perdu dans un texte mentionnant le parc d'attraction éponyme. Cette amélioration de la recherche facilitait également la comparaison. C'est ainsi qu'un

collègue a suggéré l'enrichissement des notices par l'ajout de biographies sur quelques navigateurs célèbres étrangement absents. D'autres manques ou anomalies sont ainsi apparus. Citons par exemple l'usage répété d'un terme dans un article, responsable d'une anomalie dans la pertinence des résultats[16], ou l'hétérogénéité des listes hiérarchisées qui empêchait leur usage comme table d'entrées. Si le premier point pouvait se corriger au niveau du paramétrage de la requête, le second appelait en revanche un travail éditorial conséquent auquel la direction éditoriale ne pouvait répondre sans un investissement spécifique.

Notre activité consistait ainsi à actualiser au mieux les potentiels du contenu et du support, ce que ne faisaient pas systématiquement tous les éditeurs, puisqu'un des concurrents s'est contenté de reproduire les pages de son encyclopédie au format PDF, et n'a pas trouvé son public. Le travail poussé sur l'organisation de l'information a été l'un des facteurs du second succès de l'encyclopédie. En revanche, il appelait plusieurs transformations chez l'éditeur. La première était celle du réseau de distribution de l'encyclopédie papier. Cette transformation n'ayant pas été anticipée, elle a entraîné des conflits croissants entre les actionnaires, et le départ de plusieurs dirigeants. L'arrivée de l'internet appelait également une seconde adaptation de l'organisation. Nous avions en effet à la fin des années 1990 suggéré d'ouvrir l'édition à d'autres auteurs en s'appuyant sur le réseau internet. L'éditeur ne s'est pas saisi de cette idée. Quelques années plus tard, Wikipédia adopta ce modèle. Ce nouveau concurrent fut considéré comme le principal responsable des difficultés financières de la société *Encyclopædia Universalis* qui déposa son bilan en 2014.

Le portage de chaque corpus sur un CD-ROM représente un nouveau défi. Il s'agit d'identifier les axes forts qui permettent de redécouvrir un corpus existant en dévoilant ses faces cachées. Un autre exemple lié au dictionnaire électronique : la possibilité de filtrer les entrées sur une thématique et de croiser ces thématiques,

16. En les nombreuses occurrences du mot *train* dans l'article sur l'*Inde*, employé dans des expressions comme *un train de mesure*, *en train de se produire*, *aller bon train*, plaçaient cet article en tête de liste dans la première édition du CD-ROM, au détriment de celui sur les *Chemins de fer*.

pour ressortir par exemple en quelques clics l'ensemble des termes familiers de marine. Ayant eu l'opportunité de traiter des sources aussi diverses que les archives des brèves de l'Agence France Presse, des textes de lois, décrets, arrêtés, notes d'application, et jurisprudences, des bases de données génétiques, nous faisions régulièrement le constat d'une sous exploitation de ces corpus, qui appelait selon les cas une remise à plat de la stratégie, des investissements, un changement d'habitudes. Que l'activité éditoriale soit centrale ou annexe, nous avons ainsi régulièrement constaté que les opportunités offertes par l'information numérique n'étaient pas saisies. Dans la variété des usages possibles, un seul prédominait, souvent celui dérivé d'un usage sur un autre support, en l'occurrence le papier. Ce phénomène n'est pas propre au support CD-ROM, chaque nouveau média ou nouvelle technologie met du temps à trouver son positionnement. A titre d'exemple, le cinéma s'est libéré du théâtre filmé et n'a trouvé ses modes d'expression qu'après l'exploration de l'art du montage avec un cinéaste comme Eisenstein (Aumont, 1979).

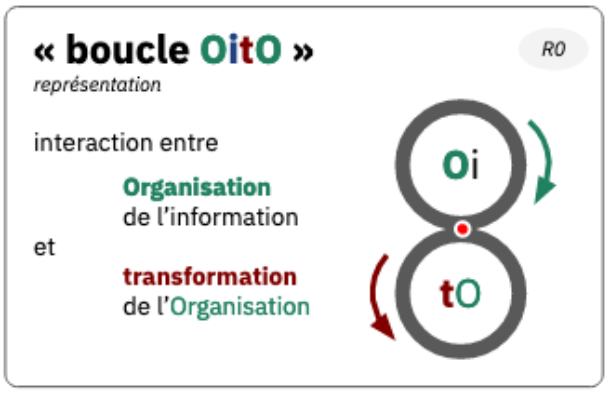
Le frein économique était le premier invoqué pour justifier le manque d'engagement dans la transformation de l'organisation mais il n'était que la compilation de plusieurs facteurs. Concernant la structuration des bases de données, au cœur des systèmes d'information, il est évident que l'intervention sur les fondations représente un coût élevé, surtout si l'architecture du système n'a pas été suffisamment modularisée. Mais en traitant cette diversité de corpus, nous avons surtout remarqué l'absence de vision de leurs exploitants qui identifient rarement les invariants sur lesquels il est judicieux de s'appuyer pour multiplier les accès. Richard Saul Wurman distingue ainsi 5 grandes façons de structurer l'information (Rendgen, 2012:96) que résume l'acronyme LATCH, pour Lieu, Alphabet, Temps, Catégorie, Hiérarchie : les éléments sont organisés de façon spatiale, alphabétique, chronologique, divisés en classes, ou classés par priorités. Cette vision graphique se doit évidemment d'être complétée par les possibilités de l'hypertexte et de l'hypermédia (Nielsen, 1990), et de prendre en compte les apports de la discipline de l'organisation (Glusko, 2013).

Il est vrai que le passage du papier au numérique représente un véritable changement de paradigme puisque l'information numérique n'est pas directement accessible mais organisée dynamiquement par les algorithmes. Cette médiation par le code appelle une théorie des médias : « *il faut donc apprendre à brosser à rebrousse-poil le médium, apprendre à désapprendre ce qu'on croyait savoir à son sujet et réapprendre à le voir sous un jour nouveau* » (Mersch, 2018:271).

Ce premier retour d'expérience n'a fait qu'être confirmé lorsque nous avons abordé d'autres médias, comme l'internet et le mobile (Lacombe, 2018), car chacun offrait de nouvelles opportunités et posait de nouveaux défis, reliant à chaque fois organisation de l'information et transformation de l'organisation. Nous avons alors formalisé cette problématique.

0.1.2. Formalisation de la problématique : la « boucle OitO »

Nous illustrons la problématique qui a émergé de notre activité professionnelle à l'aide de la « **boucle OitO** », illustrée par la carte [*R0*], qui modélise la relation de réciprocité entre deux processus d'organisation de l'information et de transformation de l'organisation à l'image d'un engrenage. Un fonctionnement normal se formalise par un enchaînement de ces deux processus Oi → tO → Oi → tO → …



C2 — [R0] — « boucle OitO »

Cette représentation illustre différents dysfonctionnements possibles comme le blocage ou l'emballement d'une des deux roues, mais aussi le frottement source d'échauffement dans une métaphore mécanique. tO peut ainsi être un facteur limitant de Oi, et réciproquement. Ce schéma traduit notre première hypothèse descriptive :

> **H1d.** une interdépendance entre l'organisation de l'information et la transformation de l'organisation

Il illustre également les deux voies complémentaires à suivre pour *dégripper* cet engrenage. La première consiste à étudier le pilotage de la transformation, comme l'a fait par exemple Daniel Bonnet en environnement de coopération inter-organisationnelle (Bonnet, 2007). En nous focalisant sur l'organisation de l'information, nous nous engageons sur la seconde voie. Cette relation entre Oi et tO nous conduit à avancer l'hypothèse explicative suivante :

> **H1e.** l'information est un vecteur de transformation

Précisons pour commencer ce concept d'*organisation de l'information*.

0.1.3. Organiser l'information, le rôle de l'architecte de l'information

Le besoin d'organiser l'information sous-entend au moins quatre propositions, numérotées de p1 à p4 :

- p1. l'information n'est pas naturellement organisée,
- p2. l'information ne s'organise pas (toujours) automatiquement,
- p3. il existe plusieurs façon d'organiser l'information,
- p4. l'organisation de l'information dépend de l'information à organiser.

Le premier point sera approfondi dans la première partie, en explorant d'une part le concept d'information, d'autre part celui d'organisation. Du second nous déduisons que l'information doit parfois être organisée, et pouvons alors supposer que ce travail est le fruit d'une communication entre plusieurs acteurs. Ce point est lié avec le troisième, le préciser permet de mieux cibler notre domaine d'intervention. L'organisation de l'information est à distinguer de l'organisation des données et de l'organisation de la connaissance. L'*organisation des données* relève d'une problématique technologique. Elle est du ressort de l'informatique pour les données numériques. Différents cas sont à distinguer : s'il s'agit de répondre à une problématique de stockage, nous entrons dans le domaine des bases de données; s'il s'agit d'une problématique de transfert, nous sommes dans celui des réseaux. Une information sous sa forme procédurale, par exemple un algorithme, relève également du domaine informatique et sera traité au niveau du logiciel. L'*organisation des connaissances* se situe à un niveau aval, la connaissance étant une information déjà organisée. Elle est traitée par des SOC, *Systèmes d'Organisation des Connaissances*, axe des SIC, *Sciences de l'Information et de la Communication* (DRSIC:155). Nous approfondirons ces différents points entre données, informations et connaissances dans le § 1.1.4. *Organiser l'information* peut signifier d'une part organiser sa forme, d'autre part son fond. Si la distinction entre les deux n'est pas toujours franche, les deux pouvant se faire en parallèle, les compétences sollicitées sont différentes. L'organisation de la forme est une

question de mise en valeur. Elle peut faire appel à des métiers différents, selon la modalité considérée : *éditeur* dans le cas du texte, *graphiste* pour l'image, *monteur* pour la vidéo, *arrangeur* dans le cas du son, sachant qu'encore une fois les limites restent théoriques, en particulier si l'on considère le multimédia. L'organisation du fond relève du domaine de l'*architecture de l'information*, sur lequel nous apportons quelques précisions en complément de celles données à l'Ouverture.

L'**architecture de l'information**, abrégée en AI en français ou IA en anglais[17], fait partie de ces spécialités qui ont émergé progressivement au cours des années 1990, avec le développement du réseau internet. La paternité de ce concept est attribuée à R.S. Wurman, architecte et designer graphique, qui en 1976 a proposé cette définition : « *Information architecture is the practice of deciding how to arrange the parts of something to be understandable.* » (The IA Institute)[18]. On notera sa double compétence, designer graphique et architecte, qui illustre l'artificialité mentionnée précédemment entre forme et fond, auquel il faut rajouter la dimension procédurale gérée par l'informaticien. Cette distinction est à comparer à celle faite dans le bâtiment entre les différents métiers, ingénieur, architecte (structure), architecte d'intérieur, décorateur. Les notions fondamentales de l'AI ont été précisées une vingtaine d'années plus tard, puis régulièrement reprécisées avec le développement de l'internet (Morville & Rosenfeld, 2006:5)[19] :

- information : à distinguer de données et connaissances
- tâches : structurer, organiser et nommer
- enjeu : trouver et gérer l'information
- à la fois art et science : repose sur l'expérience, l'intuition et la créativité

Se développant avec le Web, l'architecture de l'information s'est équipée d'une méthodologie avec Jesse James Garrett : son diagramme « *The Elements of User Experience* » propose un découpage du site web en cinq couches, de l'abstrait au concret : la couche stratégique définit les besoins de l'utilisateur et les objectifs du

17. A distinguer de l'Intelligence Artificielle, dont les abréviations sont inversées
18. The IA Institute : https://www.iainstitute.org/what-is-ia
19. Nous faisons référence à la troisième édition, la première date de 1998

site, celle de cadrage spécifie les fonctionnalités, la couche structurelle le design d'interactions et l'architecture de l'information, le design d'interface et de la navigation est traité sur la quatrième couche, en surface la couche perceptive définit le design visuel et plus généralement sensoriel (Garrett, 2002). Centrée sur l'utilisateur, cette méthodologie ne prenait pas en compte l'ubiquité, que nous traitions déjà avec la diffusion multi-supports. C'est avec le développement de la mobilité que l'architecture de l'information a intégré la dimension pervasive (Resmini & Rosati, 2011). Ce point sera développé dans l'encadré E41, en relation avec les cas d'usage — cf. § 3.2.3.1.

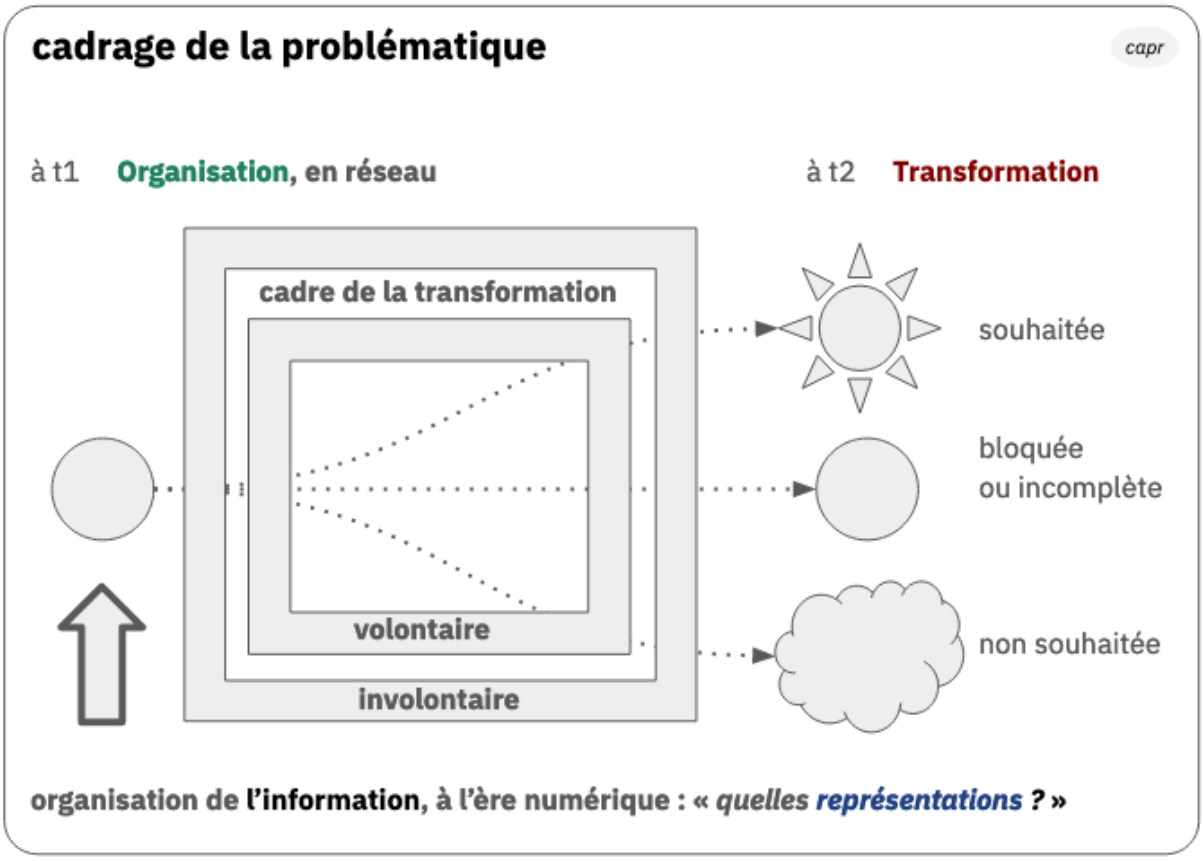
L'AI est aujourd'hui considérée comme un concept émergent des SIC (Chartron et al., 2014) qui est lié au passage des données en informations, puis en connaissances. L'architecture de l'information reste une discipline exigeante, complexe à maîtriser puisqu'elle mixe trois types de compétences (Chartron et al., 2014) : conception technique des dispositifs, organisation des contenus, design orienté utilisateur. La seule formation dispensée en France, à l'université Claude Bernard Lyon 1 par Jean-Michel Salaün et Benoît Habert au niveau master, a rencontré des difficultés à se pérenniser[20]. Elle n'a été dispensée que de 2012 à 2016. L'AI est également en relation forte avec le design : « *La pratique du design permet de penser l'AI* » (Beyaert-Geslin, 2018:165), « *Le design revendique sa place en SIC en mettant en avant son expertise du projet, du social et des interactions* » (*ibid*., p.167).

Les questions que nous nous sommes posées progressivement lors de notre parcours illustrent la complexité du numérique. Elles justifient également un déficit généralisé d'une compréhension globale du numérique. L'aborder par une seule de ses dimensions, qu'elle soit économique, sociale ou technique ne permet pas de mesurer l'ampleur des transformations induites. Pour éclairer notre problématique, nous faisons donc le choix d'une *approche pluridisciplinaire*, qui nous apparaît nécessaire et que nous commençons par cadrer.

20. Cf. http://archinfo.universite-lyon.fr/bienvenue-sur-le-site-du-master-architecture-de-l-information-312469.kjsp

0.1.4. Cadrage de la problématique

La carte [*capr*] illustre les points clés de la problématique. Le point de départ, au temps noté *t1*, une organisation en réseau s'apprête à subir une transformation. Cette dernière sera partiellement volontaire et partiellement involontaire, déclenchée par l'organisation de l'information, qui suppose donc le choix d'une « Représentation ». Une **représentation** est « *ce qui rend perceptible ou intelligible dans l'espace de la communication et de la sociabilité* » (DESIC:474). Au temps noté t2, la transformation sera considérée selon sa trajectoire comme souhaitée, bloquée ou incomplète, voire non souhaitée.



C3 — [capr] — cadrage de la problématique

0.2. Problématique

La problématique vise à formuler notre question de recherche, qui se dessine à partir du cadrage précédent, complété par les deux postulats suivants : a) la transformation des organisations est à considérer dans le champ élargi de la métamorphose numérique; b) le numérique est la source d'une révolution cognitive pour laquelle nous manquons de repères. Le premier apparaît aujourd'hui comme une réalité puisque le numérique « *irrigue aujourd'hui les moindres replis de notre société, que ce soit dans les domaines professionnels, transactionnels, domestiques ou relationnels*. » (Robert, 2016) Le second découle du premier d'autant que selon le phénomène d'**encorporation** traduction proposée pour *embodiment* (cognition incarnée), l'usage du numérique modifie nos schémas mentaux. Cela est constaté aujourd'hui par les enseignants et médecins : des enfants en très bas âge surexposés aux écrans pourraient même présenter des retards de développement, des troubles du comportement et des *troubles du spectre autistique* (TSA)[21]. Notre question de recherche s'exprime ainsi :

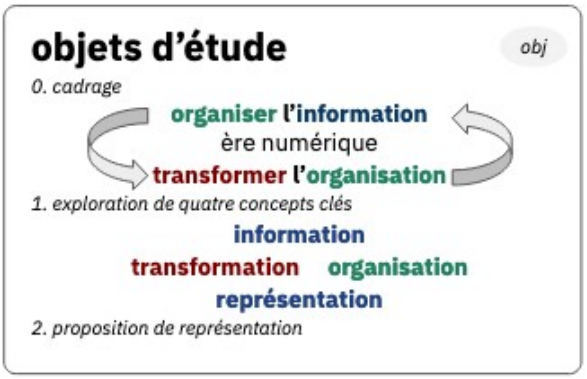
> « *Comment organiser l'information pour une transformation de l'organisation (en réseau) en harmonie avec son environnement (à l'ère numérique) ?* »

Pour y répondre, nous identifions un premier besoin, celui de définir plus précisément quatre objets d'étude, à qualifier, et si possible quantifier, dans l'espace et le temps :

- l'*information*
- l'*organisation*, en tant que verbe et substantif
- la *transformation*, en particulier dans un *milieu numérique*, en considérant différents modes, échelles et rythmes
- la *représentation*, du point de vue de la modélisation et du design

21. Voir le débat autour de l'*autisme virtuel* : https://fr.wikipedia.org/wiki/Autisme_virtuel Et si l'augmentation de ces troubles semble décorrélée de l'élargissement des critères diagnostiques, l'effet du numérique n'est cependant pas que négatif, cf. http://www.canalautisme.com/itasd---autisme--ce-qui-change-avec-le-numeacuterique.html

Représentés sur la carte [*obj*], ils nous amènent à préciser notre sujet de recherche.



C4 — [obj] — objets d'étude

0.3. Sujet de recherche

Un sujet de recherche est composé d'un objet de recherche dans un contexte. Le contexte est celui de l'ère numérique, précédemment introduit. Notre objet principal de recherche est donc la *transformation des organisations*, le champ d'application étant celui des organisations en réseau. Notre fil conducteur est l'organisation de l'information.

0.4. Hypothèses

Le constat précédent nous a conduit à formuler une première hypothèse, l'information comme vecteur de transformation, qui est la source de notre hypothèse centrale. Par vecteur, nous faisons référence aux définitions du CNRTL, à la fois au sens mathématique « I.A. - *segment de droite orienté* » et au sens figuré « I.E. - *ce qui transmet quelque chose* » pour signifier que l'information porte et oriente la transformation. Celle-ci se décompose en deux, une hypothèse basse et une hypothèse haute. L'hypothèse basse est la suivante :

> « *Un nouveau modèle de représentation de l'information est nécessaire pour comprendre la transformation numérique.* »

S'appuyant sur notre hypothèse basse, l'hypothèse haute se formule ainsi :

« *Un nouveau modèle de représentation de l'information aiderait à piloter la transformation numérique.* **»**

Ces hypothèses se déclinent en un corps d'hypothèses. Il s'est construit progressivement durant la recherche, autour de nos objets de recherche, suivant la méthode des sciences humaines : observer, décrire, interpréter (Charlier & Moens, 2007). L'observation nous conduit à formuler une hypothèse descriptive qui, après interprétation, génère une hypothèse explicative. La finalité opératoire de notre travail nous conduit alors à compléter cette interprétation par quelques recommandations. Celles-ci devraient permettre la mise en œuvre d'une **approche qualimétrique**, concept issu de la recherche en *Sciences de Gestion*, qui combine information qualitative et quantitative pour observer l'objet complexe (Savall & Zardet, 2004). Nous en sommes cependant resté à l'approche qualitative, nous appuyant sur ces recommandations pour guider nos interventions terrains. En effet, face à la transversalité de notre approche, à l'évolution itérative de notre proposition (cf. partie 2) et au changement de paradigme qu'elle induit, nous n'avons pu mettre en œuvre les méthodologies habituelles[22]. Nous avons donc utilisé une méthodologie *ad-hoc*, inspirée des **méthodes agiles[23]**, qui s'appuie sur l'itération par petits pas, abordant les problématiques par cercles concentriques, en traitant en premier la dimension humaine, en second la dimension informationnelle, et en troisième la dimension technologique, chacun de ces pôles étant abordé en contexte. Ainsi, notre travail de validation consiste non pas à une vérification, ce qui présuppose l'acceptation d'un principe de vérité, mais à une *corroboration*. Ce terme neutre exprime « *le degré auquel une hypothèse a résisté à des tests sévères et a ainsi fait ses preuves* » (Popper, 1973:256). De ce fait, nous obtenons un niveau d'acceptation, en mesure d'évoluer par la suite. Pour en faciliter la lecture, nous présentons l'ensemble des hypothèses dans le tableau T1.

22. Par exemple, l'étude longitudinale couramment utilisée en sociologie ou psychologie
23. Pour plus d'information, se référer au Manifeste Agile, dont la version française est disponible en ligne : http://agilemanifesto.org/iso/fr/manifesto.html

T1 — Question de recherche et hypothèses

<table>
<tr><td colspan="2">*Question de recherche* : « Comment organiser l'information pour une transformation de l'organisation (en réseau) en harmonie avec son environnement (à l'ère numérique) ? »</td></tr>
<tr><td colspan="2">*Hypothèse basse* : « Un nouveau modèle de représentation de l'information est nécessaire pour comprendre la transformation numérique. »</td></tr>
<tr><td colspan="2">*Hypothèse haute* : « Un nouveau modèle de représentation de l'information aide à piloter la transformation numérique. »</td></tr>
<tr><td colspan="2">*Corps d'hypothèses*</td></tr>
<tr><td>*Hypothèses descriptives*</td><td>*Hypothèses explicatives*</td></tr>
<tr><td>**H1d**. l'organisation de l'information et la transformation de l'organisation sont en *interdépendance*</td><td>**H1e**. l'information est un vecteur de transformation</td></tr>
<tr><td>**H2d**. la gestion de l'*information* dans sa forme numérique ne s'effectue pas au bon niveau d'organisation (du point de vue de l'humain)</td><td>**H2e**. il manque une modélisation idoine (réellement centrée sur l'humain) de l'organisation de l'information et de la transformation des organisations</td></tr>
<tr><td>**H3d**. la compréhension de la *transformation* est complexifiée par le langage courant et l'usage réducteur de la logique binaire</td><td>**H3e**. la communication est brouillée par la polysémie, la fragmentation en disciplines et la difficulté à accepter *la loi des contraires*</td></tr>
<tr><td colspan="2">*Recommandations*
adopter un nouveau paradigme pour comprendre la transformation des organisations : le paradigme énantiologique de la logique de l'énergie
proposer une représentation *simplexe* de la transformation, centrée sur les processus
développer une codification et des outils pédagogiques pour faciliter leur manipulation et la compréhension de l'énantiologique</td></tr>
<tr><td>**H4d**. l'*organisation* peut se modéliser simplement avec le holon en considérant un nombre réduit de niveaux et des opérations de</td><td>**H4e**. cette modélisation correspond au principe du vivant : la contradiction disparaît en changeant de niveau de représentation et la complexité</td></tr>
</table>

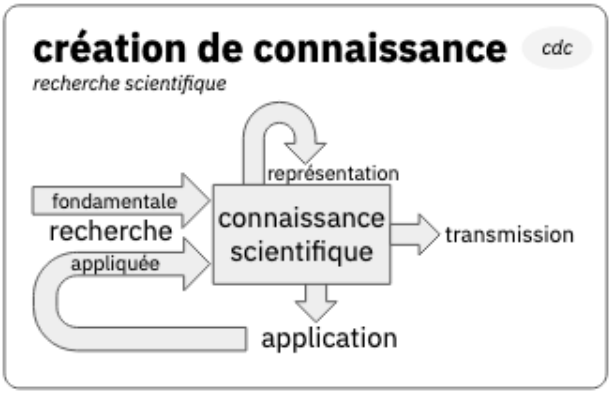
transformation entre les différents niveaux, selon une double approche ascendante et descendante	apparaît par la combinatoire d'opérations élémentaires
Recommandations • proposer un modèle de représentation centré sur l'humain, qui redonne une autonomie individuelle et les clés d'une coopération efficiente • modéliser la transformation des organisations à partir d'une variété réduite de descripteurs et de relations, et d'une schématisation des phases de l'organisation, en prenant en compte les différents niveaux de l'organisation et la complémentarité des points de vue, afin d'analyser les points de bifurcation	

Le cadre épistémologique explique cette démarche.

0.5. Cadre épistémologique

0.5.1. La connaissance de la connaissance

Le cadre épistémologique a pour objectif de positionner le champ de notre recherche, qui a elle-même pour objectif la production de connaissances. L'**épistémologie** s'intéresse exclusivement à la connaissance scientifique. C'est une des composantes de la **gnoséologie**, théorie générale de la connaissance, dont l'**ontologie** — qui se réfère au concept d'être — est une des hypothèses constitutives (Le Moigne, 2012:7). La recherche sur l'organisation de l'information rejoint la recherche sur la **connaissance**, c'est-à-dire la connaissance de la connaissance. C'est une entreprise complexe : « *S'il n'y a pas de fondement certain pour la connaissance, il y en a évidemment pas pour la connaissance de la connaissance* » (Morin, 1986:16). Notre cadre restera donc conjoncturel. Pour éclairer notre angle d'approche, considérons différentes problématiques relatives à la connaissance scientifique. Le découpage illustré par la carte [*cdc*] distingue ainsi trois composantes. La source de la connaissance est double : recherche fondamentale ou appliquée. La destination est également double : son application dans le temps présent et sa transmission dans le futur. De ces interactions résulte la problématique de sa représentation, qui englobe notre sujet.



C5 — [cdc] — création de connaissance

Relevons une tendance dans l'évolution de la connaissance, celle de donner la priorité à la recherche appliquée, par rapport à la recherche fondamentale : « *On est passé de l'époque du questionnement sur les choses, de la recherche du Vrai produite par l'aptitude innée et inspirée de l'homme à savoir, à celle de l'action précise de connaissance avec objectif.* » (Cardon, 2005:16) La raison invoquée étant précisée : « *Le but de la connaissance est aujourd'hui de maîtriser l'ordre des*

phénomènes, de se représenter exactement la façon dont ils se suivent, s'ordonnent, s'enchaînent, et ceci pour pouvoir agir sur eux, pour les infléchir et finalement les conduire. » (Cardon, 2005:16) Nous interprétons cette tendance comme l'évolution d'une aspiration à la connaissance initiée par l'individu vers une gestion de la connaissance pilotée par la société. Notre proposition indépendante de tout cadre applicatif direct nous positionne donc plutôt au niveau de la recherche fondamentale. Nous sommes en effet dans une recherche des fondamentaux de la transformation des organisations. Notons également que nous questionnons la transmission de la connaissance en parallèle à son usage, dans les parties 3 et 4. Dans ce contexte, nous abordons les théories scientifiques et les raisonnements mobilisés. En effet, comme il est naturellement attendu d'une thèse qu'elle s'inscrive dans un cadre défini par la méthode scientifique, nous commençons par interroger ce cadre, ses fondements et processus, afin de préciser notre position.

0.5.2. La méthode scientifique

La **méthode scientifique** est définie comme un ensemble de règles et conventions destinés à guider le processus de production des connaissances scientifiques. Ce processus est une combinaison en proportions variables d'observations, expériences, raisonnements, calculs théoriques. Pour plus de précisions, nous rappelons dans l'encadré E4 la signification des termes *méthode*, *science*, *processus* et *raisonnement*. Revenons également à ses origines en mentionnant ses illustres pères, comme Alhazen (965-1040) ou Roger Bacon (1214-1294). La méthode scientifique s'est construite progressivement, avec des apports complémentaires, comme par exemple ceux de Francis Bacon et René Descartes (Cassan, 2014). Rappelons que *Le discours de la méthode* (Descartes, 1637) avait pour intention l'unité des sciences, d'éviter l'erreur et de découvrir la vérité (Universalis, 1995, vol.7, p.243b-243c). Soulignons que Newton a ensuite fixé la primauté à l'expérience scientifique, contrainte qui s'est imposée pendant plus de deux siècles avant d'être remise en question avec Einstein et sa théorie de la relativité (Charon, 1962:40).

E4 — Définitions de méthode, science, processus et raisonnement

Nous rappelons ci-dessous trois définitions du CNRTL de ces termes, avec leurs différents sens ou variantes. Cf. https://cnrtl.fr/definition/

Méthode : « **I**. PHILO : Manière de conduire et d'exprimer sa pensée conformément aux principes du savoir. [...]

A. – Dans le domaine spéculatif [...] PHILO : Démarche rationnelle destinée à découvrir et à démontrer la vérité [...] *Chez Descartes* : Ensemble des principes requis pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences [...] *Méthode bergsonienne d'intuition*. Démarche proposée par Bergson pour accéder au réel au gré d'une intuition supra-rationnelle. [...] *Méthode phénoménologique*. Démarche prônée par des philosophes post-kantiens pour accéder aux choses en mettant de côté leur existence extra-mentale. [...]

B. – Dans le domaine des sciences expérimentales et d'observation. Procédé d'investigation. [...] *Méthode expérimentale*. Méthode qui requiert l'observation, la classification, l'hypothèse et la vérification par des expériences appropriées aux différentes sciences. [...] *Méthode analogique*. Méthode qui procède en extrapolant d'un domaine à l'autre. [...] *Méthode statistique*. Procédé d'investigation qui requiert l'ensemble des données numériques relatives à une catégorie de faits. [...] »

Science : « *Ensemble structuré de connaissances qui se rapportent à des faits obéissant à des lois objectives (ou considérés comme tels) et dont la mise au point exige systématisation et méthode.* »

Processus : « *Suite continue de faits, de phénomènes présentant une certaine unité ou une certaine régularité dans leur déroulement.* »

Raisonnement : « *Processus cognitif permettant de poser un problème de manière réfléchie en vue d'obtenir un ou plusieurs résultats.* »

Plus récemment, Popper a considéré que la « méthode scientifique » réside

essentiellement dans l'usage du « rationalisme critique ». La connaissance scientifique est humaine donc faillible et réfutable. Il s'agit d'une révolution copernicienne de la science. Les théories scientifiques ne sont plus le support d'un savoir figé omniscient. Michael Polanyi a exprimé leur relativité et, à sa suite, Thomas Kuhn a précisé les conditions de leur remplacement avec le concept de **paradigme scientifique** (Kuhn, 1962). La science s'inscrit dans une culture dont elle ne peut plus être dissociée, d'où l'appel à « une nouvelle alliance » entre science et culture (Prigogine & Stengers, 1986). La science travaille désormais sur des modèles de représentation d'un réel voilé (Espagnat, 1994). Edgar Morin nous signale que la connaissance n'est connaissance qu'en tant qu'organisation, mise en relation et en contexte des informations : nous retrouvons notre problématique. Il en précise le processus générateur : « *Comme toute connaissance vivante, la connaissance humaine est la connaissance d'un individu qui est à la fois produit et producteur d'un processus auto-(géno-phéno-égo-)éco-re-organisateur.* » (Morin, 1986:203)

Pour mieux préciser le contexte de notre problématique relationnelle dans l'organisation de l'information, mentionnons enfin quelques **ruptures épistémologiques** de la science moderne, distinctes des traditionnelles trois *blessures narcissiques*, de Copernic, Darwin et Freud lui-même. (Freud, 1916) La première est la rupture par rapport à la science d'Aristote, en passant du fini à l'infini, c'est-à-dire des lieux à l'espace euclidien. Ce passage du monde clos de la cosmologie antique à un univers infini (Koyré, 2011) a impliqué selon cet auteur une rupture entre le monde des valeurs et le monde des faits. La seconde est le changement d'espace qui n'est plus un repère fixe mais se déforme selon les équations d'Einstein. L'espace devenu courbe redevient potentiellement fini autorisant cependant un parcours infini, comme un déplacement à la surface d'une sphère. Mais les équations présentent des limites, qui correspondent à des singularités, les trous noirs. La théorie évolue et s'enrichit d'hypothèses, définissant des entités non observées jusqu'à présent, comme la matière noire, l'énergie noire ou l'inflation (Stewart, 2014:297). La troisième rupture est dans la continuité de la

seconde, il s'agit de la dualité onde-corpuscule de la physique quantique. Son modèle de description, par les postulats et la fonction d'onde, décrit parfaitement les phénomènes observés. En revanche, la résolution de la fonction d'onde révèle une discontinuité avec le monde macroscopique, tel qu'il nous apparaît ou tel qu'il est mesuré. Le problème est celui de la mesure quantique, qui est double et porte d'une part sur le non déterminisme, et d'autre part, sur la superposition d'états. Si la théorie de la décohérence apporte une réponse partielle en s'appuyant sur la diagonalisation de la matrice densité de Von Neumann, la recherche reste ouverte. Aux multiples tentatives d'explications s'ajoutent même des approches pragmatistes (Bächtold, 2005).

Le véritable problème porte sur la différence entre les concepts utilisés par les deux théories. Par exemple, dans la théorie d'Einstein, le temps et l'espace n'expriment qu'une relation entre les différents états de choses (Rovelli, 2014:105). Une hypothèse est que le temps n'émerge qu'à l'échelle de la thermodynamique (Connes, Rovelli, 1994). Pour améliorer le rapport entre nos systèmes de représentation et le réel, la physicienne Mioara Mugur-Schächter a interrogé les concepts fondamentaux de la physique (Mugur-Schächter, 2006). Mais malgré la finesse et le souci d'exhaustivité de ses travaux, le concept d'objet et l'image traditionnelle d'une relation causale-productive entre objets et appareils ou organes des sens sont conservés (Bitbol, 2010:151). C'est évidemment à une autre échelle que porte notre recherche, mais les théories et modèles précédents sont une source d'inspiration pour trouver une solution *idoine*, c'est-à-dire un référentiel de médiation (Gonseth, 1975) qui permette de mieux comprendre la transformation de l'organisation. Pour cela nous sommes revenu à des **questions élémentaires** — Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Combien, Pourquoi — en privilégiant le Quoi, Comment et Pourquoi, et en appliquant le premier principe de Descartes : « *Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle : c'est à dire, d'éviter soigneusement la Précipitation, et la Prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugements, que ce qui se présenterait si clairement et*

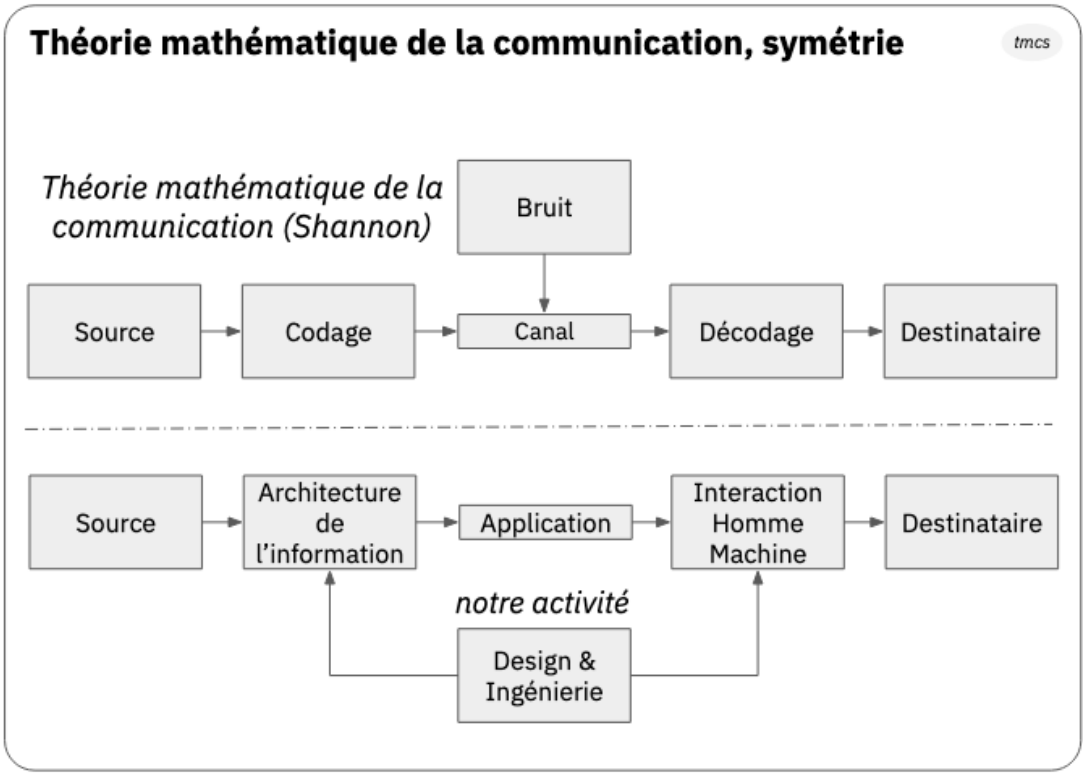
si distinctement à mon esprit, que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute. »[24]

0.5.3. Cadre théorique

Pour préciser le cadre théorique, revenons au point de départ de notre investigation, un questionnement dans le champ du numérique de la notion de représentation, « *action de rendre quelque chose présent à quelqu'un en montrant, en faisant savoir.* » (CNRTL). Le numérique, qui unifie le codage d'un signal avec uniquement des 0 et des 1, nécessite une multitude de traitements pour rendre la donnée lisible par un humain. L'organisation des données numériques amène à poser la question de la relation entre le lecteur humain (destinataire) et le contenu (source), que reconstruit le lecteur machine à partir des données brutes. Cette relation nous a amené à travailler dans deux disciplines complémentaires, que sont l'architecture de l'information et l'interaction homme-machine. Notons par ailleurs que cette activité d'organisation de l'information présente une symétrie par rapport à « *la théorie de mathématique de la communication* » (Shannon, 1948), comme l'illustre la carte [*tmcs*].

Notre intervention est double, ce que traduit bien le terme de « *ingénieur-designer* » (Tagawa et al., 2014). Elle vise ainsi à atténuer le bruit en agissant à la fois en amont et en aval : du côté des données pour organiser l'information, du côté de l'utilisateur afin d'améliorer l'interaction avec l'application. Un premier levier d'intervention est la gestion de la relation entre unités d'informations, la relation étant omniprésente dans le traitement numérique de l'information. Citons trois exemples : dans le modèle relationnel (Codd, 1970) les informations sont stockées dans des tables de relations ; sur le réseau internet, le modèle de navigation entre documents s'appuie sur des liens hypertextes; les bases de données orientées graphes optimisent aujourd'hui le traitement des données fortement connectées. Une relation exprime une interdépendance.

24. Traduction à partir de l'édition en ancien français, disponible en ligne sur Gallica : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b86069594/f24.item



C6 — [tmcs] — Théorie mathématique de la communication, symétrie

Leur multiplicité nous fait entrer dans le champ de la **pensée complexe**[25] (Morin, 1982), concept initié par Henri Laborit lors des réunions du *Groupe des dix* (Chamak 1997). Sémantiquement, le *complexe* est à distinguer du *compliqué*. Si le *simple* permet d'éclairer le *compliqué*, le *complexe* appelle la **simplexité**. Ce concept issu des mathématiques a été retenu pour mettre en évidence les principes fondamentaux du vivant (Berthoz, 2009; Berthoz & Petit, 2014), voir l'encadré E5. Notre l'empruntons pour étudier et l'appliquer aux principes élémentaires de transformation et d'organisation.

La **complexité** est une des composantes du monde dans lequel nous évoluons désormais. Au début des années 1990, l'armée américaine l'a caractérisée à travers l'acronyme VUCA pour *Volatility*, *Uncertainty*, *Complexity*, *Ambiguity*, traduit par volatilité, incertitude, complexité et ambiguïté (Lawrence & Steck, 1991). Ce modèle croise deux axes exprimant d'une part le niveau de compréhension de la situation, d'autre part la probabilité de prédiction du résultat de l'action. L'*ambiguïté* désigne

25. Dans un ouvrage récapitulatif, l'auteur précise : « *Il ne s'agira pas de reprendre l'ambition de la pensée simple qui était de contrôler et de maîtriser le réel. Il s'agit de s'exercer à une pensée capable de traiter avec le réel, de dialoguer avec lui, de négocier avec lui.* » (Morin, 2005:10)

le manque de clarté sur la signification d'un événement, l'*incertitude* le manque de clarté sur la situation présente, la *complexité* la multiplicité des facteurs de décision, et la *volatilité* la fréquence des changements.

E5 — La complexité : simple, compliqué, complexe, simplexe

Définitions issues du CNRTL et de l'ouvrage d'Alain Berthoz (2006) :

- Est *simple* ce qui n'est pas composé, impossible de diviser ou d'analyser
- La *complication* est de l'ordre de la redondance structurelle, emprunt au bas latin *complicatio* proprement « action de plier, de rouler »
- La complexité est une configuration avec (cum) un nœud (plexus) d'entrelacements d'enchevêtrements. Est *complexe* ce qui est composé d'éléments qui entretiennent des rapports nombreux, diversifiés, difficiles à saisir par l'esprit, et présentant souvent des aspects différents.
- La simplexité est l'art de rendre simple, lisible, compréhensible les choses complexes. En mathématiques, et plus particulièrement en géométrie, un simplexe est une généralisation du triangle à une dimension quelconque.

La représentation de la complexité relève de la **modélisation** (Le Moigne, 1990). La modélisation des états nous amène à la question de l'organisation et celle des comportements à la transformation de l'organisation. En questionnant les concepts d'organisation, d'information, de transformation, de représentation, et en privilégiant une approche globale, synthétique et holistique, nous nous positionnons pleinement dans le champ de la **systémique**, dans lequel s'inscrit notre pensée[26]. Pour nos observations, nous serons ainsi conduit à mobiliser différentes théories issus de la systémique, par ailleurs parente des *sciences de l'information et de la communication*, dont nous rappelons les trois phases habituellement distinguées, les deux premières étant considérées comme classiques.

La *première systémique*, la **cybernétique**, est née pendant la deuxième guerre

26. Depuis sa découverte lors de notre formation initiale suite à la lecture du *Macroscope* (De Rosnay, 1975), ouvrage d'initiation à l'analyse systémique.

mondiale, pour résoudre un problème physique de pilotage des missiles anti-aérien en anticipant la réaction du pilote (Wiener, 1948). Il s'agit d'une boucle de rétroaction plus sophistiquée qu'un des premiers mécanismes de rétroaction utilisés dans le domaine industriel, le régulateur à boules de James Watt, qui fonctionne automatiquement, en jouant sur l'opposition des forces gravitaires et centrifuges, application des lois de Newton sur le mouvement. La différence entre ces deux boucles est l'usage d'une mémoire dans la boucle cybernétique : d'une autorégulation nous passons à une régulation pilotée par un agent à partir d'une mémoire. Cette boucle permet de représenter une des caractéristiques du vivant : l'adaptation. Un mouvement de pensées prolifique se développe, les conférences de Macy en furent un vecteur, pour formaliser la systémique (Bertalanffy, 1968) et donner naissance aux sciences de l'artificiel (Simon, 1969).

La *deuxième systémique* se développe à partir de cette période, au début des années 1970, avec la formalisation de concepts nés au XIXe siècle, l'émergence et l'auto-organisation, suite à des travaux menés en parallèle dans plusieurs disciplines, en exploitant les possibilités nouvelles de l'informatique. Citons simplement les travaux du chimiste Ilya Prigogine sur la thermodynamique et les structures dissipatives, et ceux interdisciplinaires sur la sensibilité des systèmes aux conditions initiales, qui se formalisent dans la théorie du chaos. Ces avancées scientifiques reposent les questions du déterminisme et de l'irréversibilité, précédemment soulevées par la physique quantique, dans la continuité des philosophes.

La *systémique de troisième génération* est celle des systèmes sociaux, qui ajoute un niveau de complexité supplémentaire, appelant à prendre en compte des concepts comme l'autonomie et le sens. Elle s'appuie sur des concepts issus de la biologie, comme l'*autopoïèse* (Maturana & Varela, 1980) et l'*énaction* (Varela et al., 1993). Son champ d'étude a été ouvert par des théoriciens de l'organisation, tels l'américain Karl E. Weick et l'anglais Peter Checkland, ce dernier ayant développé la *Soft Systems Methodology* (SSM), en français « méthode douce des systèmes ». Elle

reste à l'état de chantier sur lequel travaillent en particulier les sciences cognitives.

Le paradigme systémique est lié à deux courants de pensée qui ont succédés au *positivisme* : le *structuralisme* et le *constructivisme*. Les variantes de ces mouvements sont multiples. Le premier structuralisme, plutôt statique, prend désormais en compte la genèse dynamique des formes naturelles (Thom, 1977), trouvant ainsi des points de rapprochement avec le constructivisme génétique, porté par Piaget qui donne une place centrale aux opérations de l'intelligence dans la construction des connaissances (Piaget, 2011:99). Nos travaux s'inscrivent dans cette continuité. Le paradigme de la complexité et son approche associée, la systémique, nous invite à prendre en compte, d'une part différents niveaux d'organisation, d'autre part un ensemble de boucles, dans la continuité des recherches d'Edgar Morin sur *La nature de la nature* (Morin, 1977), *La vie de la vie* (Morin, 1981) et *La connaissance de la connaissance* (Morin, 1992). La fécondité du paradigme systémique pose cependant des difficultés linguistiques. Les concepts de l'approche systémique étant employés dans de multiples disciplines, un même concept peut porter des significations différentes. C'est le cas par exemple avec la notion d'information. Les *sciences de l'information et de la communication* ont bien relevé cette variété d'usages en s*ciences physiques*, en *biologie* ou dans les *sciences humaines et sociales*, et sa révision permanente (Leleu-Merviel & Useille, 2008). Nous ferons en particulier appel à la théorie de l'individuation de Simondon pour éclairer ce concept, qui est au cœur de sa théorie (Simondon, 2005).

Conduire sa recherche nécessite, en plus du cadre théorique, une démarche méthodologique. Nous la présentons ci-après.

0.6. Démarche méthodologique

La particularité de notre démarche est d'avoir suivi plusieurs voies parallèles, dont nous exposons les grandes lignes.

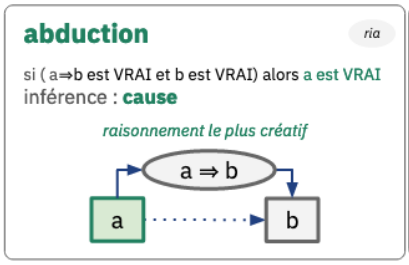
La recherche progresse dans un cadre général fixé par la *méthode scientifique*, dont les grandes lignes ont été définies dans *Le discours de la méthode* (Descartes, 1637). L'analyse cartésienne découpe le problème à traiter en éléments simples. A la réduction succède alors la reconstruction : « *on se fonde alors sur l'organisation, les règles d'interaction et les propriétés des éléments qui composent le niveau inférieur pour expliquer les propriétés du niveau supérieur*. » (Changeux & Connes, 1989:206) Ce double mouvement de simplification puis de généralisation est au cœur de la pensée mathématique. Comme le rappelle Alain Connes, une technique largement employée par les mathématiciens consiste à généraliser un problème par l'introduction d'une variabilité pour le résoudre en partant des cas simples, afin d'arriver progressivement à une conjecture, qu'il ne reste plus qu'à démontrer par récurrence. C'est par exemple l'approche du mathématicien Grothendieck qui, selon son collègue Jean-Pierre Serre, « *laissait les problèmes se dissoudre dans une marée montante de théorie générale* » (Connes, 2018).

L'*approche systémique* est complémentaire : elle garde à l'esprit la globalité et l'interaction. Nous utilisons ainsi les méthodes et outils de la systémique, comme la « triangulation » (Donnadieu & Karsky, 2002:87), qui distingue les aspects structuraux, fonctionnels et historiques, c'est-à-dire comment le système est composé, ce qu'il fait et devient. Le système considéré est observé sous différentes facettes et selon différents angles et distances. Concernant l'interaction, la continuité est gardée à l'esprit, avec en particulier les possibilités d'échanges avec l'extérieur, tout système étant potentiellement ouvert. La notion de boucle est également centrale, prenant en compte leurs combinaisons, et particularités comme la rétroaction, la causalité circulaire, l'ago-antagonisme, les processus de régulation, et au niveau de la temporalité, les synchronismes et diachronismes.

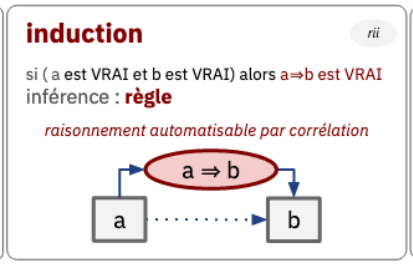
Nous utilisons tout particulièrement l'**analogie** (Hofstadter & Sander, 2013) pour la richesse créatrice de l'usage de la métaphore. Elle est le point de départ de l'abstraction, sont le processus suit deux étapes. L'établissement de l'analogie se fait par identification d'une ressemblance, l'abstraction intervient par gommage des différences. D'autres méthodes créatives sont également sollicitées comme la pensée latérale (De Bono, 2004).

Nous avons également utilisé une méthode **heuristique** — au sens philosophique, « *qui sert à la découverte* » (CNRTL) — en nous appuyant sur l'un de nos résultats de recherche, le « compas sémiotique », présenté dans la partie 2 *Proposition*. Signalons enfin qu'un de nos résultats a clairement été obtenu à la suite d'une transposition, par la vraie **sérendipité**, celle correspondant à une découverte accidentelle de quelque chose que l'on ne cherchait pas (Roberts, 1989).

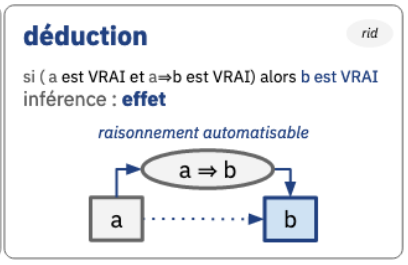
Cette liberté prise dans notre démarche exploratoire se retrouve au niveau des différents modes de raisonnement utilisés. Les trois modes classiques de raisonnement, **abduction**, **induction**, **déduction**, illustrés par les cartes [*ria*], [*rii*] et [*rid*] ont été sollicités, en fonction des problématiques à résoudre, sachant que seuls les deux premiers sont porteurs de nouveauté du point de vue de la recherche scientifique.



C7 — [ria] — abduction



C8 — [rii] — induction



C9 — [rid] — déduction

La méthode scientifique a été questionnée, s'est affinée et est régulièrement réinterrogée. Elle a donné des résultats remarquables dans de multiples domaines. Son processus de remise en question permanent en fait sa richesse, permettant l'émergence de nouvelles théories, à partir du moment où elles apportent une meilleure conformité aux observations. Cependant, malgré ses qualités, la méthode

scientifique est soumise à des effets qui laissent des zones d'ombre, comme nous le précisons avec le phénomène de *fragmentation* et le *point aveugle*.

La **fragmentation** pourrait être assimilée à un effet d'usure d'un *paradigme scientifique* (Kuhn, 1962), qui présente globalement une structure arborescente, même si des liens transversaux sont présents. La théorie principale est enracinée dans des observations et va se ramifier au fil du temps pour en extraire tout le potentiel. Cela conduit les spécialistes à travailler dans des branches de plus en plus fines au risque de perdre le sens du problème que la théorie maître cherchait à résoudre, ou de manquer des simplifications par connexions avec d'autres branches plus anciennes. Ce risque augmente avec le temps. Nous essayons d'éviter ce travers n'hésitant pas à revenir à la source, c'est-à-dire à l'intérêt de l'information pour chaque acteur de l'organisation. Mais nous sommes soumis à d'autres risques, celui d'une abondance de sources et d'un ancrage critiquable par son hétérogénéité. Pour éviter ce travers nous avons suivi la voie d'un scepticisme radical (Bitbol, 2010:10), qui vise à pousser le modèle relationnel à son paroxysme, allant jusqu'à réduire un objet d'étude à un simple faisceau de relations.

Cette démarche s'inscrit dans l'esprit de la science moderne qui traite les relations entre les choses avant de traiter la nature des choses. Comme le mentionnait Claude Bernard, le fondateur de la médecine expérimentale : « *En instruisant l'homme, la science expérimentale a pour effet de diminuer de plus en plus son orgueil, en lui prouvant chaque jour que les causes premières, ainsi que la réalité objective des choses, lui seront à jamais cachées, et qu'il ne peut connaître que des relations.* » (Bernard, 1865). Nous ne souhaitons cependant pas rester dans le cadre d'une science des relations logico-mathématiques, c'est pourquoi nous nous intéressons à l'essence de la relation. Cette orientation nous amène à questionner la logique, ainsi que des concepts mathématiques fondamentaux. Elle laisse également toute la liberté de reconstruction des représentations, adoptant le cadre du constructivisme générique de Piaget, porté par l'école systémique française, avec entre autres Morin et Le Moigne.

Le **point aveugle de la science** (Bitbol, 2016) et leur dépassement (Bitbol, 2018) sont dans le champ de nos recherches. Prenons quelques exemples cités par cet auteur : le corps propre, la situation de l'expérience et la mesure. La science fait abstraction du **corps propre** de l'observateur en s'attachant à être indépendante de l'observateur. De ce fait, l'information scientifique se désincarne et l'humain passe progressivement au second plan par rapport à la machine. Ce biais se traduit via des orientations budgétaires par la priorité donnée à l'amélioration des capacités de l'outil technique par rapport à celles des humains. La normalisation de la **situation de l'expérience** oriente la recherche sur les phénomènes reproductibles, ce qui renforce l'effet précédent en donne également la priorité au système technique. Enfin la **mesure** a pour effet de mettre au second plan des phénomènes incommensurables ou hors étalonnage. L'unique, l'accidentel, l'holistique, la synchronicité oriente vers une logique du tiers-exclus. Si le paradoxal peut être sujet de curiosité, le contradictoire est moins bien accepté. Pour approfondir ces questions nous nous sommes appuyé sur deux outils : la *logique de l'énergie* de Stéphane Lupasco, et *l'anneau des disciplines* de Francis Bailly. Ils sont présentés ci-après.

0.6.1. La logique de l'énergie

> « *Celui qui souhaite atteindre la perfection humaine doit d'abord étudier la logique, puis les diverses branches des mathématiques dans l'ordre qui convient, puis la physique et enfin la métaphysique.* » (Maimonides, XIIe siècle)

Pour arriver à la logique de l'énergie, nous sommes d'abord partis d'un questionnement sur la **logique**[27] : serait-elle « *un accord schématique entre un Réel inachevé et un esprit en devenir ?* » (Gonseth, 1998:93). Pour répondre à cette interrogation, prenons une des définitions de la logique : « *La logique est une médiation entre rationnel et irrationnel* » (Girard, 2016:15). Le CNRTL nous apporte des précisions. Le **rationnel** est « *ce qui relève de la raison* », la **raison** étant définie comme « *principe pensant; mode de pensée* » et, le plus souvent dans le langage des

27. Du grec λογική / logikê, terme dérivé de λόγος / lógos, « parole, raison, langage, rapport, raisonnement »

sciences, « *intelligence en tant que source de l'activité conceptuelle et visant à la connaissance discursive; faculté qui ordonne discursivement les faits et les notions, qui démontre, qui calcule* ». Retenons que la logique est une convention, un *rapport* entre notions et faits qui permet de raconter et/ou de calculer, qui évolue au cours du temps. Nous en résumons trois grandes étapes, dans l'encadré E6 sur l'évolution de la logique.

E6 — Evolution de la logique

Les trois principes logiques de l'antiquité sont la « bivalence », toute proposition est vraie ou fausse (p Vraie ou Fausse), la « non contradiction », une proposition et sa contradictoire ne peuvent pas être toutes les deux vraies (p ET non-p impossible) et le « tiers-exclu », deux propositions contradictoires ne peuvent pas être toutes les deux fausses (p ou non-p sans autre possibilité)[28]. Les principes de cette logique dite classique sont encore majoritairement en usage aujourd'hui dans les sciences : par exemple, la démonstration par l'absurde en mathématique les utilise. La logique traditionnelle pose cependant des problèmes de compréhension en physique quantique, comme évoqué précédemment. A cette époque, de la fin XIXe au milieu du XXe siècle, s'est développé le paradigme logique des **preuves-comme-discours**, porté par la philosophie analytique et ses théoriciens comme Russell. A partir des années 1970, avec le développement de l'informatique, issue de la philosophie analytique, se développe un nouveau paradigme de la logique, celui des **preuves-comme-programmes**. Il s'agit d'ouvrir la logique au monde avec une philosophie et mathématique de l'interaction (Joinet & Tronçon, 2009) : « *La règle logique n'est plus norme respectée, mais solution "géométrique" au problème du dialogue entre processus, effet engendré par les phénomènes d'interaction*. »[29]

Une autre logique s'est développée en s'appuyant sur les résultats de la physique quantique : la « logique de l'énergie » (Lupasco, 1951). L'énergie est le premier des

28. Cf. http://villemin.gerard.free.fr/Referenc/Outils/AOUTILS/TiersExc.htm
29. Objectifs scientifiques du LIGC : http://www.ligc.fr/le-groupe-ligc/article/objectifs-scientifiques

invariants de la physique. Selon le principe de conservation, l'énergie totale d'un système isolé est invariante au cours du temps. Il correspond au premier principe de la thermodynamique. Ce principe a été formalisé par le théorème de la mathématicienne Emmy Noether. Notons cependant qu'il s'appuie sur les notions d'isolement et de temps. Cette logique s'est développée en 3 périodes (Brenner, 2010A) :

- « *1935-1950, fondements scientifiques et épistémologiques d'une logique de contradiction, formulation du Principe d'Opposition Dynamique.*
- *1950-1980, formulation de l'axiome du Tiers-Inclus ou état T, qui émerge des caractéristiques contradictoires de l'énergie, et sa démonstration dans les domaines de la biologie, de la psychologie, etc ;*
- *1980-1988, collaboration avec Basarab Nicolescu et formulation du principe des niveaux de réalité. Nicolescu a montré que la logique du tiers-inclus de Lupasco n'était elle-même pas contradictoire, bien qu'elle "supporte" la contradiction* »

La logique de Lupasco est restée relativement confidentielle, le **contradictoire** ayant heurté nombre de ses contemporains. Gonseth voyait dans la contradiction « *une alliée bien trop dangereuse* » (Nicolescu, 2009:134). Edgar Morin a néanmoins repris ce concept dans sa dialogique (Nicolescu, 2009:139), qui a également été bien reçu par le monde de l'art (Nicolescu, 2009:89) et intéressé des psychanalystes (Lupasco, 1987:IX).

En prolongation des travaux de Lupasco, le concept de *niveau de réalité* a été précisé (Nicolescu, 2012). La logique de l'énergie trouve aujourd'hui un regain d'intérêt, car elle semble correspondre à la logique de la réalité (Brenner, 2010B).

La logique classique est un cas particulier de la logique de l'énergie (Lupasco, 1987:18). La logique de l'énergie a une structure non pas binaire mais ternaire, elle est selon Lupasco *tridialectique*, Nicolescu préfère le terme de *trialectique* (Lupasco, 1987:VIII). Ces trois pôles sont l'homogène, l'hétérogène et l'état T. L'état T correspond à un équilibre dynamique entre les deux autres, il s'agit du tiers-inclus.

Il exprime par exemple la simultanéité de la continuité et de la discontinuité, que l'on rencontre en physique quantique avec le modèle onde-particule. Le principe de contradiction est donc organisateur, « *structurant d'une nouvelle vision de la Réalité* » (Lupasco, 1987:XII).

Nous avons ainsi pris les travaux de Lupasco sur la logique de l'énergie comme hypothèses explicative de la transformation — certains processus de transformation semblent contradictoires — et ceux de Nicolescu sur les niveaux de réalité comme hypothèses explicative de l'organisation, la contradiction disparaît en changeant de niveau de représentation. Introduisons maintenant notre deuxième outil, l'**anneau des disciplines**.

0.6.2. L'Anneau des disciplines

> « *Pour comprendre, il faut toucher à tous les domaines* » (Edgar Morin[30])

L'information, l'organisation et la transformation sont des concepts de *La transdisciplinarité* (Nicolescu, 1996), au cœur des SIC : « *Les transformations holistiques provoquées par les technologies numériques requièrent des approches complexes des activités humaines, devant inclure des théorisations multiples auxquelles ne peut répondre un seul champ disciplinaire.* » (Saleh, 2012) Pour en faciliter l'étude nous avons retenu un cadre de référence qui propose une **classification des disciplines** plus opératoire que celle du Conseil National des Universités (CNU)[31], que nous rappelons cependant dans l'encadré E7.

Dans la modélisation des systèmes complexes Jean-Louis Le Moigne présente le tableau synoptique de philosophie positiviste d'Auguste Comte. Il distinguait trois ensembles : les mathématiques, la science des corps bruts, qui regroupe astronomie, physique, chimie, et la science des corps organisés, qui regroupe physiologie et sociologie (Le Moigne, 1990:154). A sa place, le systémicien propose « *un modèle constructiviste du système des sciences qui articule autour des sciences de la cognition, entendues dans leur définition la plus extensive , celle de la noologie,*

30. Interview d'Edgar Morin par Pablo Servigne, Yggdrasil n°1, 2019, p.47
31. Site Web du CNU : https://www.conseil-national-des-universites.fr/

- *d'une part :*
    - *les sciences de la matière*
    - *et les sciences de la vie*
- *et d'autre part :*
    - *les sciences du mouvement (naturel)*
    - *les sciences de l'ingénierie (artificiel). »* (Le Moigne, 1990:160)

E7 — Classement des disciplines du CNU

En 2020, le Conseil National des Universités propose un classement en 77 sections disciplinaires, intégrées dans des groupes disciplinaires ou divisées en sous-sections. Un niveau supérieur distingue les 9 catégories suivantes :

- Droit, économie, gestion : 2 groupes, 6 sections
- Lettres et sciences humaines : 2 groupes, 18 sections
- Sciences : 6 groupes, 23 sections
- Pluridisciplinaire : 1 groupe, 5 sections
- Théologie : 1 groupe, 2 sections
- Médecine : 14 sections, 54 sous-sections
- Odontologie : 3 sections, 4 sous-sections
- Pharmacie : 1 groupe, 3 sections
- Pharmacie (mono-appartenants) : 1 groupe, 3 sections

Rappelons que les *Sciences de l'information et la communication* (section 71) sont classées en *Pluridisciplinaire*. Nous ferons également appel aux sciences de gestion et du management (section 06), classées en *Droit, économie, gestion*, et à l'informatique, (section 27), classée en *Sciences*.

A ce modèle, nous avons préféré la classification des domaines de connaissances proposée par Francis Bailly. La carte [*ann*] reproduit cet *Anneau des disciplines* qui propose cinq regroupements : mathématiques, physique et chimie, biologie, sciences humaines et sociales, philosophie.



C10 — [ann] — Anneau des disciplines

Cette classification a été publiée en 1991 dans le volume 5 n° 3 de la Revue Internationale de Systémique sous le titre : « *L'Anneau des disciplines. Enquêtes sur quelques concepts théoriques et gnoséologiques* ». Nous ferons référence au document de synthèse, édition posthume de 2011, réalisé par son épouse à partir des textes de Francis Bailly. Le document est disponible en *Creative Commons* sur le site de l'AFSCET[32], Association Française de science des Systèmes, cybernétiques, Cognitifs Et Techniques, éditeur de Res-Systemica, Revue Française de Systémique, fondée par Evelyne Andreewsky. Ce regroupement nous sert de guide dans l'exploration des concepts. Il pose cependant la question du positionnement de notre discipline transdisciplinaire, les sciences de l'information et de la communication et de disciplines périphériques, comme les sciences de gestion et l'informatique. Nous traitons ce point après la présentation de l'anneau. Le concept de « l'anneau » exprime l'unité et la multiplicité des disciplines (Bailly, 2011:7). Chaque secteur s'appuie sur un concept clé, respectivement la structure, la matière, la vie, la conscience et la sagesse. Un des intérêts de l'anneau réside dans les transitions entre les secteurs. L'anneau se parcourt dans les deux sens. La frontière entre les secteurs évolue constamment, en particulier suite au progrès d'une des disciplines. Par exemple à la frontière entre A et B la recherche est active sur la matière topologique[33]. A la frontière entre B et C la question de la vie, réinterrogée suite aux avancées de la physique quantique (Schröndinger, 1986), est toujours d'actualité. Elle conduit au développement de nouvelles disciplines interdisciplinaires comme l'**exobiologie**, dont le champ de recherche est « *l'étude de l'origine de la vie sur Terre, de son évolution, et de la distribution de la vie dans l'Univers* »[34]. La recherche suit ainsi un double mouvement

32. http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/bailly/bailly.html [consulté le 2020-11-16]
33. Voir les vidéos de la conférence débat de l'académie des sciences datant du 5 novembre 2019 https://www.academie-sciences.fr/fr/Colloques-conferences-et-debats/matiere-topologique.html
34. Source : https://www.cnrs.fr/mi/IMG/pdf/confexobio_mas_jid2014.pdf, conférence de Martine

de concentration de son champ par sa spécialisation et d'extension en établissant des interconnexions à d'autres disciplines. Par exemple, si la médecine est centrée sur la biologie et le bon fonctionnement du corps humain, le *groupe lyonnais d'études médicales philosophiques et biologiques* qui commença par enquêter sur « l'extension vraie du domaine de la médecine » (Biot, 1933:IX) étendit son champ d'étude de la physique à la philosophie. Ce même groupe mentionnait les « *3 étages de la matière, de la vie et de la conscience humaine* » (Guitton, 1933:6). En se référant à la logique de l'énergie, Stéphane Lupasco considérait « trois matières » : physique, vivante, psychique (Lupasco, 1960). Ces étages et ces matières correspondent à trois des cinq disciplines, au cœur de l'anneau et en prise directe avec le réel : la *Physique*, la *Biologie* et les *Sciences humaines et sociales*. Nous résumons ces transitions dans le tableau T2.

T2 — Transitions dans l'anneau des disciplines

Secteurs	*transitions, sens A-E*	*transitions, sens E-A*
A. Mathématiques	+ interaction et dimensionnalisation	+ abstractisation conceptuelle interprétative des algorithmes et des êtres créés pour le calcul et le raisonnement mathématique
B. Physique	+ fonctionnalisation	+ algorithmisation, modélisation, formalisation abstraite ouverte, calculabilité des grandeurs dimensionnelles assignées aux éléments de la réalité physique
C. Biologie	+ signification	+ détermination dimensionnelle des fonctions, caractérisation des éléments en termes d'interactions et de systèmes de constituants
D. Sciences humaines et sociales	+ conceptualisation	+ fonctionnalisation des significations
E. Philosophie	+ construction et calculabilité	+ signification des concepts et systèmes conceptuels

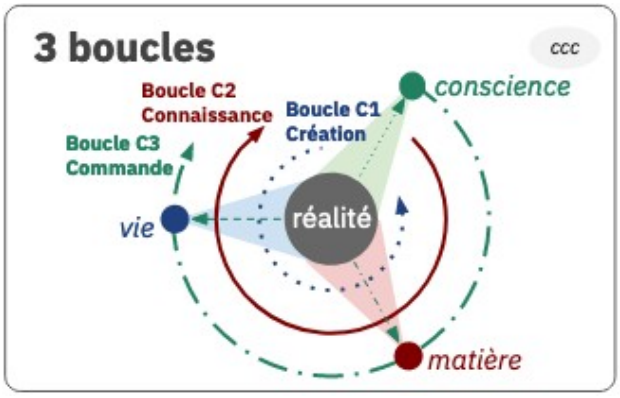
Adrian-Scotto, "L'Exobiologie : sur les traces de la Vie"

C'est donc à l'éclairage de l'anneau que nous interrogeons, dans la partie 1, nos concepts clés, *information*, *transformation*, *organisation* et *représentation*. Mais pour affiner le cadrage de notre problématique, nous nous focalisons dans un premier temps sur les trois disciplines inscrites dans le plan de la réalité, et que la conscience humaine explore.

0.6.3. Boucles Création, Connaissance, Commande

« *Natura non nisi parendo vincitur (on ne commande la nature qu'en lui obéissant)* » Francis Bacon[35]

La physique quantique nous montre que notre perception des objets n'est que le produit d'une interaction entre le réel et notre appareil cognitif. La réalité est une construction (Watzlawick, 2000) qui résiste à toutes nos expériences et représentations, descriptions et autres formalisations mathématiques. Nous proposons de considérer que la science actuelle cherche à éclairer la réalité à partir de trois pôles, que nous nommons matière, vie et conscience. Nous proposons de relier ces trois pôles par trois boucles — Création, Connaissance, Commande — notées respectivement C1, C2, C3 pour exprimer leur succession. La carte [*ccc*] illustre cette proposition.



C11 — [ccc] — création, connaissance, commande

La **Boucle C1 Création** représente le processus qui partant de la matière-énergie, génère la vie, qui génère la conscience. C'est ce que Stéphane Lupasco appelle les **trois matières** [36] (Lupasco, 1960) : la troisième matière, « *matière psychique* », complète la « *matière physique* » et la « *matière biologique* ». Cette boucle suit un ordre correspondant au trois phases de l'évolution, que la science a décrypté. Le champ d'étude de la physique part ainsi de la création de l'univers, datée à environ

35. *Novum organum I*, aphorismes 3 et 66 notamment, relevé par Franck Tinland (1998), *Nouvelles sciences: modèles techniques et pensée politique de Bacon à Condorcet*, Champ Vallon, p.37

36. Lupasco précise cette notion dans un autre ouvrage : « *La notion comme le mot de matière signifie donc, aujourd'hui, un ensemble et une suite de systèmes purement énergétiques, orientés et doués d'une certaine résistance.* » (Lupasco, 1970:59)

13,7 milliards d'années, celui de la biologie, à l'apparition de la vie sur terre, soit environ 4 milliards d'années, et celui de l'homme à l'apparition de l'homo sapiens, soit environ 300 000 ans. Faire remonter la flèche de la boucle C1 à la limite de la conscience permet d'intégrer l'hypothèse d'une conscience créatrice, sur laquelle nous ne nous prononcerons pas, puisqu'elle sort de notre champ de recherche.

La **Boucle C2 Connaissance** représente le processus qui, partant de la conscience, cherche à comprendre les trois pôles, dont elle-même, c'est-à-dire *la connaissance de la connaissance* (Morin, 1986). Ce processus s'est probablement déployé simultanément vers les trois pôles, mais nous avons cependant privilégié un sens de la boucle en la faisant tourner en sens inverse de la première traduisant une réflexion sur la création, et la faisons démarrer à la limite de la conscience, car la connaissance démarre avec l'acquisition de connaissances sur le vivant puisque le vivant se nourrit du vivant : « *Survivre, c'est d'abord "manger et ne pas être mangé"* » (Bricage, 2009). C'est ainsi qu'à partir du néolithique, l'humanité a approfondi sa connaissance de la vie par la pratique de l'élevage et de l'agriculture.

La **Boucle C3 Commande** représente un processus qui accompagne la boucle C2. Il s'appuie sur la compréhension des régularités identifiées dans la nature pour en tirer profit. La découverte des lois de la physique a conduit à une augmentation des connaissances sur les transformations de la matière, jusqu'à l'explication de la composition de l'atome, et au contrôle de ses transformations, en établissant le lien entre matière et énergie, que traduit la célèbre équation d'Einstein « $E = mc^2$ ». Ces progrès sur la connaissance microscopique de la matière se sont poursuivis jusqu'à la compréhension approfondie du fonctionnement du vivant avec d'une part la découverte de l'ADN et d'autre part sa commande et son contrôle, avec les manipulations génétiques. Au XXIe siècle, le défi consiste à explorer un problème encore plus complexe. La compréhension du fonctionnement de notre cerveau est l'objectif de deux très grand programmes de recherche : *BRAIN initiative*[37] aux états-unis et *Human Brain Project*[38] en Europe. L'enjeu est de découvrir « *le code de*

37. Site de *Brain Initiative* : https://braininitiative.nih.gov/
38. Site du *Human Brain Project* : https://www.humanbrainproject.eu/en/

la conscience » (Dehaene, 2014). Cette maîtrise du naturel a généré « l'**artificiel** », terme que nous précisons dans l'encadré E8.

E8 — Propos sur l'artificiel

« *L'artificiel est ce qui reçoit de l'art humain une forme qu'il n'avait pas naturellement* » (Tinland, 1991). Deux points de vue complémentaires éclairent le concept d'artificiel. Herbert Simon désigne par les sciences de l'artificiel les « sciences fondamentales de l'ingénierie », « nouvelles sciences » apparues à la fin des années quarante : décision, organisation, information, communication, régulation… (Simon, 1996). C'est une des catégories de Jean-Louis Le Moigne - cf. Supra § 0.6.2. Artificiel est couramment opposé à naturel. Mais « *y a-t-il plus d'évidence entre l'arbre et la chaise qu'entre le pétrole et la bassine en plastique ?* » A cette question posée par les auteurs de l'ouvrage *Materiology* (Kula et al., 2009), la réponse est donnée par l'*épaisseur de l'artificialité* (Manzini, 1989), qui désigne le degré de transformation de la matière. Ainsi, « *un matériau est considéré d'autant plus naturel qu'il est ancré dans la culture collective* […] *La matière virtuelle constitue peut-être aujourd'hui la vraie artificialité* » (Kula et al., 2009:315). Ils désignent ainsi la « réalité artificielle » précédemment évoquée (Krueger, 1991).

Ce point de vue centré sur l'ingénierie du vivant, de la matière à la conscience, mérite d'être complété par le regard des philosophes et anthropologues. L'usage de la connaissance pour commander la nature a produit différents ordres humains — « *l'ordre des bâtisseurs, l'ordre de la représentation, l'ordre des techniques et l'ordre de l'information* » (Chazal, 2006) — sachant que la notion même de nature, par opposition à la culture, est remise en question par l'anthropologie (Descola, 2005). Notons que la maîtrise du naturel se retrouve également à la source du **jeu**, comme nous le précisons dans l'encadré E9. La *boucle de commande* apparaît donc comme centrale. Elle s'est traduite par le développement de la **société disciplinaire** (Foucault, 1975). Son développement semble se poursuivre dans la **société de contrôle** (Deleuze, 1990) sur laquelle nous reviendrons en partie 4. Pour étudier la

boucle de commande, nous proposons de faire évoluer la représentation de l'anneau. Dans un premier temps, nous projetons le plan dans lequel il s'inscrit dans un espace à trois dimensions, constituant ainsi un *pentachore des disciplines*.

E9 — Propos sur le jeu

« *Le jeu est un facteur fondamental dans tout ce qui se produit au monde* » (Huizinga, 1951). C'est un marqueur de la culture (Caillois, 1958) qui s'exprime dès l'enfance dans la construction de la réalité (Winnicott, 1975). Cette activité se développe dans un cadre, fixé par des règles. Les formes considérées par Roger Caillois définissent ainsi différents rapports à la commande. Elle est maximale dans *Agôn*, la compétition, et minimale dans *Alea*, la chance. La première, offre une multitude de paramètres à contrôler alors que dans la seconde, seul un autre tirage fera varier le sort. Dans *ilinx*, le vertige, c'est le rapport à la limite de la commande qui est testé. Dans *mimicry*, notion qui peut être traduite par le mimétisme et qui référence les jeux d'imitation, de rôles, ainsi que les arts du spectacle, c'est l'acceptation sociale de la commande qui est validée. L'inscription du jeu vidéo dans ce modèle reste à réinterroger puisque le numérique mixe les genres, et repousse les limites. Citons par exemple les limites du nombre de joueurs avec les jeux de rôle en ligne massivement multijoueur ou « MMORPG » pour, *massively multiplayer online role-playing game*, ou les limites du terrain de jeu, qui devient infini lorsqu'il est produit par des algorithmes génératifs. Les environnements immersifs de réalité virtuelle sont ainsi en mesure de combiner simulation, compétition, vertige et chance. En passe de devenir la première industrie culturelle (Benghozi et Chantepie, 2019), le succès des jeux vidéo annonce une révolution des pratiques pédagogiques avec les « *serious games* » (Lavergne Boudier et Dambach, 2010). En passant du stade d'objet à celui d'expérience (Triclot, 2011), le jeu vidéo devient ainsi un vecteur de la transformation numérique des organisations.

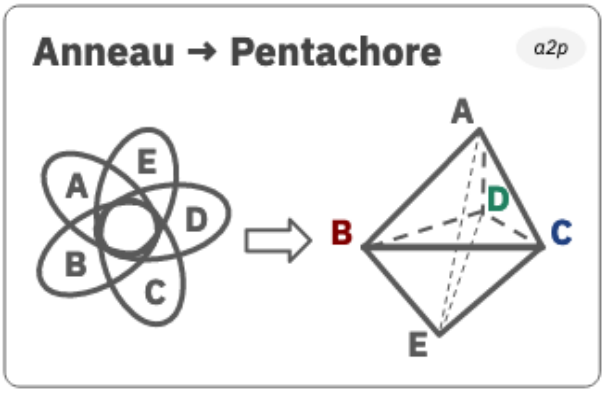
0.6.4. Le Pentachore des disciplines

Sans changer pour l'instant ce découpage en cinq disciplines, nous proposons une évolution de la représentation de l'anneau en un *pentachore*. Le pentachore est un 4-simplexe, c'est-à-dire un simplexe de dimension 4. Nous précisons cette notion de mathématique dans l'encadré E10.

E10 — Simplexes, structures mathématiques

En géométrie, le **simplexe** est une généralisation du triangle à une dimension quelconque. Ainsi, le 0-simplexe est réduit à un simple point appelé sommet. Le 1-simplexe est un segment de droite (2 sommets, 1 arête qui les rejoint). Le 2-simplexe est le triangle (3 sommets, 3 arêtes, 1 face). Le 3-simplexe est un tétraèdre, pyramide à 4 faces (4 sommets, 6 arêtes, 4 faces, 1 volume). Le 4-simplexe est un pentachore (5 sommets, 10 arêtes, 10 faces, 5 volumes, 1 hypervolume). C'est un objet de la 4e dimension. Pour le visualiser nous devons donc le projeter dans une dimension inférieure, ici en dimension 2, sur la page.

Nous nommons cette représentation le **Pentachore des disciplines**. La transformation est illustrée par la carte [*a2p*]. Cette nouvelle représentation présente deux intérêts. Premièrement d'augmenter le nombre de relations binaires entre les disciplines : de cinq nous passons à dix. Aux transitions AB, BC, CD, DE, EA nous ajoutons donc l'étude des transitions AC AD BD BE BC, et ceci dans les deux sens comme pour l'anneau. Le passage du plan au volume offre un deuxième avantage. Il met en avant les relations entre trois disciplines, reliées par des faces triangulaires, mais également entre quatre qui forment des tétraèdres. Ces croisements entre disciplines servent de sources d'inspiration. Dans l'encadré E11, nous mentionnons



C12 — [a2p] — pentachore des disciplines

ainsi quelques ouvrages dont les auteurs se sont essayés à des synthèses comme Parrochia ou Roddier, ou dont les dialogues, débats et confrontations expriment la complémentarité des points de vues de leurs disciplines respectives.

E11 — Exemples d'ouvrages sur le croisement des disciplines

AE. Mathématique et Philosophie : Parrochia D. (2017), *Mathématiques et philosophie: des irrationnels aux motifs*, ISTE

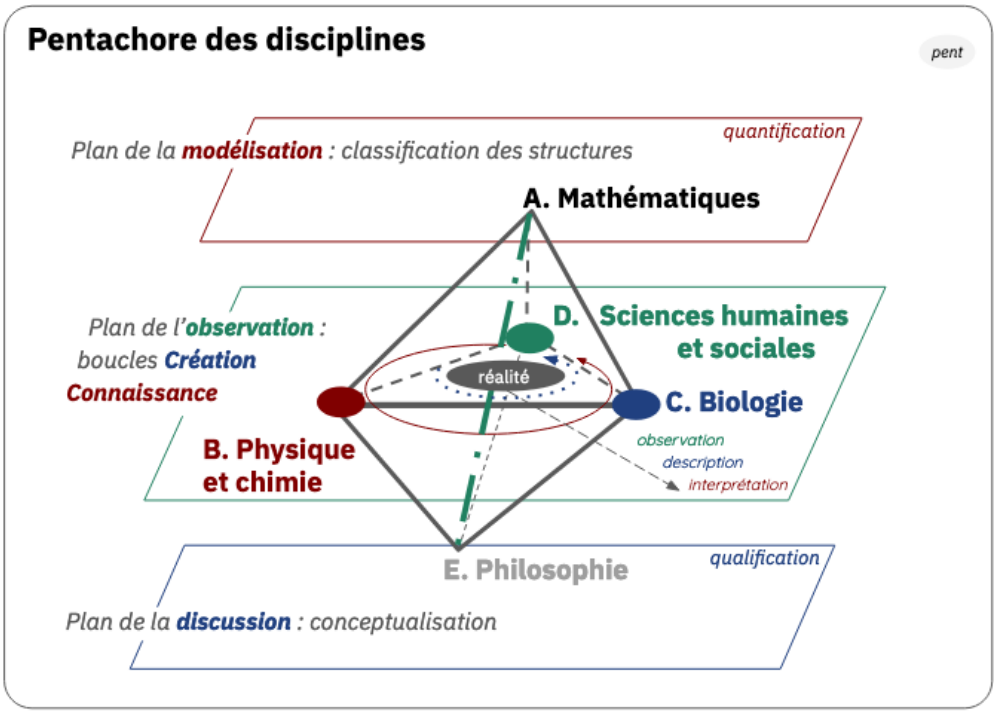
AC. Mathématique et Biologie : Changeux J.-P. & Connes A. (1989), *Matière à pensée*, Odile Jacob ; Bailly F. & Longo G. (2006), *Mathématiques & sciences de la nature: la singularité physique du vivant*, Hermann

CE. Biologie et Philosophie : Changeux J.-P. & Ricœur P. (1998), *La nature et la règle. Ce qui nous fait penser*, Odile Jacob

ABE. Mathématiques, Physique, Philosophie : Connes A., Lichnerowicz A. Schützenberger M. P. (2000), *Triangle de pensées*, Odile Jacob

BCD. Physique, Biologie, Sciences Humaines et Sociales : Roddier F. (2018), *De la thermodynamique à l'économie : Le tourbillon de la vie*, Editions Parole

Pour faciliter la lecture du *pentachore des disciplines*, nous proposons de considérer trois plans, comme illustré par la carte [*pent*].



C13 — [pent] — pentachore des disciplines

Sur le plan de la réalité, la science procède d'abord par *observation*. *Description* et *interprétation* se font dans un second et un troisième temps, non seulement au plan de la réalité mais également à un niveau plus abstrait, que nous appelons « méta ». Nous positionnons ainsi deux plans *méta*, autour du plan central d'observation de la réalité, qui portent respectivement la description et l'interprétation. Le premier plan *méta*, que nous qualifions de *discussion*, est centré sur la conceptualisation. C'est le support de la philosophie. Le second plan *méta,* que nous qualifions de *modélisation*, est le support des mathématiques : « *c'est la science qui a pour objet les propriétés de la grandeur en tant qu'elle est calculable et mesurable* » selon d'Alembert dans l'encyclopédie. Mais également, « *les mathématiques consistent en la classification de toutes les structures possibles* » (Sawyer, 1966:10). Ces deux disciplines se développent en Grèce antique : la philosophie qualifie, les mathématiques quantifient. C'est la naissance de la *géométrie*, étymologiquement mesure de la terre.

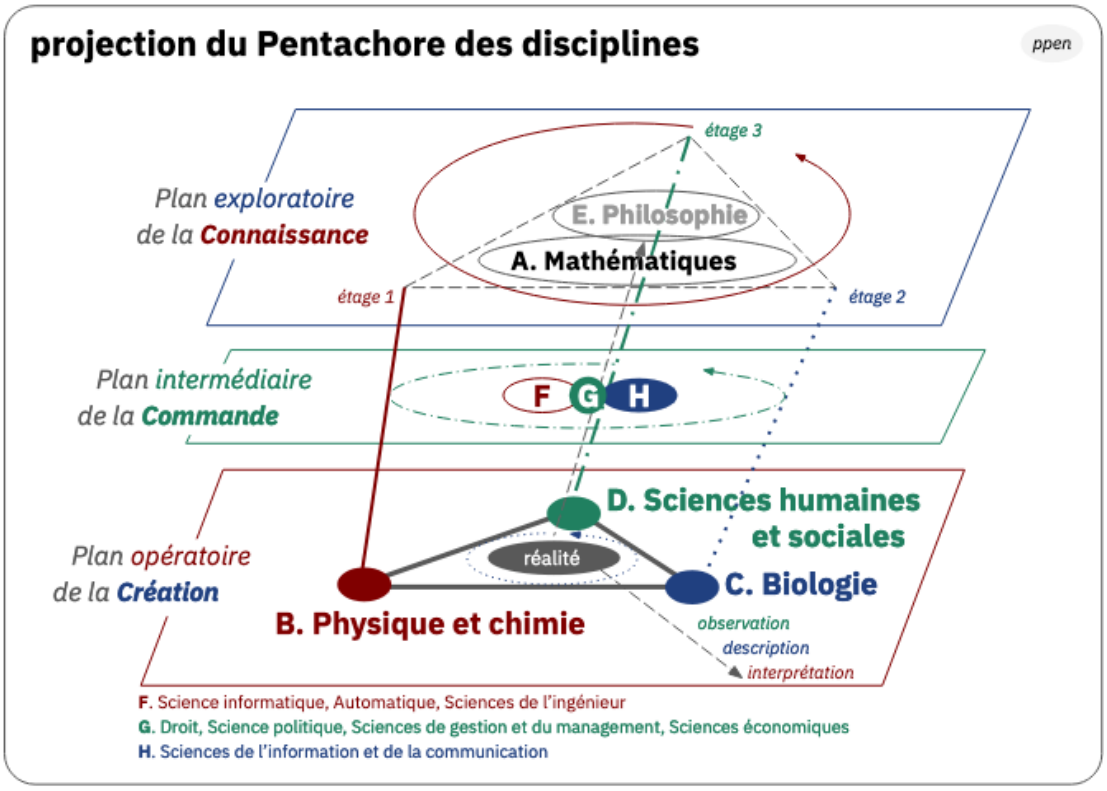
Revenons aux trois boucles précédemment identifiées. La première, *Boucle C1 de la Création*, reste naturellement inscrite dans le plan de l'observation. La seconde, *Boucle C2 de la Connaissance*, trouve sa source dans le plan de l'observation. Elle a cependant tendance à s'étendre vers les deux disciplines des plans *méta* (ce que ne peut représenter simplement notre schéma). La troisième, *la Boucle C3 de Commande*, se retrouve projetée sur l'axe vertical qui relie les deux plans *méta*. Cet axe relie deux langages. Les mathématiques peuvent être vues comme le langage de la certitude, qui apporte les preuves de l'unicité de la vérité. A l'opposé la philosophie peut-être vue comme le langage de l'incertitude, du doute, qui apportent des réponses multiples aux questions existentielles : sur ce qui existe, ce qui n'existe pas, ce qui pourrait exister ou ne pas exister, ce qui est pensable et ce qui ne l'est pas. Nous proposons de traduire ces deux propositions en langage mathématique.

Les mathématiques peuvent être vues comme l'intersection des trois disciplines du plan de l'observation, soit l'équation e1 : $\mathbf{A} = \mathbf{B} \cap \mathbf{C} \cap \mathbf{D}$. Notons cependant la

différence de rapports entre les mathématiques et ces trois disciplines. Le rapport entre la physique et les mathématiques est étroit comme le décrivait l'anneau. Il correspond à un dialogue dans lequel ces deux sciences s'enrichissent mutuellement. Le rapport entre mathématiques et biologie est plus complexe. Comment mathématiser la biologie est une question philosophique (Meyer, 2012). Et, s'il existe une singularité physique du vivant (Bailly & Longo, 2006), nous pouvons faire l'hypothèse qu'il en est de même pour le conscient. Traduire ce rapport dans notre représentation tétraédrique consisterait à augmenter les distances entre les disciplines mathématiques et sciences humaines et sociales.

La philosophie peut être vue comme l'union des trois disciplines du plan de l'observation, soit l'équation e2 : **E** = **B** ∪ **C** ∪ **D**. Le lien entre la philosophie et les trois disciplines est plus évident car la transdisciplinarité conduit à la philosophie. Cette représentation volumique a transformé la *boucle de commande* en un axe, l'isolant des deux autres. Pour lui redonner sa forme de boucle, nous proposons une seconde représentation de ce pentachore, en projetant l'axe sur un plan intermédiaire. Nous regroupons également les deux plans méta en un seul, distinguant au final trois plans, chacun support d'une boucle. Le plan central d'observation de la réalité devient le plan de base. Il porte la première boucle. Nous le nommons *plan opératoire de la Création*. C'est celui que nous observons et explorons pour générer le plan supérieur, de nature abstraite, qui porte la seconde boucle et deux disciplines, Mathématiques et Philosophie. C'est le *plan exploratoire de la Connaissance*. Entre les deux se situe le *plan intermédiaire de la Commande*. Ce plan permet de faire ressortir trois disciplines fortement liées à la Commande, que nous désignons avec les lettres F, G, H, par extension du codage de l'*anneau des disciplines*. Ces disciplines sont extraites des *Sciences humaines et sociales*, dans la définition élargie qu'en faisait Francis Bailly. Ainsi F regroupe *Science informatique, Automatique, Sciences de l'ingénieur*, G regroupe *Droit, Science politique, Sciences de gestion et du management, Sciences économiques* et H regroupe *Sciences de l'information et de la communication*.

Cette nouvelle représentation est illustrée par la carte [*ppen*].



C14 — [ppen] — projection du Pentachore des disciplines

Nous proposons également une interprétation mathématique de ces disciplines avec trois nouvelles équations, que nous explicitons ci-après :

e3 : $\mathbf{F} = (\mathbf{A} \cup \mathbf{E}) \cap (\mathbf{B} \cup \mathbf{C} \cup \mathbf{D})$

e4 : $\mathbf{H} = \mathbf{F}^c$

e5 : $\mathbf{G} = (\mathbf{A} \cap \mathbf{E}) \cap (\mathbf{B} \cap \mathbf{C} \cap \mathbf{D})$

L'équation e3 positionne l'informatique à l'intersection de l'ensemble « mathématiques et philosophie » avec la réalité. L'informatique unifie le « *logos* » et l' « *ontos* » comme l'interprète le philosophe Mark Alizart : « *Produire l'unité pure de l'Être et de la pensée suppose de s'extraire du continuum de l'existence : elle ne peut se concevoir que d'une entité qui serait « cause de soi », à la fois hors de ce monde et à la fois égale à ce monde, d'une pensée produisant son Être en même temps qu'elle se pense. Autrement dit, elle désigne la position de « Dieu » dans le système, tel qu'il est décrit depuis Aristote comme la « pensée qui se pense, et ce faisant, se produit.» Mais c'est dire aussi que Dieu désigne une sorte de machine à calculer ultime, ou*

plutôt ne désigne que *cela. Et c'est pourquoi il est possible de dire de l'ordinateur qu'il est une sorte de Dieu, car il dépasse précisément cette limite.* » (Alizart, 2018:27).

L'équation e4 interprète les *sciences de l'information et de la communication*. Elles ont émergé parallèlement à l'informatique « *pour pallier un déficit de connaissance sur les divers processus info-communicationnels.* » (DRSIC, p.11) Elles sont donc complémentaires à l'informatique. Elles s'appuient avant tout sur l'étude de la réalité. Signalons par exemple l'approche de Pascal Robert : « *Dans l'approche que je propose depuis bientôt 20 ans, les Sic visent à penser l'informatique, les Tic et le numérique dans une tension entre une véritable modélisation conceptuelle et une approche qui reste fondamentalement critique. Tension productive puisqu'elle permet de sortir de la seule posture critique, qui reste en quelque sorte en face de la technique, sans jamais s'y frotter et qu'elle permet tout aussi bien d'éviter la seule modélisation technique de la technique*. » (Robert, 2017). Partant de la modélisation et de la critique, nous avons cependant fortement ressenti le besoin d'ouvrir notre étude au champ opératoire et organisationnel, malgré leur immensité, et l'éclairage forcément incomplet que nous en aurons, d'autant plus que, contrairement à la physique qui procède d'une démarche unificatrice, le foisonnement des idées en sciences humaines et sociales conduit à une *pensée éclatée*[39], handicapant le suivi même de l'état de la connaissance.

L'équation e5 exprime l'intersection entre l'ensemble des disciplines. Elle englobe les sciences que l'on pourrait qualifier de la commande, du contrôle et de la régulation : le Droit, la Science politique, les Sciences de gestion et du management, les Sciences économiques relèvent de la **nomologie**, l'étude des lois, des échanges et de la gouvernance.

La *Boucle de la Commande* illustre ainsi notre hypothèse H1e, l'information comme vecteur de transformation. Nous l'étudions en partie 1 en distinguant différentes composantes de ce vecteur : économique, technologique, sociale, juridique et

39. Pour reprendre le titre du numéro spécial anniversaire des 15 ans de la revue *Sciences Humaines*, n°167S, Janvier 2006

politique. Avant de conclure sur ce cadrage, signalons l'existence d'autres moyens d'exploration de la réalité : la spiritualité et l'art. Ils n'apparaissent pas dans cette représentation car celle-ci est centrée sur la méthode scientifique. Ces moyens seraient à positionner sur un autre plan d'abstraction, transversaux à ceux que nous avons proposés.

Pour résumer, afin de dépasser le *point aveugle de la science*, notre démarche méthodologique s'appuie sur deux pivots : d'une part *la logique de l'énergie*, d'autre part l'*Anneau des disciplines* et les deux projections que nous proposons : la projection volumique, donne naissance au *Pentachore des disciplines*, et la projection sur trois plans mets en valeur trois boucles de *Création* , *Connaissance* et *Commande* .

0.7. Fil conducteur

Pour présenter le fil conducteur de notre thèse nous distinguons les contextes de découverte et de justification (Reichenbach, 1938).

Le **contexte de découverte** correspond à la progression chronologique dans l'évolution de notre recherche. Comme présenté précédemment, nous nous sommes tout d'abord intéressés au concept de relation et à la multiplication des points de vue (Lacombe, 2009). Nous avons alors cherché une modélisation qui permette l'unification des points de vue et avons trouvé dans un premier temps le support cartographique (Lacombe, 2011), puis proposé le concept de « *graine d'information* » (Lacombe, 2015). Sa mise en application dans le cadre d'une mission de conseil nous a conduit à nous recentrer sur le processus de transformation (Bonnet & Lacombe, 2016). Ayant constaté le potentiel de ce concept (Lacombe, 2016) mais également les risques associés, nous avons poursuivi nos recherches dans le monde académique avec cette thèse. Elle se concrétise par un modèle de représentation de la transformation des organisations à 5 facettes. La première modélise le principe de transformation, la seconde celui d'organisation. Les trois suivantes apportent des outils d'analyse de ces principes.

Le premier est un outil d'observation de la transformation des organisations, le second un langage de description des organisations et de leurs transformations, le troisième une méthode d'interprétation des connexions dans les réseaux. Le langage de description propose une théorie des opérations, ce que Simondon appelle « *une allagmatique* » (Simondon, 2005:529).

Le **contexte de justification** désigne la progression spatiale dans la présentation. Partant du cœur de notre questionnement la transformation, et de son enveloppe, l'organisation à l'ère numérique, nous traitons dans les deux premières parties une problématique relative à l'information, interrogeant les concepts clés déjà mentionnés — information, organisation, transformation et représentation — puis proposant cinq représentations. Les deux parties qui suivent traitent du volet de la communication, afin de valider les représentations identifiées, avec différents terrains d'application, pour terminer sur les perspectives qui abordent entre autres les questions de langage et d'apprentissage.

0.8. Terrains d'application

Les terrains d'application ont pour objectif de valider notre recherche. Trois modes de validation sont sollicités. Nos propositions sont d'abord confrontées à des théories et modèles issus de différentes disciplines – anthropologie, psychologie, sociologie, linguistique, théorie des organisations… – pour une validation de type hypothético-déductive. Il s'agit d'évaluer la pertinence de nos représentations, en particulier leurs qualités d'interopérabilité et d'intégration. Nous constatons à cette occasion leur puissance générative en établissant des correspondances entre plusieurs théories, ce qui nous amène ainsi à formuler une nouvelle hypothèse sur le développement humain. Ces différents apports sont illustrés en faisant appel au concept de *design pattern* (Alexander, 1977), précisé au § 2.4.7.2.

Une seconde validation empirique, plus compliquée car elle dépend de paramètres dont nous n'avons pas la maîtrise, est en cours auprès de trois réseaux, le premier dans le domaine du tourisme, le deuxième de l'archéologie, le troisième de l'action

sociale. La mise en œuvre de nos travaux de recherche, l'analyse des résultats obtenus et les limites rencontrées, sont présentés en partie 3. Nous évoquons également des actions identifiées pour valider notre hypothèse haute, le pilotage de la transformation. Nous nous contentons d'introduire ci-après la problématique rencontrée sur ces trois terrains. Le cadre de notre première intervention est le premier réseau d'informations touristiques français. Le contexte est une mission de conseiller technique et innovation sur l'évolution du Système d'Information. La mission s'est déroulée sur la période 2014-2017. Nous avons détecté une problématique de gestion de l'information directement issue de la transformation de l'organisation, résultant d'une croissance interne. Cette mission a été l'occasion de développer une application d'organisation de l'information qui s'appuyait sur l'une des modélisations de notre recherche afin de permettre à chaque membre du réseau de savoir « ki-fé-koi ». La deuxième intervention s'est déroulée à l'issue de la première. Elle concerne le centre européen d'archéologie de Bibracte, au mont Beuvray en Bourgogne. L'activité du centre est multiple : fouille, recherche, pédagogie, tourisme, exploitation forestière, valorisation du site. La mission d'une durée de 4 ans, entre 2018 et 2021, consiste à accompagner le centre à sa transformation numérique. Elle est l'occasion d'une transmission progressive des représentations du modèle dans l'objectif de permettre aux acteurs de maîtriser la transformation de l'organisation dans un contexte de numérisation d'un nombre croissant de processus. Une troisième intervention a commencé en 2020 à la maison des adolescents des Bouches du Rhône Nord, structure d'accueil, de prévention, de soins, de formation, de communication et d'évaluation, pour reprendre les différents axes de la raison d'être de cette structure. La mission consiste à accompagner les équipes dans la transformation numérique de celle-ci.

La troisième validation est abductive. Inattendue, elle est le résultat d'une vraie sérendipité, développée dans le § 3.3.

0.9. Conclusion du cadrage

Pour comprendre la transformation des organisations, en réseau à l'ère numérique, nous partageons l'hypothèse d'une « crise radicale de la représentation » comme le décrivait Antoinette Rouvroy et Bernard Stiegler : « *Représentation, épreuve, événement et critique se trouvent en quelque sorte contournés par les nouvelles possibilités de modélisation du monde.* » (Rouvroy & Stiegler, 2015)

Notre point de départ est l'étude du rapport entre l'organisation de l'information et la transformation de l'organisation. La compréhension de la transformation de l'organisation étant complexifiée par la polysémie de ces termes, nous faisons le choix d'analyser en profondeur quatre concepts clés. Cette analyse s'inscrit dans la continuité des travaux de chercheurs qui explorent l'espace *entre symboles et technosciences* (Hottois, 1996). Notre approche, relationnelle et opérationnelle, cherche à dépasser les *points aveugles de la science* caractérisés par Michel Bitbol. Elle s'appuie sur la *logique de l'énergie* de Lupasco, qui nous semble la plus apte à décrire la réalité. Elle est menée au filtre d'une projection de l'*anneau des disciplines* de Bailly, pour bénéficier d'un éclairage prismatique. Certainement fragmentaire, celui-ci sert avant tout à alimenter notre hypothèse de recherche sur la nécessité d'un nouveau modèle de représentation de l'information, pour à minima mieux comprendre la transformation numérique, et si possible améliorer son pilotage.

1. Exploration par questionnement

1.0. Introduction de l'exploration

Notre recherche sur le rapport entre l'organisation de l'information et la transformation de l'organisation, que nous avons modélisé avec la « boucle OitO » (cf. 0.1.2.) nous conduit dans cette première partie à approfondir quatre concepts : l'*information*, la *transformation*, l'*organisation* et la *représentation*. Nous éclairons ces concepts au filtre de l'*Anneau* et du *Pentachore des disciplines* introduits dans la partie cadrage (cf. 0.6.2. et 0.6.4.).

1.1. Questionner l'information

Comme le rappellent les directeurs.trices de laboratoires en sciences de l'information et de la communication : « *Dès leur institutionnalisation, les sciences de l'information et de la communication (SIC) ont placé l'information au centre de leurs investigations, comme en témoigne le nom de la discipline. Une vraie difficulté émerge cependant au travers des multiples tentatives pour préciser la notion, l'ériger en concept, ou en faire plus modestement un objet scientifique dont la nature soit consensuelle*. » (DRSIC, 2018:127). Mais si l'information est un concept au cœur des SIC, elle est également devenue centrale dans toutes les disciplines qui composent l'*Anneau des disciplines*. Le terme *information* pose ainsi une première difficulté sémantique : son omniprésence est source de confusion. Il apparaît donc nécessaire de préciser sa définition et ses contextes d'usage, afin de valider notre hypothèse posée dès le cadrage :

H1e. l'information est un vecteur de transformation

Nous commençons donc par rappeler quelques définitions de l'information, en mettant en évidence les concepts associés les plus significatifs (en gras dans la section de la page suivante).

1.1.0. Définitions de l'information

La première définition du CNRTL est simplement : « *action de donner ou de recevoir une forme* ». Le mot vient du latin « *informare : donner forme à, se former une idée de* ». Deux notions sont à retenir : celle de **forme**, définie comme un « *ensemble de traits caractéristiques qui permettent à une réalité concrète ou abstraite d'être reconnue »* et celle de **direction**, puisque la forme peut être soit donnée soit reçue. Celle du dictionnaire encyclopédique des SIC commence par : « *inscription de référence socialement déterminée dans un système formel susceptible de faire l'objet d'une diffusion et d'un échange dans la communication* » (DESIC, 1997:296). Sa définition relie l'information aux notions de **support** (inscription), de **collectif** (référent social), d'**organisation** (système formel) et de **finalité** (communication). D'après le Littré, l'information est « *ce qui donne une forme à l'esprit* » et se distingue de l'instruction, « *qui lui confère une structure* ». Le rapport entre les dimensions *cognitives* et *structurelles* est donc à prendre en compte, ce que nous ferons dans la rubrique sur l'organisation. Rappelons également que l'information est étroitement liée à la **perception**, ce que rappelle l'encyclopédie Wikipédia : « *on qualifie d'information toute donnée pertinente que le système nerveux central est capable d'interpréter pour se construire une représentation du monde et pour interagir correctement avec lui* ». Cette définition met également en avant trois processus complémentaires, que nous aurons l'occasion d'approfondir, l'*interprétation*, la *construction* et l'*interaction*, ainsi qu'un produit, la *représentation*. Nous approfondissons et complétons ces définitions en nous appuyant sur l'anneau des disciplines, en considérant les domaines suivants : mathématiques, physique, biologie, sciences humaines et sociales, philosophie.

1.1.1. Information et Mathématiques

L'information est un concept scientifique récent qui a émergé des mathématiques avec la *Théorie mathématique de l'information*. Le texte fondateur de Claude Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, illustre la relation étroite entre information et communication. Cette idée est incarnée par la discipline française des SIC dès ses origines, comme le déclarait en 1992 Robert Escarpit, l'un de ses fondateurs, interviewé en 1992 par Jean Devèze et Anne-Marie Laulan : « *Pour moi, l'information est le contenu de la communication, et la communication le véhicule de l'information*. »[40] Le DRSIC contextualise la théorie de Shannon : « *Vinrent ensuite une théorie algorithmique, puis une théorie computationnelle. Elles partagent avec la théorie initiale une vision positiviste, où l'information est une chose tangible et mesurable qui circule au moyen de signaux.* » (DRSIC, 2018:128). Comme le rappelle Lise Vieira, « *Shannon et Weaver considéraient que l'information est un processus unidirectionnel allant d'un émetteur vers un ou des récepteurs. [...] Il était donc nécessaire de le compléter sous la forme d'une boucle de rétroaction (feedback) du récepteur vers l'émetteur.* » (Lacombe et Vieira, 2020). Retenons également que ces théories prennent uniquement en compte la *dimension quantitative* de l'information, mesurée en **bit**, unité de mesure élémentaire.

Les mathématiques ont récemment ré-interrogé ce concept à une large échelle. Signalons en particulier la série d'ouvrages du mathématicien Mark Burgin, publiés à la suite d'un premier volume : *The Theory of Information: Fundamentality, Diversity and Unification* (Burgin, 2010). Toujours en cours en 2020, cette série d'ouvrages dresse un état de l'art sur le sujet. Comme le précise l'éditeur, elle comprend « *des livres d'exposition, des monographies de recherche, des manuels et des revues faisant autorité sur les derniers développements de la théorie et de la pratique de l'information, du traitement de l'information, du stockage et de la communication.* »[41] Les premiers titres illustrent cette approche : Volume 2 - *Information and Computation: Essays on Scientific and Philosophical Understanding of Foundations*

40. Cf. https://www.jeanlucmichel.com/Distanciation/Textes.Escarpit.92.html et https://www.uni-bielefeld.de/lili/personen/rwolff/interview%20Escarpit.htm
41. Titres de la série : https://www.worldscientific.com/series/wssis

of Information and Computation; Volume 3 - *Emergent Information: A Unified Theory of Information Framework;* Volume 4 - *An Information Approach to Mitochondrial Dysfunction: Extending Swerdlow's Hypothesis.* Le Volume 11, *Theoretical Information Studies: Information in the World*, est à paraître. En cherchant à établir une *Théorie Générale de l'Information*, nommée GTI, pour « *General Theory of Information* », Mark Burgin met en évidence les relations entre la matière, le savoir, l'énergie et l'information. Il permet de discuter de nouveaux types d'information comme l'**information affective** et l'**information effective** de manière organisée (Brenner, 2012).

Si la théorie de Claude Shannon a été régulièrement interrogée et complétée (Vieira, 2020) nous relevons également la question de la refondation de l'informatique théorique posée par Bernard Stiegler qui entrevoit la nécessité de « *construire un nouveau paradigme organologique, qui prenne en compte les agencements entre fonctions technologiques et fonctions noétiques... »*[42] En référence à Gilbert Simondon, Bernard Stiegler prescrit sur ces bases de développer « *non pas seulement des technologies calculant des informations automatiquement, mais des technologies mettant en relation les savoirs des vivants se transindividuant.* » S'inscrivant dans la théorie du support, il précise que : « L*'information est en cela toujours conditionnée par les performances de ses supports, ce qui signifie que ceux-ci constituent les conditions premières des processus d'individuation. »* La plate-forme étant un support homogénéisant, réducteur de la diversité, il appelle à une refondation de l'informatique théorique. (Stiegler, 2020).

42. Propos rapportés lors de la dernière conférence de Bernard Stiegler https://blogs.mediapart.fr/anamnesis/blog/150820/nous-avons-devenir-la-quasi-cause-du-deces-de-bernard-stiegler

1.1.2. Information et Physique

L'information est également devenue un concept central de la physique. L'astrophysicien John Wheeler déclarait ainsi : « *Je crois que ma vie en physique se divise en trois périodes... J'ai d'abord cru que tout était fait de particules.... Dans ma seconde période que tout était fait de champs ... Dans cette troisième, mon impression est que tout est fait d'information. Plus j'ai réfléchi au mystère du quantum et à l'étrange capacité de comprendre ce monde dans lequel nous vivons, plus je percevais les rôles fondamentaux possibles de la logique et de l'information en tant que fondement de la théorie physique.* »[43] (Wheeler, 1998). Ce point de vue est confirmé par Carlo Rovelli qui précise : « *Nombreux sont les scientifiques qui soupçonnent que le concept d'information peut être fondamental pour accomplir de nouveaux pas en avant en physique. On parle d'information quand on parle de fondement de la thermodynamique, la science de la chaleur, de fondements de la mécanique quantique et, dans d'autres contextes, parfois aussi de manière très imprécise.* » (Rovelli, 2015:221) . En physique, une définition minimaliste de l'information serait attribuée[44] au physicien Donald MacKay : « *Information is a distinction which makes a difference*. » (Floridi, 2010:23). Le concept d'information est effectivement à rapprocher de l'opération de **mesure** d'un signal, qui produit une donnée, dont une compilation adéquate crée de l'information. La mesure est réalisée avec un instrument dans le cadre d'une observation. Trois échelles d'observation sont traditionnellement considérées en physique : l'échelle astronomique, l'échelle classique et l'échelle quantique. Explorons l'interprétation du concept d'information à ces différentes échelles.

L'astrophysique se compose de deux branches, l'astrophysique observationnelle et l'astrophysique théorique. La plupart des observations en astrophysique proviennent de la mesure du spectre électromagnétique. Pour interpréter les

43. Traduction de : « *I think of my lifetime in physics as divided into three periods. In the first period . . . I was in the grip of the idea that Everything is Particles.* » (p.63) et « *I call my second period Everything is Fields. . . . Now I am in the grip of a new vision, that Everything is Information. The more I have pondered the mystery of the quantum and the strange ability to comprehend this world in which we live, the more I see possible fundamental roles for logic and information as the bedrock of physical theory.* » (p.64)

44. Cf. http://www.intropy.co.uk/2011/01/distinction-that-makes-difference.html

observations, les théoriciens produisent des modèles, qu'ils ajustent aux résultats des nouvelles mesures. La physique marque peu la distinction entre données et information : toute donnée devant être contextualisée pour être exploitable, elle est assimilée à une information. En revanche, elle déplace le questionnement sur le contexte de la collecte à celui de l'usage : « *We introduce the notion of the relativity of information and show that the concept of information depends on the context of where and how it is being used.* » (Logan, 2012). Rappelons que les astrophysiciens ont été parmi les premiers à collecter des données massives. L'automatisation de la captation a augmenté les volumes dans des proportions telles que la limite à la compréhension se situe aujourd'hui au niveau du traitement algorithmique (Glanger & Toumani, 2017). Le contexte d'usage est ainsi fixé par des algorithmes. De l'échelle astronomique, nous pouvons ainsi dégager trois propriétés de l'information :

1. l'information prend sa source dans les données, mesure d'un signal.
2. la construction de l'information à partir d'un volume de données nécessite un algorithme.
3. une information produit un double effet : sur l'étude du système (effet interne), sur l'observateur du système (effet externe).

A l'échelle microscopique, la description de l'état physique d'un système quantique utilise une fonction d'onde, modélisée par l'équation de Schrödinger. Son interprétation est probabiliste : une multitude d'états d'une *onde-particule* sont possibles. Ils dépendent de son énergie, de sa position et de son impulsion. L'impulsion équivaut à une quantité de mouvement en physique classique. Après une mesure, le système physique voit son état entièrement réduit à celui qui a été mesuré. Nous précisons ainsi deux autres propriétés fondamentales de l'information :

4. l'effet externe produit un effet interne : l'observation n'est pas neutre.
5. une information résulte d'une interaction, elle nécessite donc un lecteur ou interpréteur, elle est liée à la communication.

A l'échelle classique, l'information est liée à l'entropie. Ce mot grec qui signifie *transformation* caractérise le degré de désorganisation, ou d' imprédictibilité du contenu en information d'un système. Le rapport aujourd'hui considéré est celui entre accroissement de l'entropie et destruction d'information (Parrochia, 1994:43). Cette interprétation nous permet de préciser le concept d'information :

6. il existe une relation entre information et transformation.

Cette relation est étudiée par le physicien David Deutsch, avec sa *théorie des constructeurs*, proposition d'un nouveau mode d'explication en physique fondamentale : « *Constructor theory seeks to express all fundamental scientific theories in terms of a dichotomy between possible and impossible physical transformations – those that can be caused to happen and those that cannot*. » (Deutsch, 2012). Il présente ainsi une théorie de l'information exprimée uniquement en termes de transformation des systèmes physiques possibles et impossibles, soit la « *Constructor Theory of Information* » (Deutsch & Marletto, 2014). Ces différentes propriétés de l'information dans le domaine de la physique expriment un premier niveau de « corroboration » avec notre hypothèse *h1d*.

Signalons également un apport fondamental de la physique par rapport à l'interprétation de Shannon, issu des travaux du chimiste Prigogine et de la *Théorie du chaos*. Cet apport se positionne à l'interface avec les sciences du vivant. La forme n'est pas uniquement donnée ou reçue, elle peut également émerger. La réduction des modèles de corps en interaction à une entité abstraite stable occulte le phénomène d'auto-production de la forme et l'émergence de propriétés associées. Si cette auto-organisation reste provoquée par un apport énergétique externe dans le cas de la physique, ce phénomène n'est pour l'instant expliqué qu'à un niveau statistique et garde une part d'inexplicable en biologie, mais est sujet de recherche actif, sur la morphogenèse et la vie artificielle. Et si le concept d'information est au fondement de la biologie avec l'observation, la collecte de spécimens représentatifs et leur classification par les naturalistes depuis l'époque des Lumières, le concept d'information est depuis cinquante ans devenu central dans les sciences du vivant.

1.1.3. Information et Biologie

C'est en effet en 1970 que François Jacob annonce dans la conclusion de son ouvrage sur *La logique du vivant* : « *Aujourd'hui le monde est messages, codes, information*. » (Jacob, 1970:345). Quatre ans plus tard, en 1974, Emmanuel Laborit introduit une distinction capitale entre **information-structure** et **information-circulante** (Laborit, 1974:37). L'*information-structure* caractérise les différents niveaux d'organisation des systèmes vivants. C'est elle qui met en forme un organisme, le distinguant du monde inanimé. « *L'individu du point de vue de l'information-structure peut être considéré grossièrement comme un système fermé.* » (Laborit, 1974:38). Notons que cette proposition de système fermé sera ensuite affinée par Maturana et Varela avec le concept d'autopoïèse précédemment évoqué — « *Il s'ensuit qu'une machine autopoïétique engendre et spécifie continuellement sa propre organisation*. » (Varela, 1989:45) — et celui de *clôture opérationnelle*. Laborit précisait également qu'au niveau de l'individu, « *l'information-structure, conséquence du programme génétique, « circule » aussi, mais à une échelle bien différente puisqu'elle se transmet de génération en génération, enrichie d'ailleurs par la combinatoire génétique autorisée par la sexualité.* » (Laborit, 1974:139). L'ouverture du système autorise l'*information-circulante*. Elle est portée par différents messagers, chimiques, électriques voire magnétiques, en fonction des organes et des espèces. Les hormones, ces « *messagères chimiques* », sont un exemple d'information-circulante. « *Elle se rapproche de l'information, telle que l'entendent les ingénieurs des télécommunications. [...] Cette information exige d'ailleurs pour être décodée une structure d'accueil plus ou moins spécifique, sans quoi elle ne sera pas signifiante* » (Laborit, 1974:37). C'est en particulier le rôle que joue le cerveau. Considérant plus généralement le système nerveux, notons que l'*information-circulante* est à la fois centrifuge et centripète. En effet, dans le système sensori-moteur, l'information circule des capteurs sensoriels vers le cerveau, et du cerveau vers le système moteur, sans priorité séquentielle affirmée, comme nous le verrons ultérieurement, avec les travaux d'Alain Berthoz. Jean-Pierre Changeux précise que, « *au niveau du système (nerveux), le « code » de*

signalisation associé à ces ondes propagées est extrêmement modeste. [...] En fait, la « sémantique » se trouve au niveau de l'anatomie des connexions » (Changeux et Connes, 1989:130). Ces propos traduisent un lien étroit entre *information-structure* et *information-circulante*. Nous retrouvons ainsi le principe systémique de boucle de rétroaction et le rôle central des architectures, qui induisent des comportements, qui influent en retour sur ces structures. En biologie du développement, ce principe est celui de la **chréode** introduit par Waddington, repris par les géographes, et plus récemment par les sciences de gestion (Bonnet et Lacombe, 2016).

Une nouvelle hypothèse est aujourd'hui développée pour qualifier le rapport entre l'information et le vivant, celle du *fil de la vie*. « *Il est comme une information* [...] *L'information perdure quand les objets passent ou se transforment.* » (Dessalles et al., 2016:11). Les trois auteurs précisent ensuite les conditions de leur proposition : « *Une information doit pouvoir persister ou être recopiée, et une information doit pouvoir être lue.* » (*ibid.*, p.102) Pour préciser ce concept du *fil de la vie*, ils interrogent plusieurs définitions de l'information exprimées par différents auteurs. Ils analysent ainsi successivement l'information comme *surprise* (sens courant), *non redondance statistique* (Shannon), *non-redondance* (Kolmogorov), *complexité organisée* (Bennett), *complexité de production ou compression*. Leur conclusion est la suivante : toutes passent le test. « *Tout dépend de ce à quoi est sensible l'entité qui lit l'information*. » (*ibid*., p.102). Ces différentes visions de l'information dans le domaine de la biologie expriment un second niveau de « corroboration » avec notre hypothèse h1d.

Les précédentes définitions de l'information, considérées du point de vue de la physique et du vivant, s'appliquent également au niveau de l'humain, tant au niveau de l'individu que du collectif.

1.1.4. Information et Sciences humaines et sociales

En 1972, l'anthropologue, psychologue et épistémologue américain Gregory Bateson propose une définition de l'information dans la continuité de celle de MacKay : « *a difference that makes a difference* ». Il soulignait le fait que l'information est une transformation de la différence : « *the fact that information is a transform of difference* » (Bateson, 1972:319). Prolongeant le concept du *fil de la vie*, nous pouvons également considérer l'information comme le *fil de la société*. En effet, le concept d'information est placé au centre de la science moderne, en particulier avec la science informatique[45] : « *les piliers de la science moderne sont les notions de matière, d'énergie et d'onde* » (Berry, 2019). L'auteur met au centre l'information comme descripteur universel, en considérant deux facettes, la donnée et l'algorithme. L'analogie avec les concepts d'*information-message* et d'*information-structure* s'impose d'elle-même. Si le croisement de l'informatique et des SHS a donné naissance aux humanités numériques, nous focalisons notre analyse sur le rapport général entre l'information et la technologie informatique. L'information est traitée par l'informatique comme « *moteur d'inférence et de gestion de formes (hypothèse du MOTIF)* » (Robert, 2000). L'auteur signale également que malgré sa position à tendance hégémonique, l'informatique comme le numérique restent globalement des impensés (Robert, 2012;2016). Vue comme une technologie intellectuelle, l'auteur l'ordonne à trois raisons « *la raison graphique (Goody 1979), la raison classificatrice et la raison simulatrice. Chaque raison s'articule autour d'une dimension privilégiée : la 2D des espaces d'inscription pour la raison graphique, la 3D des volumes (livres et classeurs) pour la raison classificatrice et la 4D des machines (3D des objets + le mouvement) de la raison simulatrice.* » (Robert, 2018). Notons le lien entre la raison classificatrice et la raison graphique, qui porte les concepts de *Tableau*, de *Liste* et de *Formule*. Ce concept de *raison graphique* a par ailleurs été enrichi par celui de *raison computationnelle* (Bachimont, 2004:103) avec les concepts de *Réseau*, de *Programme,* de *Couche*, et de *Maquette numérique*, abordés par la suite (§ 2.4.4).

45. Rappelons que le terme informatique dérive d'information

Nous approfondissons cette analyse en présentant différentes facettes complémentaires. Nous commençons par situer l'information entre *donnée* et *connaissance*, pour considérer ensuite l'ordinateur, le système d'information, l'intelligence artificielle, la décision, son instrumentalisation et sa nécessité.

1.1.4.1. L'information, entre donnée et connaissance

La définition du dictionnaire des SIC précédemment citée précise : « *En toute rigueur, la notion d'information doit être distinguée de données, de savoir et de connaissance* » (Lamizet et Silem, 1997:297). Sous un angle pragmatique, Violaine Prince, spécialiste du Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN) propose les définitions suivantes : **donnée** « *tout signifiant susceptible d'être capté, enregistré, transmis ou modifié par un agent cognitif de traitement de l'information, naturel ou artificiel* », **information** « *signifié transporté par une donnée* » et **connaissance** « *mode d'emploi permettant de transformer les données en information* » (Prince, 1996:25 & 26). Intégrant une connotation procédurale, la notion de *savoir* est traduite par celle de *savoir-faire* qui fait intervenir une notion de qualité et de coût cognitif, en tant que « *mode d'optimisation de l'attribution de sens à des données* » (*ibid*., p.30). La distinction entre donnée, information et connaissance correspond au concept de chaîne de valeur de la connaissance, ou *KVC*, pour *Knowledge Value Chain*, dont il existe différents modèles (Ermine et al., 2012), qui intègrent parfois des termes complémentaires, comme le signal, la compétence, voire la sagesse. Nous en présentons deux, l'un ascendant, l'autre cyclique. Leur comparaison met en évidence un manque constaté dans les systèmes d'information. Le premier modèle est désigné par l'acronyme anglais DIKW, pour *Data*, *Information*, *Knowledge*, *Wisdom* (*Données*, *Information*, *Connaissance*, *Sagesse*). Dans une analyse critique, Jennifer Rowley en a étudié les multiples représentations (Rowley, 2007). Elles sont souvent pyramidales, mais également schématisées dans un plan cadré par deux axes, relationnel et cognitif. La pyramide symbolise les niveaux d'intégration. A chaque étage le nombre de relations augmente conjointement avec le niveau de compréhension. Chaque transition

correspond à un accroissement de sens, notion précisée dans l'encadré E12.

E12 — La notion de sens

La notion de **sens** porte trois significations : *sensibilité*, *intelligibilité* et *direction* (Cassar, 2018:1'12). La **sensibilité** est en lien avec la perception : a du sens ce qui touche les sens, produit sensation et sentiment. Cette première signification est dans le domaine de l'affectif. Les sens précédent la pensée comme le rappelle l'anthropologue David Le Breton : « *Pour l'homme, il n'y a pas d'autres moyens que d'éprouver le monde, d'être traversé et changé en permanence par lui.* [...] *Je sens donc je suis* » (Le Breton, 2006:13). Nos sens agissent comme des filtres modulables. Ils laissent passer certaines fréquences[46] et ont une bande passante plus ou moins développée, qui peut être affinée dans certaines limites. Les scientifiques ont cherché à les étendre et les amplifier. Par exemple, le télescope permet de voir plus loin, la boussole augmente nos capacités de magnétoréception, forts réduites par rapport à d'autres espèces animales, le téléphone permet d'entendre à distance. L'espèce humaine est sans doute devenue ainsi la plus sensible à son environnement[47]. Mais l'apprentissage raisonné de leur usage reste peu partagé, source d'inégalités. Les produits de nos sensations, acquises naturellement ou par la technologies, sont rendus intelligibles par le langage[48] et partagés par nos capacités mimétiques. L'**intelligibilité** correspond à une interprétation de signes en les reliant. Faire sens revient à conceptualiser. Le sens est une construction qui, traduisant une cohérence, génère compréhension dans le champ de la conscience. La **direction** oriente vers une action potentielle. C'est une projection vers un avenir. Cette troisième signification est dans le domaine de l'effectif.

46. La vue, l'ouïe, le toucher traduisent des sensibilités à des phénomènes ondulatoires. L'odorat et le goût traduisent une sensibilité à des réactions chimiques, et déclenchent des signaux ondulatoires, diffusés et traités par le système nerveux.

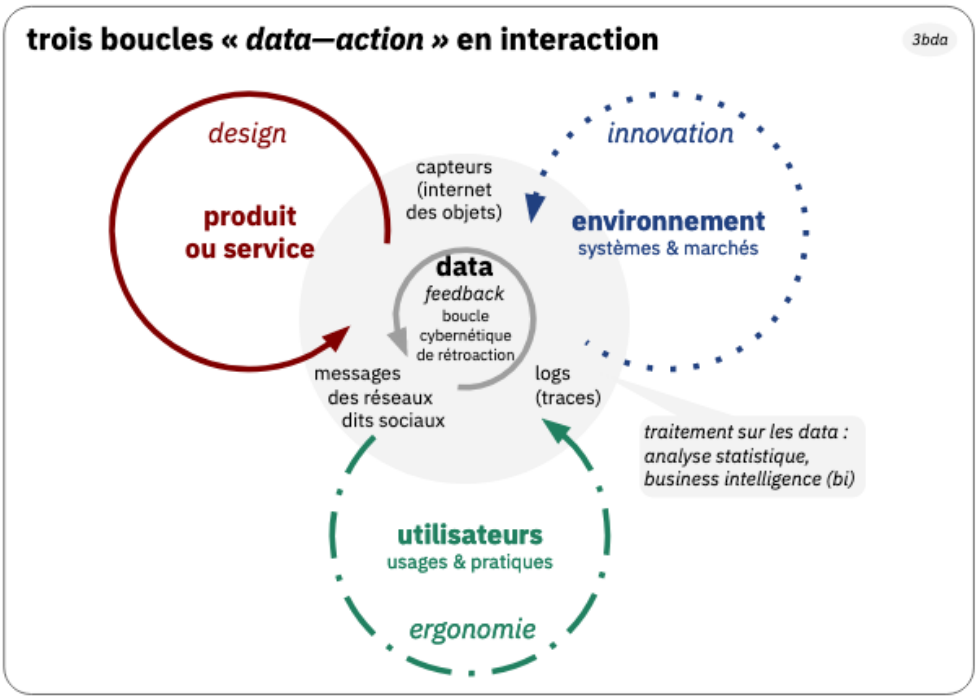
47. Cette sensibilité tournée vers l'extérieur s'est peut être faite au détriment d'une sensibilité à des phénomènes internes à l'individu. La numérisation des processus organisationnels contribue à développer une sensibilité interne aux organisations. Peut-être ouvre-t-elle la voie au développement d'une sensibilité interne aux organismes vivants. La défense de la cause animale semble aller dans ce sens.

48. Le langage du corps, des sensations internes, n'a pas été formalisé au niveau du langage

Le passage du signal analogique au numérique produit l'effet d'une « *bombe à fragmentation* » (Bachimont, 2008). En effet le numérique fragmente, explosant le contenu en unités arbitraires par rapport au sens. Ces unités arbitraires (des 0 et des 1) sont recombinables et recombinées librement, par des algorithmes, sans contrainte liée au contenu. Le numérique *fragmente* et *recompose*. Le sens est produit par l'*assemblage*,[49] donc l'algorithme. Et en retour l'algorithme est susceptible d'orienter la collecte des données. Résultat d'une mesure d'un signal, la donnée est donc soumise aux limites et aléas du système de mesure et des manipulations, conscientes ou non, par l'ensemble des opérateurs de la chaîne de traitement de données. La data est parfois, voire souvent, présentée comme un *nouvel or noir*[50], donnant naissance au *dataïsme* (Brooks, 2013; Harari, 2017), philosophie émergente qui voit le monde comme un flux de données. La mise en relation des données produit l'information, ce qui correspond à une *compréhension des relations*. La mise en relation des informations produit de la connaissance, ce qui correspond à une *compréhension des modèles*. La mise en relation des connaissances est censée mener à la sagesse. Mais l'imprécision sur la signification des termes augmente avec les niveaux. *Sagesse*, le terme au plus haut niveau, est donc le terme le plus flou. Dans la définition d'une chaîne de valeur de la connaissance (Ermine et al., 2012), les auteurs proposent une définition de la sagesse « *comme capacité d'utiliser de manière optimale la connaissance pour établir et atteindre des objectifs souhaités* ». Ils distinguent la compétence au niveau individuel et la capacité au niveau collectif, soit la sagesse individuelle et organisationnelle. La compétence « *comprend une combinaison de connaissances, d'habiletés et de comportements utilisée pour améliorer la performance. […] elle se décline classiquement en savoir, savoir-faire, savoir-être.* » La capacité est définie comme « *l'habileté à réaliser des actions* ». Notons que ces définitions sont représentatives d'une vision utilitariste de la connaissance. C'est également la

49. C'est un processus exploré par les artistes depuis la série des "guitares" de Picasso, en 1912.
50. Cette affirmation n'est pas universelle et mérite d'être nuancée, cf. par exemple cet article : https://medium.com/databook/les-données-ne-sont-pas-le-nouvel-or-noir-1ffe9b741fda

vision du modèle cyclique, dans lequel la sagesse est par ailleurs écartée. Dans ce modèle, la connaissance sert à la prise de décision pour passer à l'action. L'action produit des effets, dont la mesure des signaux génère de nouvelles données. Cette boucle décisionnelle que nous avions précédemment illustrée peut ainsi tourner en continu, en roue libre. Elle s'inscrit elle-même au centre de trois boucles *Data-Action*, autour de l'utilisateur et des usages, du produit ou du service, et de l'environnement, système ou marché (Lacombe, 2014). La carte [*3dba*] illustre ces interactions.



C15 — [3bda] — trois boucles « data—action » en interaction

Le modèle circulaire mérite d'être interrogé dans le contexte des développements de la technologie. Les technologies numériques ont en effet unifié les modes de représentation — en langage binaire tout se décrit avec uniquement deux chiffres, 0 et 1 — ce qui a permis d'automatiser la boucle données, information, connaissance. Dans un cadre opérationnel, la première étape correspond à la détection du signal, la seconde à l'acquisition de données, la troisième à leur traitement, la quatrième à l'inférence de connaissances. Ce dernier point a par ailleurs conduit l'entrepreneur et journaliste américain Chris Anderson a annoncer dans un article de la revue *Wired*

l'obsolescence de la méthode scientifique dans la production de théories en s'appuyant sur un processus d'inférence à partir de données massives (Anderson, 2008). Cette annonce est à rapprocher du concept philosophique de *fin de l'histoire*, dont les interprétations sont multiples, mais qui mériterait plutôt d'être qualifiée de *fin d'un paradigme*. Cette boucle interroge en effet la place de l'humain dans une culture ou la technologie prend une place croissante, définissant de nouveaux rapports de forces et de flux. En comparant les performances brutes de l'humain et de la machine sur des processus élémentaires, la machine l'emporte largement. On retrouve ainsi la machine et les algorithmes au bas niveau de la pyramide. En considérant les processus globaux, c'est l'inverse. La connaissance et la sagesse sont du domaine de l'humain. L'articulation entre les deux est loin d'être évidente. Pour préciser ce rapport, nous rappelons d'abord l'organisation et le fonctionnement de l'ordinateur, des systèmes d'information et de l'intelligence artificielle.

1.1.4.2. L'ordinateur, vue générale de son organisation et fonctionnement

Commençons par la terminologie avec les termes français et anglais, *ordinateur* et *computer*, différents mais qui se complètent. L'ordinateur désigne celui « *qui ordonne, dispose, met en ordre* ». *Computer* bien que d'un emploi rare en français signifie « *déterminer une date; calculer, supputer un temps; calculer, évaluer* ». Deux polarités ressortent : l'ordre et le calcul.

Distinguons maintenant les composantes de l'ordinateur, sachant que cette description est également valable pour le smartphone, équivalent à un micro ordinateur ultra mobile connecté. Le cœur d'un ordinateur est constitué de processeurs, dont la fonction est de calculer, et de mémoires, dont la fonction est de stocker : mémoire de travail, appelée mémoire vive, et mémoire à plus long terme, désignée comme mémoire morte.[51] Ce cœur nécessite une alimentation en énergie. Il est relié à trois types d'interfaces, qui permettent un transfert

51. La séparation entre processeur et mémoire constitue une limite de performances par perte d'énergie et temps de transfert entre ces deux composantes. L'assemblage de memristors pallie cette limitation et permet d'envisager une nouvelle génération de puces simulant le fonctionnement des synapses du cerveau.

bidirectionnel de données. La première est l'interface de communication avec les humains : l'interface homme-machine. Celle-ci a évolué et pose la question centrale de l'adaptation, que nous précisons ci-après. La seconde est l'interface de communication avec d'autres machines. Les ordinateurs sont désormais majoritairement reliées en réseau, échangeant à l'aide de protocoles standardisés comme les protocoles de l'internet, du web et du mail. L'ordinateur peut également être interfacé avec des machines comme une caisse enregistreuse ou un équipement industriel. La troisième interface est plus récente, c'est l'interface avec l'environnement, qui s'est développée en particulier avec la mobilité et la multiplication des capteurs, pour conduire aux *systèmes adaptatifs*. Les robots et véhicules autonomes en sont un des exemples les plus aboutis. Précisons ce concept d'*adaptation*, qui désigne à la fois un processus et le résultat de ce processus. C'est un processus de modification qui permet de rester fonctionnel dans de nouvelles conditions. L'adaptation pose la question générale du rapport entre l'humain, son environnement et la technologie. Dans le domaine de l'anthropologie, Leroi-Gourhan l'éclaire avec l'idée de *liberté imaginaire* (Leroi-Gourhan, 1965:257). Interrogeant plusieurs options, il imagine « *l'homme d'un avenir proche déterminé par une prise de conscience, dans la volonté de demeurer « sapiens ».* » (Leroi-Gourhan, 1965:267). Les systèmes d'information, que nous abordons maintenant, ne fonctionnent pas encore sur ce paradigme.

1.1.4.3. Le système d'information

Le système d'information est un concept protéiforme en renouvellement constant. Nous en donnons deux définitions l'une organique, répondant à la question « *qu'est-ce que c'est ?* », et l'autre fonctionnelle, répondant à la question « *qu'est-ce que cela fait ?* ». Du point de vue organique « *un système d'information est un ensemble organisé de ressources : matériel, logiciel, personnel, données, procédures permettant d'acquérir, de traiter, de stocker, de communiquer des informations (sous forme de données, textes, images, son, etc.) dans des organisations.* » (Reix, 2004)

Selon le modèle canonique du Système-Organisation, « *le système d'information (SI)*

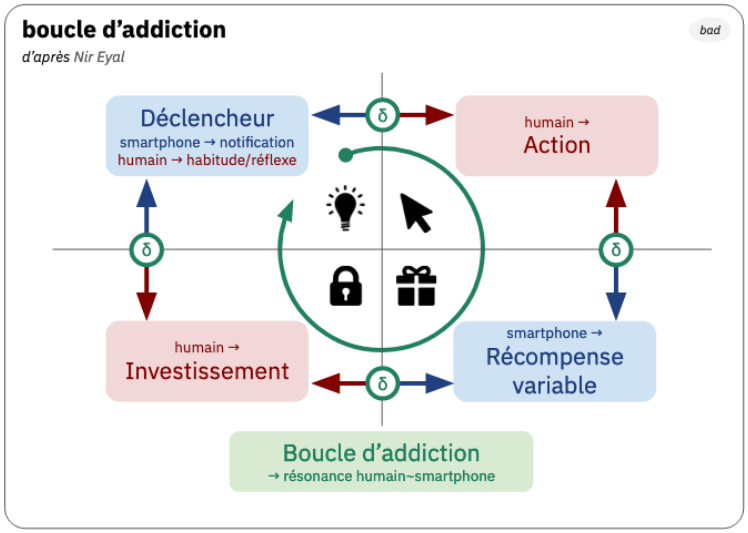
de l'organisation : enregistre les représentations — sous forme symbolique — des opérations du système opérant ; les mémorise ; et les met à disposition, sous forme en général interactive, du système de décision. Lequel, après avoir élaboré ses décisions d'action (les commandes), les fait également enregistrer et mémoriser par le S.I., en les transmettant « pour action » au système opérant. » (Le Moigne, 1990:87).

Ces deux définitions appellent trois remarques. Premièrement, elles traduisent une vision pyramidale de l'organisation. Deuxièmement, les Systèmes d'Information sont pensés au niveau de l'organisation, donc pour répondre aux besoins de l'organisation, et non pas des individus. L'individu est ainsi confronté à une multitude de systèmes d'information différents qui gèrent chacune les informations qui leur sont utiles, dans leur intérêt. Troisièmement, sur la question de la décision, rappelons que dès les début de la cybernétique le projet de l'automatisation de la prise de décision est un argument justifiant l'intérêt des systèmes d'information, grâce « *à leur potentialité de remplacer un décideur humain défaillant* » (Breton & Proulx, 1994:102). Précisions l'évolution de cette interface entre l'individu et les systèmes d'information. Sur un ordinateur, le recueil de données s'effectue selon différentes modalités, incluant ou non l'assentiment de l'individu. Par exemple, dans un formulaire de saisie, l'utilisateur garde une vue globale, en restant dans le paradigme de la page, regroupement d'un ensemble d'informations cohérentes. Mais la collecte de données s'effectue également à l'insu de l'utilisateur par l'enregistrement des transactions. Avec la connexion généralisée, dans une continuité de lieu et de temps qu'apporte la connexion du smartphone au réseau internet, le mécanisme de collecte de traces devient prédominant. Les capteurs de l'appareil produisent des données permettant par agrégation d'établir le profil de l'individu et par comparaison avec d'autres profils d'anticiper son comportement. Ce mode de fonctionnement excessivement intrusif mais quasi transparent s'est généralisé en s'appuyant sur des boucles d'addictions, dont le fonctionnement est rappelé dans l'encadré E13, pour alimenter les réseaux de neurones utilisés en Intelligence Artificielle.

E13 — La boucle d'addiction

Les biais cognitifs sont maîtrisés et exploités par de multiples acteurs du numérique. Le travail est découpé en micro-tâches, qui sont effectuées en échange d'un micro-service, et dont l'organisation renouvelle le taylorisme. Ce micro-travail est même utilisé pour rendre certains produits numériques addictifs, comme l'illustre *Hooked* (Eyal et Hoover, 2014) qui s'appuie sur les travaux sur la *captologie* (Fogg, 2003) : les technologies persuasives consistent à utiliser l'ordinateur pour changer ce que nous pensons et ce que nous faisons.

Le processus de la **boucle d'addiction** suit invariablement 4 étapes, initialisé par un déclencheur externe, une notification, ou interne, une habitude. Il est suivi par une micro-action, comme ouvrir l'application, puis d'une micro-récompense, comme voir un fil d'actualités, et enfin d'un micro-travail, liker, commenter ou publier, alimentant ainsi l'algorithme de construction des fils d'actualités les plus à même de satisfaire les autres membres du réseau social. Cette boucle est illustrée[52] par la carte [*bad*]. Elle nous enferme dans un « **techno-cocon** »[53].



C16 — [bad] — boucle d'addiction

1.1.4.4. L'intelligence artificielle

Le terme d'*intelligence artificielle* (IA) date de 1956, lancé par John McCarthy et Marvin Minsky pour distinguer l'approche symbolique de la cybernétique (Dupuy, 2005). En reprenant d'une part la définition d'intelligence, rappelé dans l'encadré E14 (cf. l'encadré E8 pour la notion d'*artificiel*), et d'autre part l'histoire de

52. Nous y avons ajouté des précisions et une mise en couleur qui s'appuient sur notre modélisation proposée en partie 2
53.

l'intelligence artificielle, résumée dans l'article sur la revanche des neurones (Cardon et al., 2018), le terme d'intelligence apparaît notablement surfait[54] malgré ses incontestables réussites. En effet, l'intelligence relève des processus de compréhension, d'apprentissage et d'adaptation alors que l'intelligence artificielle ne relève aujourd'hui que du raisonnement. L'histoire de l'intelligence artificielle se divise en différentes périodes qui varient selon l'analyse des auteurs. Un premier découpage[55] distingue trois générations résumées dans le tableau T3.

E14 — Définitions de l'intelligence

Intelligence : « *[Chez les êtres animés] Fonction mentale d'organisation du réel en pensées chez l'être humain, en actes chez l'être humain et l'animal. [...] PHILOS., PSYCHOL. Ensemble des fonctions psychiques et psycho-physiologiques concourant à la connaissance, à la compréhension de la nature des choses et de la signification des faits; faculté de connaître et de comprendre [...] LOG., INFORM. Intelligence artificielle. Recherche de moyens susceptibles de doter les systèmes informatiques de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains.* »(CNRTL)

T3 — Trois générations d'intelligence artificielle

Génération	*Intention*
1	Analyse descriptive : "*Que s'est-il passé ?*"
2	Analyse de diagnostic : "*Pourquoi cela s'est-il produit ?*"
3	Analyse prédictive (prévisionnelle) : "*Sur la base de ce qui s'est déjà passé, que pourrait-il se passer à l'avenir ?*"

Notons que le terme d'*intuition artificielle* est parfois employé pour désigner les dernières évolutions de l'IA, exprimant le fait que des algorithmes d'apprentissage par essai et erreurs arrivent à générer des processus fonctionnels sans les étapes

54. Ce qui fait dire à Luc Julia, cocréateur de Siri le système de reconnaissance vocale d'Apple, que *L'intelligence artificielle n'existe pas* (Julia, 2019) lui préférant l'expression *intelligence augmentée*
55. Cf. https://thenextweb.com/neural/2020/09/03/the-fourth-generation-of-ai-is-here-and-its-called-artificial-intuition/

d'analyse par l'humain du raisonnement construit par les agents logiciels[56]. Un deuxième découpage[57] divise l'intelligence artificielle en quatre périodes et deux courants, symbolique et connexionniste. La tendance est aujourd'hui à réunir ces deux courants complémentaires. L'**IA symbolique** s'appuie sur le raisonnement hypothético-déductif : à partir d'entrées et de règles, elle calcule les sorties, c'est-à-dire les effets. La règle est définie par l'équation qui explique le fonctionnement. Cette recherche a pu se traduire aussi bien par la le recherche de primitives sémantiques élémentaires, projet de Roger Schank, qu'au développement d'une ontologie globale et d'une base de connaissances générale, avec le projet *Cyc* de Douglas Lenat. Il s'agit d'une approche par le haut qui s'appuie sur des abstractions. A l'inverse partant du bas c'est-à-dire de données brutes, l**'IA connexionniste** s'appuie sur le raisonnement inductif : à partir d'entrées et de sorties, elle calcule les règles (cf. carte [*rid*] et [*rii*] pour ces deux modes de raisonnement). Focalisée sur les données, cette approche met la compréhension de la règle en second plan. Chaque période apporte son lot de promesses et se heurte à des limites. Nous sommes actuellement dans la quatrième période, de tendance connexionniste, basée sur l'apprentissage artificiel (*machine learning*), qui s'appuie sur trois paradigmes différents (cf. encadré E15), de réseaux de neurones (*deep learning*). Bio-inspirée, l'approche connexionniste s'appuie sur le concept d'activation et sa diffusion une fois le seuil atteint. Les performances du réseau s'améliorent par l'ajustement des pondérations avec l'ajout de nouvelles données. Ce processus présente plusieurs limites. Alimenté par des données, il est sensible aux biais d'alimentation, en particulier la représentativité des cas données en exemple, et les cas imprévus. L'inférence de la règle peut conduire à des résolutions de problèmes aussi bien créatives que absurdes, sans moyen de les anticiper. Il s'agit d'une rupture épistémologique entre l'homme et la machine, qui pose des questions d'éthique, en particulier lorsque des décisions sont en jeu.

56. Cf. par exemple l'article « *Deal or no deal? Training AI bots to negotiate* » posté par des ingénieurs de Facebook, Mike Lewis, Denis Yarats, Devi Parikh, et Dhruv Batra. Disponible en ligne : https://engineering.fb.com/2017/06/14/ml-applications/deal-or-no-deal-training-ai-bots-to-negotiate/ [consulté le 2020-11-18]

57. https://www.usinenouvelle.com/editorial/a-la-conference-franceisai-le-deep-learning-montre-ses-faiblesses-et-cherche-un-nouvel-elan-dans-l-ia-symbolique.N757139

E15 — Paradigmes en apprentissage machine (machine learning)

Les trois paradigmes de base de l'apprentissage machine sont l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et l'apprentissage par renforcement. L'**apprentissage supervisé** (*supervised learning*) part d'exemples annotés et d'un guidage par un humain pour la reconnaissance de modèles, l'humain servant de tiers décisionnaire dans un choix binaire. Un parallèle peut être fait avec l'*apprentissage de concepts* en psychologie animale et humaine. L'**apprentissage non supervisé** (*unsupervised learning*) est un type d'apprentissage machine avec un minimum de supervision humaine qui cherche à identifier de nouveaux modèles dans un ensemble de données non étiquetées. Cette classification automatique de données cherche à détecter des groupes (*cluster*) par partitionnement, méthode d'analyse qui vise à diviser un ensemble en différents paquets homogènes. Plusieurs méthodes sont mises en œuvre comme le regroupement hiérarchique, qui se fait par classification ascendante ou descendante, ou bien le partitionnement en classes, par des algorithmes d'optimisation combinatoire ou d'identification de représentants. Ces analyses utilisent des méthodes mathématiques à la fois géométriques et statistiques, comme l'analyse en composantes principales, méthode de projection qui permet de réduire les dimensions d'un problème en conservant un maximum d'informations. L'**apprentissage par renforcement** (*reinforcement learning*) fonctionne schématiquement par récompense et punition, agent tiers, s'inspirant de la psychologie behavioriste. Il met l'accent sur la recherche d'un équilibre entre l'exploration de nouvelles connaissances et l'exploitation de connaissances actuelles. On retiendra les trois points suivants : ces algorithmes reposent sur la notion d'état et d'évaluation par rapport à des états de référence, un tiers décisionnaire entraîne ces automates dans deux des paradigmes, l'approche est sélective et à visée classificatoire. Notons également qu'il existe en informatique d'autres méthodes de programmation empirique qui sont plus centrées sur le processus de transformation, comme celles inspirées de processus utilisés en métallurgie (recuit) ou de l'évolution biologique (algorithmes génétiques).

1.1.4.5. De l'information à la décision

Comme vu précédemment, l'information est le résultat d'une interaction. Interrogeant l'interaction entre l'humain et l'information, Raya Fidel propose la définition synthétique suivante : « *Une information est une suite de symboles qui :*

1. *a du sens*
2. *est communiqué*
3. *a un effet*

est utilisé pour la prise de décision »[58] (Fidel, 2012:6). Le quatrième point mérite une précision. En effet, en étudiant au plus près comment notre cerveau s'y prend pour décider, le neurophysiologiste Alain Berthoz suggère que l'action précède la décision : ceux que l'on appelle aujourd'hui « les décideurs » seraient avant tout des « hommes d'actions ». (Berthoz, 2003) Ces considérations font suite à ses recherches sur *le sens du mouvement*. Il conclut dans cet ouvrage que « *la mémoire est un mécanisme qui permet de prévoir le futur* » (Berthoz, 1997:289). Nous retrouvons ce rapport entre connaissance, mémoire du passé, et commande, anticipation du futur. L'information étant à la source de la décision et de l'action, c'est un instrument de pouvoir d'où son instrumentalisation.

1.1.4.6. L'instrumentalisation de l'information

Cette pratique se positionne au niveau des organisations, dans l'intention d'influencer des acteurs. C'est une des activités de l'intelligence économique. Dans le domaine militaire, l'un des plus avancés, il s'agit de « *s'assurer de la supériorité informationnelle sur un adversaire* » c'est-à-dire « *orienter ses décisions, avoir un temps d'avance sur lui, orienter son niveau de mobilisation* ». (Stalla-Bourdillon, 2014). Cet expert considère deux modes d'instrumentalisation : intentionnelle et systémique.

L'instrumentalisation intentionnelle consiste à modifier ou orienter le message. Les techniques sont nées des apports de la psychanalyse. Elles sont à l'origine de la

58. Traduction de : « *Information is a string of symbols that : 1. has meaning 2. is communicated, 3. has an effect, and 4. is used for decision making* »

publicité et de la propagande (Bernays, 2007). Abondamment utilisées dans le champ de l'économie et de la politique, leurs effets ont été abondamment étudiés, en particulier par les linguistes, tant sur l'opinion publique et les démocraties, (Chomsky & McChesney, 2005) que dans les organisations, via les actes de langage (Gramaccia, 2001), le rôle du langage étant central dans les système d'information (Prince, 1996). A l'échelle de l'internet, il s'est traduit par le concept de « capitalisme linguistique », qui se résume en une phrase : « *Le succès de Google tient en deux algorithmes : l'un, qui permet de trouver des pages répondant à certains mots, l'a rendu populaire ; l'autre, qui affecte à ces mots une valeur marchande, l'a rendu riche*. » (Kaplan, 2011). Or « *Quand les mots ont un prix, ils cessent d'avoir un sens.* » (Ertzscheid, 2020:53) L'auteur précise : « *Quand les mots ont un prix avant d'avoir un sens, ils deviennent concurrents. Une concurrence qui ne sera jamais libre ou non-faussée.* » (*ibid*., p.55). Ces effets sont renforcés par l'exploitation des nombreuses distorsions dans le traitement cognitif d'une information par l'humain, posant la question débattue (Wagner-Egger, 2011) entre la rationalité humaine et les *biais cognitifs*.[59]

L'instrumentalisation systémique est plus difficilement maîtrisable. Il s'agit d'un phénomène lié au développement des réseaux sociaux qui mettent en connection directe et quasi immédiate des millions d'individus. Cet effet est illustré par les « *bombes-vidéo* » définies comme « *toute vidéo rendue accessible à un très large public, dont le contenu peut provoquer des réactions brutales, susceptibles de porter atteinte à la vie d'individus ou d'entités.* » (Stalla-Bourdillon & Lapadu-Hargues, 2014)

Le contexte de leur diffusion est favorisé par un ensemble de facteurs

59. Sur l'ampleur des biais cognitifs, cf. les ressources en ligne suivantes [consultés le 2020-11-16] les articles anglais et français sur Wikipédia https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cognitive_biases et https://fr.wikipedia.org/wiki/Biais_cognitif, le codex des biais cognitifs de John Manoogian III d'après une organisation en quatre catégories, proposée par Buster Benson (biais découlant d'un surplus d'informations, d'un manque de sens, de la nécessité d'agir rapidement, des limites de la mémoire) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Cognitive_Bias_Codex_(French)_-_John_Manoogian_III_(jm3).svg, le jeu de 52 cartes UX (User eXperience) des designers numériques Stéphanie Walter et Laurence Vagner, disponible en téléchargement sous licence CC BY-NC-SA 4.0. : https://stephaniewalter.design/fr/blog/a-la-decouverte-des-biais-cognitifs-le-jeu-de-52-cartes/

interdépendants. Citons en particulier, d'une part la marchandisation de l'information avec l'effet amplificateur des technologies numériques et la production continue d'info, qui mène à la surabondance et produit un brouillard informationnel, et d'autre part, la crise des autorités et de l'éthique informationnelle qui conduit à la contestation de la chaîne traditionnelle du savoir (observation et description des faits, contextualisation et interprétation, transmission et débat). Il en résulte une explosion des croyances.

Comme l'avait annoncé Philippe Quéau, la *simulation* est un nouvel outil d'écriture qui fonde d'autres raisons[60] et « *ouvre de nouveaux territoires à la création et à la connaissance* » (Quéau, 1986). Mais elle ouvre également la porte au *deepfake*, hypertrucage, avec les algorithmes de l'intelligence artificielle[61], qui rendent aujourd'hui l'information fallacieuse, dénommée sous le terme générique de *fake news* ou *infox*, indétectable à l'œil et à l'oreille humaines[62]. Le numérique automatise cette pratique, qui n'est évidemment pas nouvelle. Retenons que la problématique est amplifiée par deux facteurs : la rapidité de transmission et un biais cognitif. Le résultat est que selon une étude de 2018[63] du MIT, Massachussets Institute of Technology, les fausses nouvelles circulent six fois plus vite que les vraies sur un réseau social comme Twitter. Notons pour clore ce paragraphe que le rapport entre quantité et qualité se pose pour l'information comme pour la nourriture.

1.1.4.7. S'informer comme se nourrir, un besoin vital

La métaphore entre information et nourriture est pertinente : les processus

60. Nous relions la simulation à la *maquette numérique* de la *raison computationnelle* proposée par Bruno Bachimont (cf. § 3.6).

61. Voir par exemple la présentation de K.R. Prajwal et R Mukhopadhyay à ACM Multimédia 2020 sur l'algorithme de synchronisation des lèvres : « *Wav2Lip: Accurately Lip-syncing Videos In The Wild* », disponible en ligne : https://youtu.be/0fXaDCZNOJc [consulté le 2020-11-15]

62. Voir par exemple l'article d'Amine Kacete, ingénieur de recherche en intelligence artificielle, publié dans l'usine nouvelle du 21 septembre 2020 https://www.usinenouvelle.com/article/avis-d-expert-l-ere-du-faux-et-si-la-prochaine-pandemie-etait-numerique.N1006559

63. « *Study: On Twitter, false news travels faster than true stories* », disponible en ligne : https://news.mit.edu/2018/study-twitter-false-news-travels-faster-true-stories-0308 [consulté le 2020-11-15]

« *informer, être informé et s'informer* » trouvent leur pendant « *nourrir, être nourri et se nourrir* ». Ce qui permet d'identifier des pathologies mais également des bonnes pratiques (Rangaswami, 2012). Olivier Auber note cependant une inversion dans le rapport entre information et nourriture : « *nous sommes en compétition non pas pour obtenir de l'information mais pour en fournir aux autres, nous sommes même prêts à payer pour cela* ». (Auber, 2019b). Submergés de données nous restons cependant affamés d'outils et de modèles qui leur donnent du sens (Wurman, 2000). Or la question du sens relève plus particulièrement du domaine de la philosophie.

1.1.5. Information et Philosophie

S'appuyant sur les théories naissantes de la cybernétique, l'information est au centre de l'œuvre de Gilbert Simondon (Simondon, 2005, 2010). Bien que antérieure à la révolution numérique, sa pensée reste d'actualité (Hui, 2015). Ses successeurs ont apporté des éclairages complémentaires sur l'informatique et l'information numérique. Nous avons ainsi trouvé des éclairages à nos questionnements dans les concepts et théories abordés par Daniel Parrochia, Bernard Stiegler, Pierre Levy, Mark Alizart, Stéphane Vial, Mathieu Triclot et Tristan Garcia. Sans prétendre à l'exhaustivité, le tableau T4 qui les trie par ancienneté dresse un bref inventaire des concepts ou théories qu'ils ont mobilisés. Nous en faisons ci-après une brève présentation.

Le premier Gilbert Simondon, dépassant la théorie de Shannon, « *fait le pari de rendre possible l'application de la notion d'information à la réalité psycho-sociale en partant d'un paradigme physique, mais auto-complexifiable.* » (Barthélemy, 2015). Il s'appuie pour cela sur le concept de transduction. La transduction se définit comme « *une opération physique, biologique, mentale, sociale, par laquelle une activité se propage de proche en proche à l'intérieur d'un domaine, en fondant cette propagation sur une structuration du domaine opérée de place en place* » (Simondon, 2005:32). Signalons enfin que si, pour établir la théorie de l'individuation, « *il prit comme objet de réflexion les processus d'amplification psycho-sociaux et non biologiques* » (Bontems, 2017:250), elle « *trouverait ainsi finalement la confirmation*

que les relations de l'individu avec son milieu physique associé sont bien contemporaines de l'information biologique au travers du processus de l'individuation ». (Bontems, 2017:262)

T4 — Quelques philosophes abordant l'information et(ou) le numérique

philosophe	*concepts ou théories mobilisés*
Gilbert Simondon (1924-1989)	transduction
Daniel Parrochia (1951-)	cosmologie de l'information
Bernard Stiegler (1952-2020)	exosomatique, pharmakon
Pierre Lévy (1956-)	intelligence collective, sphère sémantique
Mark Alizart (1975-)	création informatique
Stéphane Vial (1975-)	ontophanie numérique
Mathieu Triclot (1976-)	cybernétique, jeu vidéo, interaction
Tristan Garcia (1981-)	intensité

Les auteurs suivants s'inscrivent dans la continuité de Simondon, qu'ils s'en revendiquent ou n'y fassent pas explicitement référence.

L'information est également au cœur de la réflexion de Daniel Parrochia. S'interrogeant sur sa maîtrise, il en analyse ses lois en se fondant sur l'examen de la démarche des sciences de la nature. S'appuyant sur la double dimension représentative de l'information, qui permet de représenter à la fois le processus et son résultat, il propose ainsi une cosmologie de l'information (Parrochia, 1994). Sa traduction énergétique de l'information, créant une analogie entre la gravité et la compression, l'amène à définir un univers informationnel constitué d'informations réticulées, à l'image de l'univers observé. Les géodésiques, chemins les plus courts entre objets constituant cet univers, deviennent alors support du sens.

Dans la continuité de Simondon, Bernard Stiegler analyse l'effet *exosomatique* des technologies numériques — La *mémoire exosomatique* est l'enregistrement de souvenirs en dehors du cerveau — ce qui le conduit à une *exorganologie*, « *c'est-à-*

dire d'une étude des exorganismes complexes tels qu'ils se forment à travers des systèmes d'obligations au sens que Bergson donne au mot obligation dans Les deux sources de la morale et de la religion »[64] . Il relève en particulier une caractéristique dialogique du numérique qui agit comme un **pharmakon**[65] c'est-à-dire qui est à la fois un poison et un remède, tout est question de dosage.

Pierre Lévy s'est intéressé aux conditions de l'intelligence collective : « *L'intelligence humaine n'est pas une intelligence isolée ou individuelle. On pense avec les langages hérités, avec les savoirs qu'on nous a transmis* » (Lecomte, 2012). Dans cet entretien, il précise : « *On a aujourd'hui une capacité de mémoire et une puissance de calcul incroyables, mais on n'a pas les systèmes de codage ou les systèmes symboliques qui sont adaptés pour exploiter toutes ces nouvelles possibilités* ». Son langage IEML, Information Economy Markup Language, est développé à partir d'une grammaire de combinant six symboles, *Les opérateurs élémentaires de la réflexion* qui « *répondent aux noms de vide (E), virtuel (U), actuel (A), signe (S), être (B) et chose (T)* » (Levy, 2018). Ils sont organisés selon trois niveaux : une opposition pragmatique entre virtuel et actuel, une trilogie de la représentation, ces deux groupes représentant le plein qui s'oppose au vide. L'IEML « *est basée sur une isomorphie entre graphes de relations algébriques entre signifiants et graphes de relations sémantiques entre signifiés* » (Levy, 2017). Le philosophe précise que le texte IEML est univoque même si l'acte de langage reste indéterminé. Il est à noter que l'IEML reste dans une dimension calculatoire et ne peut se passer des algorithmes pour sa manipulation. Notons également que si IEML dépasse la logique binaire — « *Virtualité et actualité ne sont pas des catégories fermées, fonctionnant selon le principe du tiers exclu : elles s'impliquent réciproquement. C'est une dynamique de couple où la distribution des rôles relève de l'interprétation en contexte. Virtuel et actuel montent récursivement l'un sur l'autre pour construire des étages de sorte que le plafond virtuel d'un locataire soit le plancher actuel du locataire du dessus*. » (Levy, 2018) — nous n'avons pas trouvé de référence explicite à la logique du contradictoire et du tiers-inclus de Lupasco, dans les ouvrages de

64. Extrait de : https://recherchecontributive.org/462/
65. Cf. L'auteur développe une école de philosophie autour de ce concept : cf. https://pharmakon.fr/

Pierre Lévy, alors qu'ils sont aux fondements de nos travaux. La richesse de ses travaux appelle cependant une analyse comparative détaillée des similarités et différences; elle est en cours pour faire l'objet d'une communication spécifique.

Se référant à Hegel, le philosophe Mark Alizart mets en avant le caractère organique de l'informatique qui articule la pensée et l'être : « *Entrer dans l'ordinateur est comme s'engager sur la surface d'un ruban de Möbius : cela conduit à se retrouver sur le bord opposé dans d'en rendre compte.* » (Alizart, 2017:38) Il relève également le « *Paradoxe de cette machine qui marque le point culminant de l'utilitarisme et signe ce faisant la fin de deux mille ans de prétention humaine à la maîtrise.* » (Alizart, 2017:38)

Designer et philosophe, Stéphane Vial a développé la théorie de l'*ontophanie numérique* (Vial, 2012), c'est-à-dire la manière dont les êtres et les choses nous apparaissent à travers les appareils numériques ou sous l'effet de leur omniprésence. Replaçant la révolution numérique dans le mouvement d'ensemble de l'histoire des technique, il distingue dans une phénoménologie des usages onze caractéristiques fondamentales : la *nouménalité*, l'*idéalité*, l'*interactivité*, la *virtualité*, la *versatilité*, la *réticularité*, la *reproductibilité instantanée*, la *réversibilité*, la *destructibilité*, la *fluidité* et la *ludogénéité*.[66]

Dans la continuité de Daniel Parrochia, Mathieu Triclot « *défend l'idée que le concept d'information est toujours clivé entre le code et le signal.* » (Triclot, 2008) Il établit ainsi une complémentarité d'approche entre l'intelligence artificielle et la cybernétique, qui ont chacune favorisé l'une de ces deux facettes de l'information.

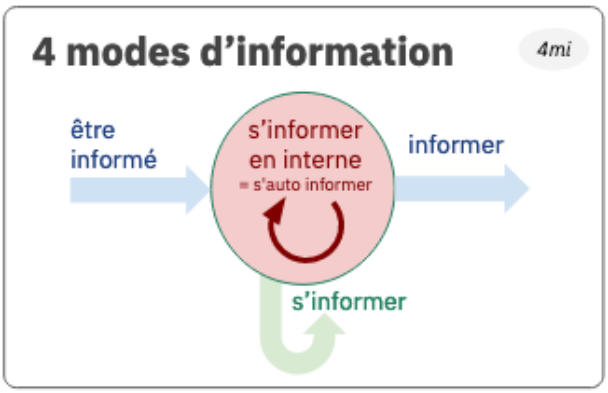
Signalons enfin l'essai de Tristan Garcia qui établit un parallèle entre l'avènement de l'électricité et l'évolution de nos modes de vie, centrées sur l'intensité : *La vie intense* (Garcia, 2016) est reliée au développement de la modernité, de la raison, de la science et des technologies, en particulier numériques.

66. La **nouménalité** traduit « *la capacité à se situer hors du champ de l'expérience possible.* » Le numérique relève du monde des idées : le phénomène numérique est programmable, mis en œuvre par des développeurs. Le phénomène numérique relève également d'une interaction, c'est une simulation, il est instable. Il est copiable, annulable et peut être néantisé. Les propriétés de réticularité, fluidité et jouabilité expliquent sa diffusion.

1.1.6. Interprétation : 1 boucle, 4 modes, 3 formes, des vecteurs

Ce tour d'horizon a illustré la dimension transdisciplinaire de l'information. Nous synthétisons dans cette partie de notre analyse quelques points clés autour du concept d'information.

En premier lieu, par rapport au corps des disciplines introduit dans la partie cadrage, nous constatons bien la triple nature de l'information : un fait perçu dans le plan de la création-réalité, un concept ou une règle-équation interprété dans le plan de la connaissance-abstraction, une décision appliquée dans le plan de la commande-gestion. L'application de la décision correspond à une action qui se traduit par des effets, bouclant ainsi le processus. Ces boucles relient nos trois plans, exploratoire de la réalité, organisationnel de la connaissance, intermédiaire de la commande. Au cœur de cette boucle, nous identifions un double enjeu, sur la valeur et la vérité de l'information. La valeur de l'information traduit la capacité d'action. Nous identifions trois critères associés : sa rareté, sa pertinence et sa précision. La rareté donne un avantage au premier qui possède l'information, sous réserve qu'il soit en mesure de l'interpréter. La pertinence traduit l'adéquation au contexte, le champ couvert. La précision affine le pouvoir de contrôle. La vérité de l'information traduit quant à elle la conformité à la réalité et donc la capacité de construction. Sachant que l'information se propage par transduction, il est pertinent d'identifier les différentes formes de propagation. Du point de vue d'une organisation, nous proposons de considérer logiquement quatre modes : informer, être informé, s'informer et s'auto-informer. Illustrés par la carte [*4mi*], ils sont précisés ci-après. L'information affecte une organisation selon quatre modes : informer, être informé, s'informer, s'informer en interne ou s'auto-informer. *Informer* est un verbe transitif. En grammaire, la transitivité est une propriété qui désigne l'aptitude de



C17 — [4mi] — 4 modes d'information

certains verbes à accepter un complément d'objet. Pour le verbe informer la transitivité est double, directe et indirecte : directe puisqu'on informe quelqu'un (un sujet) ou quelque chose (un objet), indirecte car on informe de quelque chose. C'est une relation, effective, de l'interne vers l'externe. *Être informé* exprime la relation inverse, affective, de l'externe vers l'interne. *S'informer* désigne une troisième forme, une relation réflexive. Le sujet va chercher l'information à l'extérieur, pour se l'approprier. *S'auto-informer* exprime un processus interne, invisible et structurant. Ce mode opère au cœur de l'organisation. Il est à relier à l'information-structure, et au processus d'instruction, précédemment évoqués.

Ces quatre modes ont un rapport variable à la conscience. Informer est un processus actif mais qui peut être déclenché par automatisme. Il en en de même de s'informer, cet acte pouvant être purement compulsif. Dans l'acte d'être informé, a priori passif, différents degrés sont cependant à considérer. En supposant que l'information soit reçue, elle est ou non traitée. Son appréhension peut relever du processus d'assimilation ou accommodation. Le psychologue Jean Piaget a précisé ces concepts : « *L'assimilation est le processus par lequel une réalité extérieure est intégrée à un schème*. [...] *Comme son nom l'indique, l'assimilation revient à transformer l'autre en même, ce processus pouvant être accompagné de son contraire, l'accommodation ou la transformation du cadre d'assimilation en raison des limitations ou des obstacles qu'il rencontre*. »[67] Enfin le processus consistant à s'auto-informer semble agir sur la structure selon un mode apparemment inconscient, mais pose cependant la question de l'instrumentalisation de l'information. Il s'agit de la relation entre l'information-message-donnée et l'information-structure-algorithme, que nous questionnons.

1.1.6.1. Vers une troisième forme d'information

En effet, dans de nombreux domaines — nous prendrons quatre exemples dans les champs de la biologie, de l'informatique, du droit et de l'économie — un élément

67. Ces termes sont définis sur le site web de la fondation Jean Piaget, consulté le 1 novembre 2019 : http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/presentation/index_notion.php?PRESMODE=1&NOTIONID=36

tiers est nécessaire pour que le processus fonctionne. Nous proposons, pour qualifier cette forme, le concept d'**information-déclencheur**. L'*information-déclencheur* pourrait être rapprochée de la *cause motrice* chez Aristote, c'est-à-dire le principe premier d'où part le changement ou la mise en repos. Nous éclairons ce concept par analogie dans différents champs. Prenons un premier exemple dans le champ du vivant pour illustrer la différence entre i*nformation-structure*, *information-message* et *information-déclencheur*. L'*information-structure* est représentée par le code génétique et les macromolécules structurantes. L'hormone est un exemple d'*information-message*. Les régulateurs comme les enzymes, qui abaissent l'énergie d'activation d'une réaction chimique, ou les micro-protéines qui contrôlent l'activité de protéines plus grosses sont des exemples d'*information-déclencheur*. On notera également que les aliments ont un pouvoir énergétique libéré par l'organisme dans la digestion des aliments. Les molécules sont ainsi dirigées vers les tissus qui vont les assimiler. En informatique, le déclencheur est un opérateur humain ou un automatisme. Nous avons effectivement vu que les échanges informatisés s'appuient sur la donnée, que nous pouvons qualifier de « *nourriture des machines* », les assimilant à des molécules, alors que l'humain se nourrit d'informations, l'équivalent d'aliments. Nous situons les unités élémentaires de très petite taille, données ou molécules, à un niveau micro, alors que l'humain raisonne à partir d'entités de plus haut niveau, que nous qualifions de méso. Gérer le quantitatif nécessite des technologies spécialisées, des instruments et méthodes spécifiques, uniquement maîtrisés par des spécialistes.

Dans le champ juridique, si l'on distingue la loi des jugements rendus, l'*information-déclencheur* correspondra à la décision de justice. On notera par ailleurs différents statuts et comportements par rapport à la loi. Une action peut ainsi être légale, illégale ou alégale, c'est-à-dire à la frontière, dans une zone floue, la transgression pouvant être couverte par la légitimité, et la communication utilisée comme outil de manipulation. Les comportements associés sont qualifiés respectivement de militant, terroriste, activiste. Dans cette zone intermédiaire, les techniques de manipulation sont par exemple l'injonction contradictoire (ou paradoxale) et l'ordre

illégal.

Nous pouvons établir une quatrième métaphore dans le champ de l'économie, avec la monnaie, forme particulière d'information. Les échanges monétaires sont strictement encadrés par une réglementation qui autorise différents supports (pièces, billets, chèques, écritures numériques) dont l'usage dépend de différents paramètres comme le mode d'échange mais aussi la valeur du bien ou du service. Le tiers-inclus correspond à la décision d'usage, qui se traduit par exemple par un ordre de virement ou d'affectation. On notera trois effets du numérique sur ce fonctionnement, et plus généralement sur le mode de fonctionnement des systèmes bancaires et financiers, qui s'appuient sur le prélèvement d'une portion d'un flux. Ce principe s'apparente à celui de l'impôt, par ailleurs fort ancien, comme la dîme. Le premier effet résulte de l'uniformisation de l'écriture numérique qui induit une possibilité de comparaison et donc de mise en concurrence pour sélectionner les flux les plus rentables. Cela se traduit par une emprise croissante du numérique pour la gestion des flux, dans des domaines relevant du social[68]. Le deuxième effet est lié à l'accélération des flux d'échanges puisque la vitesse de transmission augmente les débits avec pour conséquence, une organisation par objectifs mesurée par des indicateurs de contrôle des flux[69]. Le troisième effet est lié à l'automatisation de la commande par les algorithmes. Une analogie avec le courant électrique associe le premier effet à l'intensité, le second à la tension, et le troisième à la puissance, puisqu'il s'exprime par leur produit, marquant la relation étroite entre le technique, l'économique et le juridique, dont dépend le social. Sans régulation, la banque et la finance s'appuient naturellement sur les technologies numériques afin de mieux contrôler les flux. Ils orientent alors les architectures, renforçant leur pouvoir dans une boucle de rétroaction. Les architectures de gestion de données massives (big data) devenant de plus en plus sophistiquées et

68. Comme par exemple celui de la santé avec en France la T2A, tarification à l'activité issu de la réforme du plan Hôpital 2007

69. Effet recherché par exemple avec la loi de programmation pluriannuelle de la recherche, cette politique générant des contraintes difficiles à tenir comme l'analysait déjà le prix Nobel de physique Serge Haroche en 2014, dans l'article « *Entre perspectives à long terme et contrats à court terme: la recherche en physique à la croisée des chemins* », disponible en ligne [consulté le 2019/12/12] : http://parisinnovationreview.com/article/la-recherche-en-physique-a-la-croisee-des-chemins

coûteuses, la gestion de l'information selon cette approche échappe alors à la majorité des acteurs économiques. Depuis quelques années déjà, certains technocritiques comme Cédric Biagini ont fait le constat de cette *emprise numérique*, les nouvelles technologies ayant colonisé nos vies (Biagini, 2012). Il nous semble cependant entrevoir des alternatives à différents niveaux. Au niveau logiciel dans un premier temps avec les mouvements du logiciel libre et de l'open source[70] et leurs réalisations. Au niveau de l'organisation de l'information, une modélisation centrée sur l'action et directement exploitable indépendamment, nous semble une opportunité à approfondir. Nous l'aborderons au § 1.3.7. sur l'effet du numérique sur l'organisation de l'information. Le tableau T5 résume notre point de vue sur ce concept étendu d'*information-déclencheur*.

T5 — Information et tiers-inclus

information champ	*-structure*	*-message*	*-déclencheur (tiers-inclus)*
du vivant	code génétiques macro-molécules	hormones	enzymes
informatique	algorithme	donnée	humain (opérateur) ou automatisme (*trigger*)
juridique	lois	faits jugés	décision de justice
économique	réglementation	transactions	décision d'usage

La mise en évidence du rôle profond des technologies numériques portés par des choix économiques et des choix ou non-choix politiques de régulation[71] a renforcé notre hypothèse explicative HI1e que nous rappelons avant d'étudier les composantes de ce vecteur.

H1e. l'information est un vecteur de transformation

70. Sur la distinction entre les deux on se référera à un article de Richard Stallman, dont une traduction française est disponible en ligne [consulté le 2019-12-12] : http://www.gnu.org/philosophy/open-source-misses-the-point.html

71. L'analyse des multiples causes reste à faire mais sort du cadre de notre étude

1.1.6.2. L'information comme vecteur de transformation

Mathématiquement un vecteur est un élément d'un espace vectoriel, espace caractérisé par ses dimensions. Ce vecteur se positionne dans le plan qui porte C3, la *Boucle de la Commande* du *Pentachore des disciplines* (cf. § 0.6.4). Nous avons positionné dans ce plan trois groupes de disciplines : F. Science informatique, Automatique, Sciences de l'ingénieur ; G. Droit, Science politique, Sciences de gestion et du management, Sciences économiques ; H. Sciences de l'information et de la communication. Nous les considérons comme trois composantes du vecteur, que nous pouvons qualifier de *composante économique*, de *composante technologique* et de *composante humaine et sociale*.

La *composante économique* s'appuie sur la monnaie. Suite à l'abandon du rôle légal international de l'or lors des accords de Jamaïque en 1976, la monnaie est devenue de nature purement informationnelle sur l'ensemble de ses trois fonctions initialement définies par Aristote : intermédiaire dans les échanges, réserve de valeur, unité de compte. A l'ère de la mondialisation, la composante économique pilote en grande partie les transformations de la société. Elle est traitée par les sciences de gestion et du management, en s'appuyant sur les deux autres composantes.

La *composante technologique* s'appuie aujourd'hui sur l'algorithme, c'est-à-dire les disciplines de l'informatique et de l'automatique. Comme nous l'avons vu précédemment, la composante technologique est étroitement liée à la composante économique avec laquelle elle partage la notion de flux[72]. Ce phénomène de flux se répercute sur toute la société comme l'ont identifié et théorisé les sociologues, avec l'orientation vers une **société liquide** (Bauman, 1998) et la *théorie de l'accélération* (Rosa, 2014). Nous approfondirons ces points. Ces flux de données sont corrélés à des flux financiers, les leaders atteignant un poids économique considérable dans les années 2010, telles les entreprises américaines et chinoises, respectivement

72. Concernant les données, l'infographie régulièrement actualisée « Data never Sleeps » illustre leur importance : cf. https://www.domo.com/learn/data-never-sleeps-8 [consulté le 2020-09-01]

qualifiées par les acronymes GAFAM[73] et BATX[74]. Les GAFAM en particulier ont des capitalisations boursières parmi les plus élevées au monde en 2020[75]. Ce poids économique, supérieur au PIB de certains états, peut produire des interférences avec la politique et le juridique, en particulier via des opérations de lobbying, questionnant la théorie de la séparation des pouvoirs de Locke et Montesquieu.

La *composante humaine et sociale* s'appuie sur la communication et les capacités humaines autour de l'information et de la communication, que la transversalité de notre discipline permet d'étudier aux différentes échelles proxémiques, personnelle, sociale et publique (Hall, 1978),[76] tant du point de vue individuel, à la frontière de la psychologie, qu'au point de vue collectif, à la frontière avec la sociologie. Les échanges d'information sont désormais intermédiés par des dispositifs numériques, les échanges prenant des formes et des intensités variables (suggestion, injonction, persuasion, manipulation), dans des cadres également variés : familial, éducatif, entrepreneurial, juridique, politique… Cette bascule du traitement et l'information et la communication d'un mode manuel à un mode automatisé a été progressive. En s'appuyant sur des propriétés de l'électricité, la technologie a dans un premier temps servi à augmenter les capacités limitées de l'humain avec des supports de mémoire et des canaux de transmission. Aujourd'hui avec les technologies numériques et en particulier la connexion continue, apportée par le couple smartphone et cloud, nous sommes dans des *systèmes adaptatifs* dont le fonctionnement se rapproche de celui du vivant, vivant qui se déploie à une échelle planétaire. Une nouvelle « *Grande Transformation* » (Polanyi, 1983) semble ainsi se dessiner, de nature numérique. Nous abordons cette hypothèse de transformation, de deux façons : en étudiant sa validité par rapport aux définitions courantes dans différents domaines, et en identifiant d'autres termes qui pourraient répondre à cette même définition, ce qui nous permettra de défendre l'hypothèse

73. Le sigle GAFAM désigne les géants américains Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft
74. Le sigle BATX désigne les géants chinois Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi
75. Le graphique comparatif de Statista établi à partir des données de Yahoo! Finance est à ce titre éloquent — cf. https://fr.statista.com/infographie/22656/classement-entreprises-capitalisation-boursiere/
76. Nous développons ce point dans l'encadré E30.

suivante :

H2d. la gestion de l'information dans sa forme numérique ne s'effectue pas au bon niveau d'organisation (du point de vue de l'humain)

1.2. Questionner la transformation

Pour caractériser la **transformation**, nous commençons par considérer la définition de ce terme ainsi que son champ lexical.

1.2.0. Définition de la Transformation

Signalons déjà que, comme de nombreux mots de la langue, la transformation désigne à la fois une action et son résultat. Nous retiendrons uniquement le processus.

L'étymologie nous éclaire. Transformation est un mot composé de l'élément formant « *trans-* » et du substantif « *formation* ». *Trans* signifie « *qui traverse l'espace ou la limite, qui est de l'autre côté de la limite que désigne le substantif de la base* » et formation « *action de créer, de produire quelque chose*. » *Formation* désigne le « *processus par lequel une chose acquiert la forme, l'organisation qui lui donne son existence, son identité* », la **forme** étant définie dans le CNRTL par un « *ensemble de traits caractéristiques qui permettent à une réalité concrète ou abstraite d'être reconnue*. »[77]

Pour en discerner les nuances, considérons parmi les nombreux synonymes, les cinq premiers selon le *Dictionnaire Electronique des Synonymes* constitué par le CRISCO, centre de recherche inter-langues sur la signification en contexte : changement, évolution, modification, métamorphose, mutation.

Dans l'emploi courant, les termes « *transformation* » et « *changement* » sont souvent considérés comme interchangeables. Le **changement** est défini par « *action, fait de changer; résultat de cette action* », changer signifiant « *faire ou devenir autre* »[78]. Daniel Bonnet a mené une analyse détaillée de l'emploi de ces termes dans le contexte de leur conduite. Retenons qu'il y a possibilité de « *changer de position sans changer de forme* » (Bonnet, 2007:144). Notons cependant que le changement de position conduit à un changement de contexte donc d'interactions potentielles

77. https://cnrtl.fr/definition/forme
78. https://cnrtl.fr/definition/changement et https://cnrtl.fr/definition/changer

qui peuvent induire un changement de forme, c'est-à-dire une transformation, qui n'est pas toujours perceptible au moment du changement. Nous utiliserons donc indifféremment l'un ou l'autre terme par la suite.

Du dictionnaire du CNRTL, nous retenons les définitions d'une ensemble de termes : « *évolution* » désigne un « *changement progressif de position ou de nature* », « *nature* » signifiant « *l'ensemble des qualités, des propriétés qui définissent un être, un phénomène ou une chose concrète, qui lui confèrent son identité*. » A l'inverse, une « *modification* » est considérée comme « *changement dans une chose sans en altérer la nature*. » Les deux termes suivants sont plus radicaux. « *Métamorphose* » désigne un « *changement de forme, de nature ou de structure si importante que l'être ou la chose qui en est l'objet n'est plus reconnaissable*. » Rappelons qu'une *structure* désigne un « *agencement, entre eux, des éléments constitutifs d'un ensemble construit, qui fait de cet ensemble un tout cohérent et lui donne son aspect spécifique* ». Le dernier terme, « *mutation* », qualifie un « *changement radical et profond* ». A ces termes nous pouvons ajouter celui de « *déformation* », qui traduit généralement une altération de la forme. La physique étudie la déformation des matériaux suite à l'application d'une force ou d'une tension. Cette déformation peut-être réversible ou non. La *mécanique des milieux continus* qualifie la première d'*élastique*, la seconde de *plastique*. L'augmentation de la force conduit à la *rupture*.

De ces différentes définitions nous pouvons faire ressortir quelques caractéristiques, qui s'appuient sur des oppositions. Une transformation peut-être : interne et/ou externe, lente et/ou rapide, partielle et/ou complète, superficielle et/ou profonde, gérée et/ou subie, réversible ou non. Ces facteurs sont autant de dimensions qui définissent la variété des transformations possibles. A partir de ce premier constat, la question est de savoir s'il existe des régularités, des principes, voire des lois de transformation. Il s'agit donc d'identifier des *invariants de transformation*. Nous commencerons notre analyse en partant un cran plus en amont dans l'anneau des disciplines, c'est-à-dire en partant de la philosophie, en sélectionnant quelques auteurs significatifs. Remontant aux auteurs de l'antiquité, pour lesquels étude des phénomènes naturels et philosophie étaient étroitement

liés, nous citerons également des auteurs contemporains qui s'inspirent particulièrement des avancées de la science. Néanmoins, le plus important pour notre propos, Stéphane Lupasco, sera abordée dans la rubrique consacrée à la physique, sa philosophie dérivant directement de la physique quantique.

1.2.1. Transformation et Philosophie

Les questions du changement et de la transformation sont concomitantes à l'origine de la philosophie, liées à l'observation de la nature, tant en orient qu'en occident. En orient, signalons les théories du qi (souffle), la figure du yin-yang, et le Yi-Jing, ouvrage fondateur dont le titre se traduit tout aussi bien par « Classique des changements » que « Traité canonique des mutations » ou « Livre des transformations ». En orient comme en occident, les philosophes ont cherché à expliquer le fonctionnement du monde à partir d'agents de transformation. En orient les Wuxing ou cinq phases, — bois, feu, terre, métal et eau — consistent en cinq processus servant à catégoriser les procès naturels. Cette pensée les combine en cycles.

La pensée grecque s'est plutôt tournée vers la recherche d'un principe premier de création des formes, à l'origine des transformations. C'est ainsi que, respectivement, Thalès a proposé l'eau, Anaximandre l'apeiron, principe, invisible, de tout ce qui est, Anaximène, l'air, avec la doctrine de la raréfaction et condensation, Héraclite le feu, et Anaxagore, le noûs, énergie différenciant et ordonnant la matière et l'être, sorte d'intelligence organisatrice du monde.

Pour ces auteurs la transformation est inévitable. Héraclite considère que « *nulle chose ne demeure ce qu'elle est et tout passe en son contraire* ». Pour Anaxagore « *être et matière ne se produisent ni ne se créent, mais se transforment*. » En 1789, Lavoisier énoncera le principe de conservation de la matière avec une formulation comparable « *rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* ». Ces constats résultent de l'observation de la nature : les ouvrages d'Anaximandre, Héraclite et Anaxagore partagent le même titre « *sur la nature* ». De ces transformations en chaînes, Aristote cherche alors les causes. Sa théorie en distingue quatre : cause

matérielle, formelle, efficiente et finale, les deux premières étant intrinsèques et les deux dernières extrinsèques.

Dès l'antiquité, la philosophie a également questionné la relation entre la forme et la permanence de l'identité, qu'illustre la légende du bateau de Thésée : chacune des pièces d'origine étant progressivement remplacée, mérite-t-il de garder son nom ? Cette interrogation porte sur l'invariance dans la transformation. Elle conduit à distinguer trois processus complémentaires : la perception du phénomène, la représentation mentale (construction d'une image), la mémorisation du phénomène (conservation de l'image).

La philosophie contemporaine de la forme constate que « *la forme crée l'unité de toute multiplicité*. » (Chazal, 1997:240). Plus précisément, « *l'image est un faisceau de tendances motrices, anticipation à long terme de l'expérience de l'objet ; au cours de l'interaction entre l'organisme et le milieu, elle devient système d'accueil des signaux incidents et permet à l'activité perceptivo-motrice de s'exercer selon un mode progressif* » (Simondon, 2014:3). Cette morphogenèse a été formalisée par les travaux de René Thom qui propose une physique des formes signifiantes, une esquisse d'une sémiophysique (Thom, 1988), en distinguant les « *formes saillantes* », en contraste avec leur environnement, et les « *prégnances* », en mesure de leur attribuer un sens.

Langage monosémique (Bertin, 2005:6), les mathématiques apportent en effet des outils conceptuels rigoureux pour représenter et classifier les formes et leurs transformations.

1.2.2. Transformation et Mathématiques

Les mathématiques ont développé progressivement un langage d'une grande richesse pour exprimer la transformation. Ceci en suivant plusieurs voies, dont les derniers développements suivent d'une part une ramification d'autre part une convergence. Ces voies ont répondu à l'évolution des besoins : « A*u départ, la mathématique fut géométrique et travaillait sur des grandeurs bien déterminées : elle*

correspondait à des sociétés essentiellement agraires, où les principaux problèmes à traiter concernaient des questions d'arpentage et de délimitations, pour la solution desquelles le calcul exact des aires et des volumes s'avérait particulièrement précieux. » (Parrochia, 2017:177) La géométrie est née à l'époque d'Euclide. Étymologiquement, la géométrie est la « mesure de la terre ». La géométrie euclidienne s'est concentrée sur la mesure des formes et des relations entre les formes avec l'étude des positions, des distances et des déplacements, variation des positions et distances. Si les postulats d'Euclide pour définir la géométrie ont été discuté dès l'antiquité, le autres géométries se sont principalement développées à partir du XVIIe siècle : « *ce qui caractérise une géométrie, ce n'est donc pas tellement des éléments comme les points, les droites, les plans, etc. C'est bien plutôt une série de relations entre ces éléments qu'on peut finalement appeler de n'importe quel nom*. » (Parrochia, 2017:211) Ce passage à la mesure de l'évolution des relations entre les formes correspond à une rupture épistémologique : celui de l'étude des déplacements à l'étude des déformations. Un déplacement peut conduire indirectement à une transformation, par changement de milieu et donc des interactions. Une déformation est une transformation directe.

Pour exprimer la transformation, les mathématiques distinguent aujourd'hui un ensemble étendu de notions. Parmi les principales, on peut relever par ordre alphabétique : application, fonction, opération, transformation. Nous commençons par préciser ces concepts, pour recenser ensuite les types de transformation considérées.

Les interprétations varient selon les auteurs mais pour certains les termes application, fonction et transformation sont globalement synonymes (Rudin, 1978:7). Ils sont préférentiellement utilisés dans des branches différentes, qui sont cependant reliées. En effet, le découpage en domaines fondamentaux est historique. Leurs frontières sont floues et il existe de multiples domaines transversaux, qui les relient. Notons seulement que le terme application est plutôt utilisé dans la théorie des ensemble, celui de fonction dans le domaine de l'algèbre et celui de transformation en géométrie.

Le concept d'opération se distingue des trois termes précédents. Il est défini comme un « *processus de nature déterminée permettant de déduire d'éléments d'un seul ensemble ou de plusieurs ensembles un élément d'un nouvel ensemble* ». Plus simplement c'est un processus qui vise à obtenir un résultat à partir d'un ou plusieurs objets nommés opérandes. Notons la notion d'arité associée, qui désigne le nombre d'opérandes que l'opération requiert. Selon le contexte d'usage, le terme opération est plus élémentaire, plus englobant ou simplement synonyme. Il est plus élémentaire lorsqu'une opération est une composante d'une fonction. Par exemple, la fonction qui a $\mathbf{x}$ associe $2\mathbf{x}+1$, combine deux opérations, une multiplication, par deux, et une addition, plus un. Il est plus englobant puisque l'on peut combiner des fonctions, ou appliquer des opérations spécifiques à des fonctions, comme la dérivation ou l'intégration. Par exemple, la dérivé de la fonction précédente est une constante, égale à deux. Enfin, le terme est également au même niveau que les précédents, c'est-à-dire synonyme. Par exemple, les opérations de symétrie, de translation et de rotation sont appelées des transformations en géométrie euclidienne.

L'écriture d'une opération mathématique implique l'usage d'un symbole spécifique dénoté opérateur, par exemple « + » pour l'addition de nombres ou de vecteurs, ou « ∩ » pour l'intersection, qui désigne les éléments communs à deux ensembles. Les mathématiques définissent ainsi un ensemble étendu d'opérations, propres à chaque domaine considéré.

« *Traditionnellement, on distingue trois types de "qualités" ou d'"aspects" des choses de l'Univers, qui soient objet de la réflexion mathématique : ce sont le nombre, la grandeur, et la forme.* » (Grothendieck, 1985:47) Cette distinction est fondamentale. Le domaine du *nombre* définit l'aspect arithmétique, c'est le domaine du quantitatif et du discontinu. Le domaine de la *grandeur* définit l'aspect métrique et analytique, c'est le domaine du qualitatif et du continu. A ces deux domaines, nous pouvons ajouter celui des *probabilités*, non évoquées par Grothendieck, qui traite de l'aléatoire et se situe à l'intersection des deux : la théorie des probabilités, étude des phénomènes caractérisés par le hasard et l'incertitude, est dite discrète ou

continue selon le nombre de valeurs possibles pour le phénomène aléatoire étudié. Le domaine de la forme définit l'aspect géométrique. Et si les probabilités traitent le concept du OU, nous pouvons considérer que la géométrie se focalise sur celui du ET. Fasciné par la structure cachée dans les choses mathématiques, Grothendieck s'est ainsi attaché à inventer un langage de description de la forme et des transformations. Vers la théorie des topos, il explore ainsi le lien entre ces deux domaines : « *C'est le thème du topos [...] qui est ce "lit", ou cette "rivière profonde" où viennent s'épouser la géométrie et l'algèbre, la topologie et l'arithmétique, la logique mathématique et la théorie des catégories, le monde du continu et celui des structures "discontinues" ou "discrètes".* » (Grothendieck, 1985:57). Leur utilisation pour faire des transferts conduit à une unification des mathématiques (Caramello, 2010). Dans ce processus d'unification, la géométrie tient un rôle central. Cette discipline répertorie ainsi une classification des transformations. La classification identifie des éléments conservés, c'est-à-dire des invariants de transformation. A titre d'exemples, nous répertorions quelques transformations élémentaires dans le tableau T6 en précisant les éléments conservés et la dénomination des applications associées.

T6 — Classification de transformations élémentaires en géométrie

Transformation	*Conservation*	*Application spécifique* *(chaque classe intègre la précédente)*
Déplacement	Distance et angle orienté	translation, rotation
Isométrie	Distance et angle	réflexion, symétrie
Similitude	Rapport de distance (forme conservée)	homothétie (agrandissement, réduction)
Transformation affine	Parallélisme	affinité (homothétie dans une direction)
Homographie	Droite, Plan, Espace	application projective

Ces transformations élémentaires introduisent des concepts tels le point de vue et de centre ou point invariant. Les concepts mathématiques de *dimension* et de *variété* (cf. encadré E16) offrent des moyens supplémentaires de représentation de transformations plus complexes, exprimant en particulier des *déformations*, transformations continues, et des *ruptures*, transformations introduisant des discontinuités. Nous nous y référerons ultérieurement, mobilisant en particulier des objets mathématiques quantifiant les états (statique) et les forces de transformation (dynamique) que sont les *vecteurs*, ainsi que leur généralisation avec le concept de *tenseur*.

E16 — Dimension et variété, définitions mathématiques

sources : Dictionnaire des mathématiques (Bouvier et al., 2013) complété par le dictionnaire de base du vocabulaire des mathématiques de Gérard Villemin[79]

dimension : « *dans une théorie mathématique, une dimension est une application qui à un objet de cette théorie associe un cardinal éventuellement infini* ». Précisons qu'en géométrie, un solide (un volume) à une dimension 3 (3D), une surface 2, une courbe 1 et un point 0; un objet de dimension 4 (4D) ou plus est un hyper-objet; les fractales ont des dimensions fractionnaires

variété : « *généralisation dans plusieurs domaines des mathématiques de la notion de courbes surfaces ou volumes* » : en topologie, c'est la généralisation de la notion de surface quelle que soit la dimension de l'espace considéré.

Les *lois de composition* permettent également de définir des combinaisons de transformation, ainsi que des propriétés associées telles que la *commutativité*, l'*associativité* et la *distributivité*.

Ces propriétés sont liées à l'ordre de l'enchaînement des opérations sur les opérandes et leur influence sur le résultat. La commutativité s'applique entre deux termes d'une opération. L'associativité entre trois termes d'une opération, et la distributivité entre trois termes de deux opérations. Nous nous focaliserons sur la

79. Cf. http://villemin.gerard.free.fr/Referenc/Encyclop/A.htm

commutativité pour rappeler que l’addition est commutative, 3 + 2 = 2 + 3, mais que la division ne l’est pas 3 / 2 est différent de 2 / 3. La *commutativité* est une propriété qui ne s’applique que dans des contextes où l’ordre des événements n’a pas d’importance. Il s’agit d’un cas particulier. Dans les transformations qui affectent une organisation, l’ordre des événements n’est généralement pas commutatif : l’envoi de la commande ne peut précéder la fabrication du produit. En effet, si dans nombre d’équations de la physique la variable temporelle peut théoriquement prendre une valeur négative permettant de remonter le temps, les lois de la physique quantique, comme celles de la thermodynamique, fixent une direction du temps.

Pour comprendre le phénomène de transformation, nous nous intéressons au phénomène de transformation tel que nous pouvons l’observer, dans le plan de la réalité selon nos domaines généraux d’étude, c'est-à-dire en physique, en biologie et dans les sens humaines et sociales. Notre objectif est d’identifier, à la lumière des connaissances actuelles, des invariants de transformation.

1.2.3. Transformation et Physique

Les transformations en physique sont modélisées par des principes ou lois qui traduisent en équations des interactions entre entités, sur un principe général d'*action-réaction*. Ces lois de transformation dépendent de l'échelle considérée. Leur découverte, qui résulte de la méthode scientifique, fut progressive. Nous rappelons dans un premier temps ces principes, en considérant différents niveaux. Nous mettrons en avant le principe de *Maximisation de Production d'Entropie*. Son rôle dans les transformations biologiques, puis dans celles affectant l'humain, sera décrit dans les sections suivantes.

Au niveau le plus fin, la physique quantique établit une correspondance entre *matière* et *énergie*. L'objet quantique, parfois appelé « *quanton* », présente à la fois des propriétés corpusculaires et ondulatoires. Il est donc simultanément condensé et réparti. Un ensemble d'objets quantiques se présentent sous une forme continue, une onde, et discontinue des particules. Comme en mathématiques, continu et discontinu sont ainsi au cœur des interrogations de la physique : « *Le réel ne peut pas s'interpréter à l'aide de la pure continuité : il faut dans son sein discerner des individualités. Mais ces individualités ne sont pas conformes à l'image que nous en donnerait la pure discontinuité : elles sont étendues, réagissent constamment entre elles et, fait plus surprenant, il ne paraît pas possible de les localiser et de les définir au point de vue dynamique avec une parfaite exactitude à chaque instant. Cette conception d'individus aux contours un peu flous se détachant sur le fond de la continuité est très nouvelle pour les physiciens et paraît peut-être même assez choquante à certains d'entre eux ; mais n'est-elle pas assez conforme à celle à laquelle pouvait conduire la réflexion philosophique ?* » (Broglie de, 1937:255) Le physicien exprime ainsi le principe de superposition des états de la physique quantique, connus sous forme probabiliste avant la mesure, probabilité que Schrödinger a popularisée avec son paradoxe du chat à la fois mort et vivant, et qui voit son état réduit à celui mesuré, selon le principe de réduction du paquet d'onde.

Les objets quantiques et leurs interactions sont modélisées dans deux référentiels

principaux : le modèle standard de la physique des particules, de niveau sub-atomique, et le tableau périodique des éléments, également nommé classification de Mendeleïev, répertorie l'ensemble des atomes identifiés ou produits artificiellement, soit 118 éléments constitués à partir de ces particules élémentaires.

Le **modèle standard de la physique des particules** qui a pris forme dans les années 1970 est bâti sur un triptyque particules, forces, médiateurs. Les particules sont appelées élémentaires car dans l'état d'avancement actuel de la science, on n'en connaît pas la composition. La représentation distingue des familles de particules, appelées fermions, par les forces auxquelles elles sont sensibles. Les forces s'exercent au moyen de médiateurs, appelés bosons, échangés par les particules qui y sont soumises. Les forces fondamentales de ce modèle sont triples : nucléaire faible, nucléaire forte et électromagnétique.

La classification au niveau sub-atomique s'effectue selon quatre propriétés élémentaires, qui permettent de qualifier et quantifier les transformations : la charge électrique, la charge de couleur, la masse et le spin. La charge de couleur caractérise l'interaction forte. Le spin est un observable propre au monde quantique. Il est souvent assimilé au moment cinétique (rotation). Il se manifeste au niveau macroscopique via le magnétisme, dans les forces de Van der Waals.

Les fermions se répartissent en deux familles, les quarks et les leptons, dans lesquelles sont distingués deux types et trois générations. Seule la première génération est stable et constitue la matière ordinaire. Les bosons se répartissent en trois bosons de jauge et le boson de Higgs. Le modèle décrit ainsi 17 types de particules principales, qui se déclinent en 61 particules élémentaires en comptabilisant toutes leurs variantes. Cette théorie est une construction mathématique autonome et cohérente qui fournit de nombreuses prédictions expérimentales. Elle n'est cependant pas complète car elle laisse certains phénomènes inexpliqués, comme l'oscillation des neutrinos, c'est-à-dire un changement d'une des propriétés d'un type de particules. Trois anomalies

récemment détectées[80] devraient également le faire évoluer.

Cette théorie est en lien avec le modèle standard de la cosmologie, modèle ΛCDM. Ce modèle s'appuie sur un ensemble de concepts : *big bang*[81], *inflation cosmique*, *nucléosynthèse primordiale*, *énergie noire*, *matière noire*, *univers observable*. La cosmologie observationnelle intègre le fond diffus cosmologique, l'expansion de l'Univers, et la structures à grande échelle de l'Univers. Dans ce modèle la transformation des particules élémentaires en atomes suit un double processus : une dilatation rapide émergeant d'un état extrêmement dense et chaud d'où émergent les particules élémentaires, suivi de processus itératifs d'agrégation de ces particules. Les premiers atomes stables, d'hydrogène, apparaissent au bout d'environ 380 000 ans. Les réactions nucléaires se poursuivent dans des corps stellaires, produisant progressivement par fusion des atomes plus lourds. Les atomes se distinguent sur un critère principal, leur nombre de masse ou numéro atomique. En 2016, on en dénombre 118. Si le modèle standard de la physique des particules et la théorie du big-bang forment aujourd'hui le paradigme dominant de la physique nucléaire, ils s'appuient cependant sur de nombreuses hypothèses comme l'existence de la *matière noire* (jamais observée)[82]. De très nombreuses théories alternatives sont proposées, en particulier les modèles de cosmologies bi-métriques.

Au niveau atomique, la transformation s'effectue selon deux processus principaux : la transmutation ou l'assemblage. La transmutation peut s'effectuer naturellement au cours d'une chaîne de désintégration ou provoquée par réaction nucléaire. La réaction nucléaire, fusion ou fission d'atomes, absorbe ou émet des particules sub-atomiques, en particulier des rayonnement électromagnétiques. Ces réactions font intervenir les forces nucléaires fortes et faibles. L'assemblage d'atomes différents

80. Au CERN à la frontière Franco-Suisse, au Fermilab aux Etats-Unis, et au laboratoire de Gran Sasso en Italie, le plus grand centre de recherche souterrain du monde. Cf. l'article « *Vers une nouvelle physique des particules ?* » : https://www.science-et-vie.com/science-et-culture/une-nouvelle-matiere-trois-particules-devoilent-un-univers-cache-58815

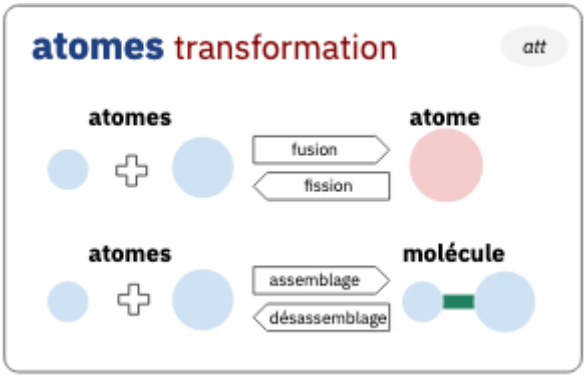
81. Dans les multiples théories cosmologiques, signalons également la *cosmologie cyclique conforme* (CCC) avancée par Sir Roger Penrose, prix Nobel de physique 2020, qui fait l'hypothèse d'un cycle enchaînant *big bang* et *big crunch* (soit une expansion puis une compression).

82. Sur la matière noire, et l'énergie sombre, cf. https://home.cern/fr/science/physics/dark-matter

ou de même numéro construit des molécules. Une molécule est définie comme « une entité électriquement neutre comprenant plus d'un atome » (UPAC, 2014).

Selon les transformations considérées plusieurs modèles de représentation de l’atome sont couramment employés, comme le modèle des sphères dures, le modèle de Bohr ou le modèle de Schrödinger. Le modèle des sphères dures est par exemple utilisé en cristallographie. Il représente un atome comme une boule indéformable. Les transformations sont traduites par des assemblages de boules, selon un modèle compact (boules collées) ou éclaté (boules reliées). Plus évolué, le modèle de Bohr est utilisé en spectroscopie. Il représente l’atome par un noyau entouré d’un nuage d’électrons sur différentes couches. Le modèle le plus abouti est celui de Schrödinger : les nuages correspondant aux différents électrons s'interpénètrent. L’électron, fermion de type lepton, est modélisé par une « fonction d'onde », dont le carré de la norme représente la densité de probabilité de présence. Les électrons interviennent dans les assemblages entre atomes et molécules. Un atome ou une molécule qui porte une charge électrique, par différence entre son nombre d’électrons et de protons, est appelé ion. Atomes, molécules et ions interagissent dans des réactions chimiques pour constituer des composés chimiques. Les liaisons chimiques sont de différentes natures selon les atomes considérés : liaison hydrogène, covalente, électrovalente (ionique), métallique, de van der Waals. L’électron participe à la quasi-totalité des réactions chimiques, intervenant dans une multitude d'effets et de rayonnements, en particulier électromagnétique (la lumière visible est un rayonnement électromagnétique).

Atomes et molécules sont les composants microscopiques de la **matière**, « *substance dont sont faits les corps perçus par les sens et dont les caractéristiques fondamentales sont l'étendue et la masse* » (CNRTL). La carte [*att*] représente la transformation des atomes en faisant abstraction de l’échange énergétique.



C18 — [att] — atomes, transformation

Une réaction chimique est une transformation de la matière. Elle fait intervenir des réactifs et formes des produits de réaction. On notera que le catalyseur, substance chimique qui n'est pas consommée par la réaction, permet de la diriger.

Les forces qui agissent aux échelles supérieures de regroupements sont considérées comme émergentes. C'est par exemple le cas de la force de pression. Il pourrait en être de même pour la force gravitationnelle (Verlinde, 2011).

Les *transformations de la matière* résultent ainsi d'interactions qui dépendent de propriétés associées au niveau d'organisation de la matière. Mesurées et calculées, elles définissent des grandeurs physiques, définies dans le Système International d'unités. La propriété est dite « intensive » si sa valeur ne dépend pas de la taille du système considéré, « extensive » dans le cas contraire. Par exemple, la pression et la température sont intensives, la masse et le volume sont extensives.

La grandeur fondamentale est l'**énergie**. Il s'agit d'une mesure de la capacité d'un système à se transformer ou transformer son environnement. L'énergie se mesure en Joule. L'énergie obéit à un principe physique de conservation dans un système isolé, quelque soit l'échelle considérée. Ce principe est fondateur de la physique. Il correspond au premier principe de la thermodynamique, considérée comme la science des grands systèmes en équilibre, depuis les travaux de Boltzmann. Autour de l'énergie sont apparus différents concepts comme l'énergétisme, au début du XXème siècle suite à la découverte de l'électromagnétisme, puis, à la fin du XXème siècle, en énergie grise, *émergie* et *exergie*, suite à l'évolution du coût de l'énergie.

Nous précisons ces concepts dans l'encadré E17.

E17 — Concepts autour de l'énergie

énergétisme : transposition à l'ensemble de la réalité de la représentation ondulatoire et fluide de l'univers (Parrochia, 2017: 170) : « *On entend par énergétique le développement de cette idée que tous les phénomènes de la nature doivent être conçus et représentés comme des opérations effectuées sur les diverses énergies.* » (Ostwald, 1937:119)

émergie : issue de l'anglais em(bodied) + (en)ergy, l'émergie est une théorie proposée par l'écologue Howard Thomas Odum qui ajoute un aspect qualitatif aux bilans de l'analyse *énergie grise* ou *intrinsèque* : quantité d'énergie consommée lors du cycle de vie d'un matériau ou d'un produit

éxergie : grandeur permettant de mesurer la qualité d'une énergie, c'est-à-dire la partie utilisable

Selon la transformation, différentes **formes d'énergies** sont considérées : cinétique, thermique, électrique, potentielle. Pour un système considéré, une transformation a un effet interne, elle modifie son état, et un effet externe, elle produit un travail, de la chaleur ou un rayonnement électromagnétique. Nous précisons ces transferts d'énergie dans l'encadré E18 .

E18 — Transfert d'énergie

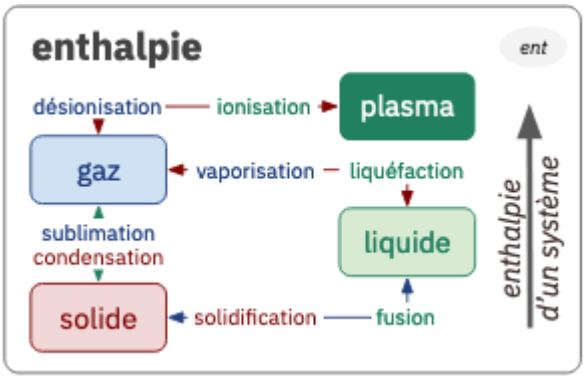
L'énergie st une mesure de la capacité d'un système à modifier un état. Un transfert d'énergie se traduit par une production de 1) *travail* entraînant un mouvement, 2) *chaleur*, 3) *rayonnement électromagnétique*. Un **travail** est un transfert ordonné d'énergie entre un système et le milieu extérieur. La **chaleur** est un transfert désordonné d'énergie entre un système et le milieu extérieur. Le **rayonnement électromagnétique** correspond à une forme de transfert d'énergie linéaire. L'énergie est ainsi concentrée dans le cas du travail, diffusée dans le cas de la chaleur, et reliante dans le cas du rayonnement.

La **puissance** correspond à la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre, c'est un débit d'énergie. Elle reflète par exemple la vitesse à laquelle un travail est fourni.

La thermodynamique étudie les transformations de l'énergie qui font intervenir l'énergie thermique. L'**enthalpie** est une fonction d'état qui mesure le potentiel thermodynamique. La variation d'enthalpie caractérise les différents états de la matière dont les principaux sont solide, fluide (liquide et gazeux) et plasma.

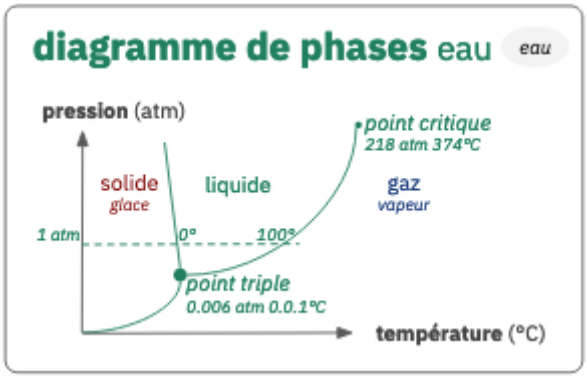
La carte [*ent*] répertorie en fonction de la variation d'enthalpie les transformations de la matière, c'est-à-dire un **changement d'état** ou **transition de phase** :

- *désionisation* ↔ *ionisation*
- *liquéfaction* ↔ *vaporisation*
- *condensation* ↔ *sublimation*
- *solidification* ↔ *fusion*



C19 — [ent] — enthalpie d'un système

Notons que les changements d'états dépendent de paramètres tels la pression, le volume et la composition du mélange. La formule de Clapeyron permet de calculer le **diagramme de phases** qui indique les conditions de transition et identifie des points particuliers, comme le point critique ou le point triple, comme illustré pour l'eau avec la carte [*eau*].



C20 — [eau] — diagramme de phases de l'eau

De ces transitions résultent des changements de propriétés. Il est à noter que la transition gaz plasma est progressive et qu'à très basse température, un autre changement d'état intervient pour certains solides qui deviennent **supraconducteurs**, c'est-à-dire avec une résistance électrique nulle et un diamagnétisme parfait, propriété utilisée pour

réaliser la lévitation magnétique. Nous approfondissons cette analyse des changements d'états en considérant les propriétés associées et en partant du plasma.

Considéré comme le quatrième état de la matière, le **plasma** est un réalité le premier, à la fois temporellement, selon le modèle cosmologique standard, et quantitativement puisqu'il représente plus de 99% de l'état de la matière connue dans l'univers observable, (Drake, 2006:19). Un plasma est assimilé à une « soupe » d'électrons extrêmement actifs, dans laquelle « baignent » également des ions ou des noyaux atomiques. La densité énergétique extrême rend peu compatibles les plasmas naturels avec la vie terrestre[83]. Leur propriétés , une forte sensibilité électrique, magnétique et électromagnétique, a cependant conduit à l'usage de plasmas artificiels, par exemple dans le domaine des semi-conducteurs.

L'étude des mouvements et transformations au sein des **fluides** est complexe. A l'échelle microscopique, le mouvement brownien décrit des mouvements irréguliers des grosses particules en interaction avec d'autres particules ou son conteneur. La dynamique des fluides décrit l'écoulement des fluides. Il dépend de plusieurs propriétés comme sa composition, sa vitesse, sa viscosité, sa densité, sa pression et sa température. Ces paramètres varient dans l'espace et le temps, l'écoulement étant perturbé par les obstacles sur son chemin. Deux régimes sont considérés : un régime stable, dit laminaire, modélisé par équations de Navier-Stockes et un régime turbulent, pour lequel seuls les modèles numériques permettent d'analyser le comportement.

La maîtrise de la transformation des fluides, c'est-à-dire des états liquides et gazeux, est associée à l'adjonction d'un solide, ayant une fonction de guidage des flux ou contenant les fluides. Le phénomène de résistance au mouvement des fluides est mesuré par une propriété principale, la viscosité. La viscosité se décline en viscosité dynamique et viscosité de volume. Elle diminue la liberté d'écoulement du fluide et dissipe son énergie.

83. Dans l'état actuel des connaissances

Dans l'état **solide**, les forces de liaisons entre atomes et molécules définissent une forme propre. Cette stabilité, « *capacité à conserver ses caractéristiques initiales, à ne pas subir de transformations plus ou moins spontanées* », permet la fabrication de matériaux, « *type de matière qui entre dans la construction d'un objet fabriqué* » (CNRTL). Le contrôle de cette stabilité, autrement dit de la **résistance des matériaux**, se fait dans le cadre de la *mécanique des milieux continus*. La déformation d'un matériau est ainsi caractérisée par sept propriétés mesurables mécaniquement : *élasticité*, *résistance*, *ductilité*, *ténacité*, *dureté*, *résilience*, *résistance à la fatigue*. L'application d'une force externe induit un ensemble de réactions du matériau. Ces propriétés décrivent ces réactions en fonction de sollicitations normalisées, dans l'espace et dans le temps. Elles servent à définir des caractéristiques comme la rigidité, la raideur, la flexibilité ou la souplesse. Ces propriétés dépendent de la composition et du processus de fabrication. Depuis les années 1980, le concepteur est ainsi confronté à un **hyperchoix des matériaux** (Gaudin, 1986).

Nous proposons une interprétation de ces différentes propriétés en considérant deux notions générales : celle de mémoire ou conservation de la forme et celle de mémoire d'interaction en suite à la sollicitation subie. Par « mémoire de forme » nous entendons la capacité à revenir à sa forme initiale après avoir été déformé. Par « mémoire d'interaction » nous entendons la capacité à conserver la trace d'une précédente interaction, altérant la forme initiale, qui subit une déformation plastique. Nous pouvons établir une analogie partielle avec l'élasticité (déformation réversible) et la plasticité (déformation irréversible) d'un matériau et les processus d'accommodation et d'assimilation. Le processus d'assimilation ne modifie pas le schème alors que l'accommodation l'ajuste. L'analogie n'est que partielle car l'assimilation renforce le schème, mais l'élasticité ne renforce pas le matériau. Le tableau T7 présente une description des propriétés mesurables d'un matériau à la suite d'une sollicitation, et notre interprétation pour chacune des propriétés. Les différentes propriétés mesurent des caractéristiques du comportement d'un matériau face à des sollicitations externes. La réaction du matériau conduit à une

modification ou non de sa structure après cessation de la sollicitation.

T7 — Sollicitation, mémoire de forme et mémoire d’interaction

propriété	*description* **:** capacité à résister…	*interprétation*
élasticité	à la déformation élastique, c'est-à-dire réversible (suite à une action lente)	mémoire de forme (du volume)
résistance	à la rupture	mémoire d’interaction (seuil)
ductilité	à la déformation plastique, c'est-à-dire irréversible (propriété opposée à la fragilité)	mémoire d’interaction (allongement)
ténacité	à la propagation d'une fissure selon trois modes (ouverture, cisaillement, vissage) ; équivalent à absorber une quantité d'énergie avant de rompre	mémoire d’interaction (propagation)
dureté	à la pénétration	mémoire de forme (de la surface)
résilience	au choc (suite à une action rapide)	mémoire de forme (du volume)
résistance à la fatigue	à des sollicitations multiples	mémoire d’interaction (répétition)

Mentionnons pour terminer ce panorama sur les transformations de la matière, les cas intermédiaires, par exemple entre l’état liquide et l’état solide, comme la **matière en grains**. L’étude des propriétés spécifiques de ces matériaux est également un domaine de recherche actif (Guyon et al., 2017). Mais quel que soit son état, la matière répond en revanche aux mêmes lois de la thermodynamique.

Au premier principe précédemment évoqué, **principe de conservation** de l’énergie, s’ajoutent deux principes. Le deuxième principe de la thermodynamique, **principe d’évolution**, établit l’irréversibilité de la transformation des systèmes physiques. L'énergie d'un système passe spontanément et nécessairement de formes potentielles, concentrées, à des formes actualisées, diffuses, par exemple cinétiques et thermiques. L’énergie thermique est une forme d’énergie due à

l'énergie cinétique totale des molécules et des atomes qui forment la matière. La notion d'**entropie**, du mot grec *entropê* qui signifie « retour » (Universalis), mesure cette dissipation. L'encadré E19 présente la formulation mathématique des deux premiers **principes de la thermodynamique**.

E19 — Les deux premiers principes de la thermodynamique

Le *premier principe de la thermodynamique* traduit la conservation de l'énergie.

$$\mathbf{\Delta U_{sys} + \Delta U_{ext} = 0}$$

- U_{sys} l'énergie interne du système ;
- U_{ext} l'énergie interne du milieu extérieur au système.

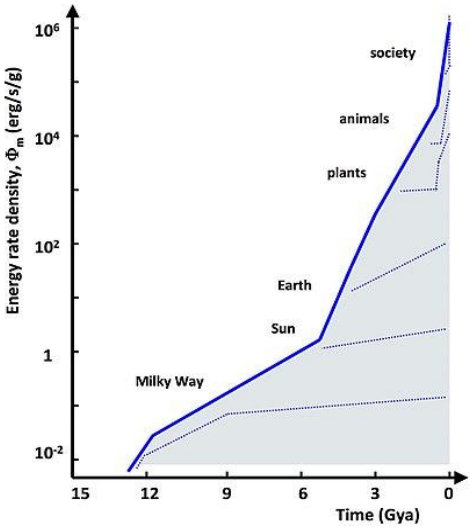
Le *deuxième principe de la thermodynamique* traduit l'irréversibilité des phénomènes physiques.

$$\mathbf{\Delta S_{sys} + \Delta S_{ext} \geq 0}$$

- S_{sys} l'entropie du système ;
- S_{ext} l'entropie du milieu extérieur au système.

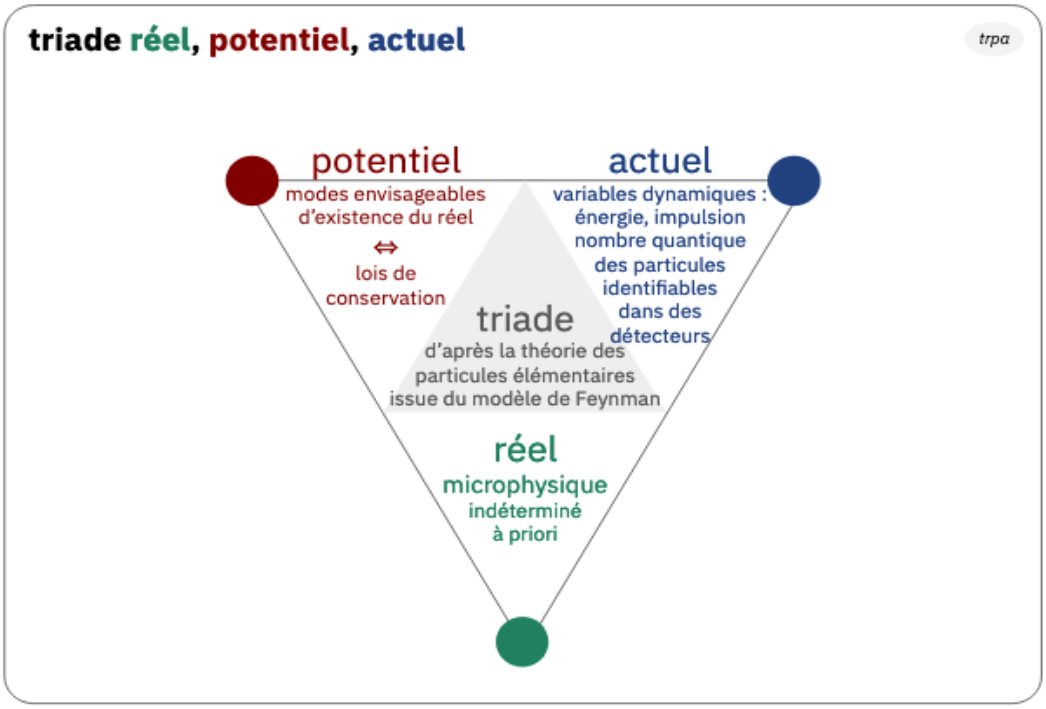
Ces deux premiers principes, considérés comme fondamentaux, sont complétés par un troisième, le principe MEP, pour « *Maximal Entropy Production* ». Il fait suite aux premiers travaux sur les structures dissipatives, qui relevait un premier principe, de minimisation d'entropie : les structures s'auto-organisent pour dissiper l'énergie (Prigogine, 1968). Le principe de Maximisation est postérieur. Mis en évidence par plusieurs auteurs (Swenson, 1988, 1989; Dewar, 2003), il établit que les structures dissipatives s'auto-organisent de façon à maximiser les flux d'énergie qui les traversent. Les principes de minimisation et de maximisation semblent s'opposer, ils ont en réalité des domaines d'application différents (Mihelich, 2015:12) puisque « *A temps court et forces thermodynamiques fixées le système maximise la production d'entropie, alors que à temps long et à forces libres le système minimise sa production d'entropie.* » (Martyushev & Seleznev, 2006). Appuyé à ce principe, un indicateur appelé le « *taux de densité énergétique* » explique l'évolution de la complexité dans la nature. Il correspond à la quantité d'énergie libre par unité de temps et par unité de masse (Chaisson, 2011). Cet indicateur générique est la

F1 — Evolution du taux de densité énergétique



traduction d'indicateurs équivalents dans différentes disciplines : astronomie, physique, géologie, biologie et sciences de l'ingénieur. Le concept d'énergie semble ainsi prendre une place centrale dans la compréhension des transformations. Issue de l'article d'Eric Chaisson, la figure F1 illustre ainsi un lien logique de continuité entre les systèmes de la physique, de la biologie, et des sciences humaines et sociales. C'est en s'inspirant des avancées de la physique quantique que le philosophe roumain Stéphane Lupasco a défini la logique de l'énergie, précédemment évoquée dans la partie cadrage. Il s'agit donc d'une *logique de transformation*, qui distingue deux transformations complémentaires et opposées, la potentialisation et l'actualisation. La théorie des particules élémentaires est postérieure à la logique proposée par le philosophe. A l'origine de cette théorie se trouve la méthode de l'intégrale des chemins de Richard Feynman. Dans cette méthode : « *Le réel microphysique y est considéré comme le pôle d'une triade dont les deux autres pôles sont le potentiel et l'actuel. Le réel est indéterminé a priori, il ne fait l'objet d'aucune hypothèse a priori, à l'exception évidemment de l'hypothèse de son existence indépendante de la pensée.* » (Cohen Tannoudji, 1991:91) Le physicien précise : « *il apparaît commode, pour représenter l'interaction électromagnétique, de considérer [...] le « potentiel électromagnétique », c'est-à-dire un ensemble de quatre fonctions définies en chaque point de l'espace-temps, dont dérive ce champ [...] si on*

peut considérer le champ électromagnétique, qui est expérimentalement mesurable, comme relevant de la catégorie de l'actualité, l'indétermination du « potentiel » suggère, au sens propre du terme, son appartenance à la catégorie de la potentialité. » (Cohen Tannoudji, 1991:92). Illustrés par la carte [*trpa*], ces propos actualisent la pensée de Lupasco dans son domaine d'origine.



C21 — [trpa] — triade, réel, potentiel, actuel

En nous appuyant sur cette distinction potentialisation-actualisation, nous résumons dans le tableau T8 un ensemble de transformations physiques précédemment abordées. Ce point de vue physique sur l'énergie mérite d'être complété par un point de vue technologique sur l'usage de l'énergie. La figure F2 (dessin Xavier Hüe - Archives Larousse[84]) présente ainsi les différentes formes d'énergie et leurs conversions.

84. Cf. https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Conversions_de_lénergie/1010093

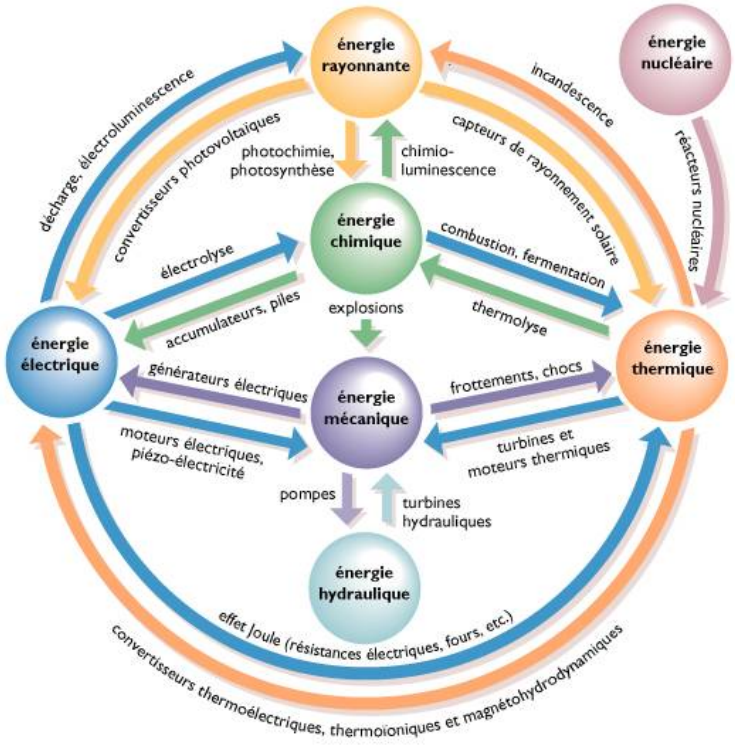
T8 — Transformations en physique : potentialisation et actualisation

transformations en physique	*potentialisation*	*actualisation*
état quantique	particule	onde
modèle cosmologique du big-bang		
production des atomes	création par agrégation	expansion de l'univers
interactions fondamentales		
effet des forces nucléaires faibles et fortes	cohésion des atomes, à partir de particules élémentaires	réactions nucléaires en chaînes, fusion et fission
interaction électromagnétique	indétermination du potentiel du champ	mesure du champ électromagnétique
effet de la force électromagnétique	création de molécules, à partir d'atomes, et d'ions, à partir d'atomes et molécules	réactions chimiques, champs de forces
effet de la force gravitationnelle (*)	contraction de l'espace-temps	dilatation de l'espace-temps
interprétation énergétique		
formes d'énergie	potentielle	cinétique, thermique
transformation de la matière	contraction	expansion
changements d'états de la matière		
entre plasma et gaz	désionisation	ionisation
entre gaz et liquide	liquéfaction	vaporisation
entre gaz et solide	condensation	sublimation
entre liquide et solide	solidification	fusion
transformation de la matière, au sein de ses différents états		
déformation d'un solide, réactions suite à l'application d'une force	propriétés des matériaux associées à la mémoire de forme	propriétés des matériaux associées à la mémoire d'interaction

mouvement des particules dans un liquide	agglomération	diffusion
évolution du rapport entre la quantité et le volume occupé par un liquide	concentration	dilution
propriété principale de transformation des gaz	compression	dilatation
procédés de transformation de la matière en grains	agrégation, frittage (consolidation des grains)	fragmentation, broyage

Cette représentation permet de faire le lien avec l'approche biologique puisque le métabolisme du vivant exploite ces différentes formes d'énergie. Le passage entre transformation physique et biologique, c'est-à-dire l'apparition de la vie, s'effectue dans des conditions spécifiques, qui sont toujours l'objet de recherches actives et d'expérimentations, depuis les années 1950 et les premières expérimentations de Miller-Urey. Nous ne détaillerons cependant pas ces conditions d'état pour nous focaliser sur les transformations du vivant.

F2 — Formes d'énergie et conversions



1.2.4. Transformation et Biologie

Nous entrons dans des domaines dans lesquels notre savoir devient de plus en plus fragmentaire, et dans lequel les connaissances progressent très rapidement. Nous ne proposons donc que des brefs éclairages, dans une perspective inverse à la précédente, c'est-à-dire macro au lieu de micro. Les transformations dans les sciences du vivant peuvent s'analyser selon différents points de vue, en considérant respectivement, du plus spécifique au plus global, le développement d'un individu d'une l'espèce, c'est-à-dire l'**ontogenèse**, le développement de l'espèce, la **phylogenèse**, la co-évolution des espèces, c'est-à-dire l'évolution des **écosystèmes**, le développement de la biosphère sur une fine pellicule à la surface de la croûte terrestre, grâce à la *respiration*. La transformation biologique distingue différents niveaux, processus, phases, rythmes et vecteurs de transformation, posant une première question toujours d'actualité sur le passage de la physique à la biologie, « *qu'est-ce que la vie ?* », pour reprendre le titre de l'ouvrage du physicien Erwin Schröndinger (1986). Une réponse partielle, essentiellement opératoire, a été apportée par la génétique et l'épigénétique.

Au cœur du développement d'un individu d'une espèce le métabolisme est défini comme « *ensemble des réactions de synthèse, génératrices de matériaux (anabolisme), et de dégradation, génératrices d'énergie (catabolisme), qui s'effectuent au sein de la matière vivante à partir des constituants chimiques fournis à l'organisme par l'alimentation et sous l'action de catalyseurs spécifiques.* » (CNRTL). Deux processus liés sont à prendre en compte, celui du développement de l'organisme et celui de son fonctionnement. L'étude du développement remonte aux sources du pouvoir organisateur de l'œuf et de l'embryon (Le Douarin, 2000:153). Les technologies de clonage et de **chimérisation**[85] ont permis de découvrir la chronologie de l'embryologie. L'**allométrie** étudie les différences de vitesse de croissance, aux différents niveaux d'organisation du vivant. La chronologie est schématisable (Thom, 1988:1688). Le développement cellulaire

85. « *Une chimère est un organisme ou un tissu ayant des cellules possédant des caractères provenant de deux ou plusieurs individus de la même espèce ou d'espèces différentes* » d'après Nicole Le Douarin

s'opère par multiplication et réduction, ce que l'auteur de *La sculpture du vivant* (Ameisen, 1999) désigne comme le *suicide cellulaire* ou la *mort créatrice*. L'architecture des structures générées va dépendre des sources et circuits d'alimentation, tant en énergie qu'en matière, qui assurent survie et fonctionnement. Le fonctionnement obéit à une multitude de rythmes, au cœur du vivant : la vie est *oscillatoire* (Goldbeter, 2018). La régulation hormonale peut mettre en jeu des processus antagonistes; elle se modélise mathématiquement avec un formalisme qui semble s'appliquer à différents niveaux d'organisation (Bernard-Weil, 1975).

Au sein de la phylogenèse, deux processus liés sont également à prendre en compte, d'une part la survie de l'espèce, d'autre part son évolution. La survie d'une espèce se traduit par une occupation d'un espace, la niche écologique, et une conservation dans le temps d'un nombre minimum d'individus. Selon les espèces, différentes stratégies de reproduction sont mises en œuvre. D'après la théorie de la sélection naturelle de Darwin (1859), l'évolution des espèces repose sur un agent unique, la sélection naturelle[86]. Plusieurs théories la complètent, comme celle sur la centralité du rôle du gène (Dawkins, 1976), celle sur le rythme de l'évolution, le ponctualisme ou théorie des équilibres ponctués des paléontologues Stephen Jay Gould et Niles Eldredge, ou l'intervention d'autres processus de sélection. Le paradigme causal linéaire et descendant dans la lignée des théories de Newton et Darwin est remise en cause par l'étude des *réseaux trophiques*, qui organisent les flux d'énergie et de nutriments au sein des écosystèmes (Ulanowicz, 2009). Dans la dynamique des écosystèmes, les contraintes qui sont absentes jouent un rôle important. Au sein d'un organisme, les transformations s'opèrent également selon une causalité descendante par différents canaux (Noble, 2006:51). Sur l'évolution de l'espèce, quatre stratégies sont identifiées (Bogatyreva, 2015:20). La première, l'auto-modification correspond à l'évolution morphologique, pour la survie du mieux adapté. Les trois autres relèvent de la modification d'environnement. L'évolution technologique correspond à la survie du moins coûteux, l'évolution sociale à la

86. Cf. https://crcn.ulb.ac.be/theorie-de-levolution-etat-actuel-et-radiation-adaptative-chez-les-pinsons-des-galapagos/

survie du plus intelligent, la modification de niche écologique à la survie du plus intégré. Dans ces quatre cas, le même processus est mis en œuvre : diversité des options, sélection de la mieux adaptée. La diversité des options tant structurelles que fonctionnelles correspond au processus de vicariance (Berthoz, 2013). Dans ce processus d'évolution, l'**homologie** désigne un même caractère observé chez deux espèces différentes mais dont les fonctions peuvent différer. Les gènes déterminent le plan d'organisation d'un être vivant, les axes de polarité et la place des organes les uns par rapport aux autres, sont appelés homéotiques. Parmi ceux-ci, les gènes Hox, abréviation de *homeobox*, *homéoboîte* en français, permettent d'activer en cascade d'autres gènes. Nous poursuivons cette perspective très globale, par la transformation dans les SHS.

1.2.5. Transformation et SHS

Comme pour la biologie, la transformation en sciences humaines et sociales peut s'étudier à différentes échelles, de la psychologie à la géo-politique, et selon différentes temporalités selon les espaces considérés. La multiplicité des représentations selon les disciplines complexifie cette exploration kaléidoscopique. Il nous faut donc identifier des axes d'analyse. Considérons pour commencer qu'en SHS, les transformations s'inscrivent dans le prolongement des transformations au niveau physique et biologique, en y ajoutant une dimension réflexive. D'où les deux niveaux à analyser, celui des systèmes et celui des représentations, les deux étant évidemment en relation. La réflexivité nous amène à considérer un deuxième axe d'analyse, en distinguant deux formes complémentaires de transformation : celle cyclique qui s'inscrit dans la répétition, et celle divergente, générée par la découverte, la création ou l'innovation. Ce rapport est aussi celui entre l'attendu et l'inattendu, les deux pouvant être traduit sous forme ludique, le jeu pouvant être vu comme un outil d'apprentissage, en limitant les risques. Fixant habituellement un cadre, qui se traduit par des règles affectant plus ou moins l'espace, le temps et leur rapport, c'est-à-dire les déplacements, il autorise une variété plus ou moins grande de trajectoire, parfois sous-tendue par une liberté de stratégie. Si les objectifs sont le plus souvent traduits en termes de règle, les parcours sont selon les jeux du côté

de la contrainte ou de la liberté. Quelques mécanismes de transformation associés à ces deux modes de transformation sont résumés dans le tableau T9. Nous y attachons les processus d'apprentissage d'après Piaget et les deux concepts mathématiques de continuité et de discontinuité.

T9 — Mécanisme de transformation

modes de transformation	*répétition*	*création*
notions associées	cycle	variété
dans le domaine du jeu	règles	trajectoires, stratégies
processus d'apprentissage (Piaget)	assimilation	accommodation
concepts mathématiques	continuité	discontinuité

Sur ce deuxième axe, le jeu peut être plus ou moins volontaire, voire imposé et subi. Ainsi d'après le linguiste Noam Chomsky et l'économiste Edward Herman, suite à leur observation des médias de masse, une transformation contrôlée à grande échelle est assimilables à de la propagande (Herman & Chomsky, 1988). En écho, dans son analyse sur *La forme des crises* (Parrochia, 2008), le philosophe présente la crise comme une transformation non maîtrisée. Rappelons que pendant la seconde guerre mondiale, l'économiste Karl Polanyi avait qualifié de *Grande Transformation* « *ce qui est arrivé au monde à travers la grande crise économique et politique des années 1930-1945* » (Polanyi, 1944). A sa suite, au début du XXe siècle, l'économiste René Passet présente l'effet des transformations sur nos représentations dans une synthèse sur *Les grandes représentations du monde et de l'économie au cours de l'histoire*, relevant la recherche d'un nouveau paradigme tout en faisant un « *plaidoyer pour une approche bioéconomique de la destruction créatrice* » (Passet, 2010:895). Une analyse concrète de ces transformations se doit donc d'être transdisciplinaire. Nous appuyant sur une lecture scientifique et technique, dans laquelle l'énergie de transformation prend toute sa place, il paraît nécessaire de considérer de concert le symbolique, le politique et l'économique, agissant à différents niveaux : à la fois méta et méso pour le premier qui s'appuie

sur le langage et la communication, et du micro au macro pour les deux suivants, chacun pouvant s'exercer à différentes échelles. Au cœur de ces disciplines, les trois facteurs de transformation principaux sont l'information associée aux idées, les codes associés aux réglementations, et la monnaie associés à l'échange des ressources et services, tant matériels qu'informationnels. Précisons pour commencer la distinction entre transformation subie et contrôlée, autrement dit la maîtrise de la *boucle commande*. Nous abordons ensuite l'évolution des transformations des sociétés dites modernes, acquises par la maîtrise de l'énergie, sans oublier leurs conséquences. La plus simple des représentations formelles qualitatives qu'on puisse donner d'une **crise** consiste à la voir comme une situation transitoire entre deux régimes séparés par une discontinuité. Pour un mathématicien, cette situation évoque des techniques précises qui peuvent renvoyer à la *théorie quantique*, à la *théorie des ondes de choc*, ou encore, plus génériquement, à la *théorie des bifurcations*. Issue des travaux de Poincaré, la théorie des bifurcations est l'étude des équations dont les courbes bifurquent en un point critique, deux ou plusieurs valeurs de y étant possibles pour une même valeur de x. La théorie des bifurcations est d'esprit trop analytique pour recevoir des applications précises en sciences sociales mais, dans les années 1972, le mathématicien René Thom a développé, sous le nom de « *théorie des catastrophes* », une théorie d'esprit plus topologique, qui s'inscrivait dans le sillage des travaux de Andronov, Pontryagine, Morse et Whitney. Le pilotage des transformations à grande échelle est une problématique traitée par l'intelligence économique et les armées modernes. Le consultant en Intelligence Économique, géostratégie et relations internationales Christophe Stalla-Bourdillon, qui enseigne à l'EGE, École de Guerre Économique, résume les principales méthodes pour construire une représentation du monde dans le contexte d'instrumentalisation de l'information (Stalla-Bourdillon, 2019). Elles sont synthétisées dans le tableau T10.

T10 — Transformation : prise de conscience et mobilisation

méthodes pour créer de l'adhésion : « capturer les cerveaux »			
d'après les grecs	logos	pathos	ethos
batailles	idées	émotions	valeurs
supports	mot	image, musique	symbole, action
moteurs	raisonnement, réflexion :rapport à l'environnement	peur, désir : réaction interne, globale	lien
système cognitif	système 2	système 1	système 3 : garant de l'intégrité
techniques de mobilisation pour passer de la conscience à l'action : « mettre en mouvement »			
classiques	mimétisme	suivisme	"bâton/carotte"
extrémisées	criminaliser, psychiatriser	hystériser	excommunier

Le consultant se réfère tout d'abord aux notions grecs de *logos*, *pathos* et *ethos*. A ces concepts sont associées trois méthodes pour créer de l'adhésion, ce qui revient à « *capturer les cerveaux* » ainsi que trois techniques de mobilisation pour passer de la conscience à l'action, autrement dit « *mettre en mouvement* ».Aux méthodes correspondent des batailles, supports, moteurs et systèmes cognitifs[87], les techniques étant classiques ou extrêmes.

L'anthropologue André Leroi-Gourhan établit la relation entre transformations symboliques et techniques, celles-ci s'appuyant sur *le geste et la parole* (Leroi-Gourhan, 1964; 1965). Nous avons vu précédemment que toutes les transformations en physique sont quantifiées par l'énergie. Comme le rappelle Jean-Marc Jancovici : « *il s'agit de la grandeur qui caractérise un changement d'état*

87. Nous les approfondirons au § 3.1.3.1

d'un système »[88] Il précise « c*'est une grandeur physique régie par des lois qui ne dépendent pas de nous [...] c'est ce qui quantifie la transformation de l'environnement* » (Jancovici, 2019:"10:20").

La capacité transformation de l'homme s'est fortement accrue avec le développement de la science moderne, qui lui permet de maîtriser des processus de transformation. La connaissance progressive des lois de transformation a profondément modifié le rapport de l'homme à son environnement depuis la révolution industrielle. Ce processus s'analyse par le principe de conversion de l'énergie en comparant la puissance énergétique dissipée. Les exemples de l'ingénieur sont parlants. L'humain est en soi un premier convertisseur, qui alimenté par la nourriture et l'énergie solaire produit chaleur, mouvement. Avec une puissance d'environ 100 Watts, il fournit de 10 à 100 kWh de travail mécanique par an selon son activité plus ou moins sédentaire. Un litre d'essence fournit 2 à 4 kWh de travail mécanique. Alimentée à cette énergie fossile une machine produit 20 000 kWh par an, soit l'équivalent de 200 à 2 000 humain. Dans les premières amplifications, la force mécanique était produite par de l'énergie renouvelable : combustion du bois, force du vent et de l'eau pour faire tourner les moulins et force animale, une partie de la biomasse, pour les labours et le transport. Une succession de découvertes de lois scientifiques, de la force gravitationnelle à la force nucléaire en passant par la thermodynamique et l'électromagnétisme, ont conduit aux différentes étapes de la révolution industrielle et à un usage croissant des machines. Le numérique affine aujourd'hui leur champ d'action et leur pilotage, s'appuyant sur la boucle de rétroaction, capteur-effecteur précédemment introduite. Le changement de représentation de la relation de la société avec la nature est également induit par un « *effet retour* » du développement technologique expansif des sociétés technologiques. Élargissant le point de vue, J.M. Jancovici faisait également remarquer que des conditions climatiques stables au commencement de l'ère néolithique furent propices à la sédentarisation, au démarrage de la production, au développement du commerce, parallèlement à la

88. Cf. https://jancovici.com/transition-energetique/l-energie-et-nous/lenergie-de-quoi-sagit-il-exactement/

naissance de l'écriture, qui a progressivement façonné les sociétés humaines au cours des millénaires, comme l'illustre le documentaire du réalisateur britannique David Sington[89]. Ce bref aperçu historique n'a pour simple objectif que d'illustrer la relation étroite entre les trois facteurs de transformation évoqués, dont la complexité du tissage échappe aujourd'hui au sens commun, ayant conduit à des économies et politiques déconnectés de la réalité du terrain, c'est-à-dire « *hors-sols* » (Latour, 2017). Une analyse *Thermodynamique de l'évolution* (Roddier, 2012) fait apparaître une loi globale de transformation conduisant à une évolution vers des structures maximisant la dissipation de l'énergie (cf. § 1.2.3).

La transformation de l'environnement par l'action humaine semble donc précéder la transformation collective des consciences, interrogeant la relation entre *boucle de connaissance* et *boucle de commande*. La transformation réflexive s'opère avec l'émergence d'une prise de conscience progressive suite aux retombées négatives croissantes de la boucle de rétroaction liée à l'activité humaine qui agit triplement sur l'environnement selon trois processus liés : la surexploitation et la perturbation des écosystèmes provoque une réduction de la biodiversité ; celle-ci se combine à un rythme de dégradation des déchets trop faible par rapport à leur production entraînant une pollution ; les deux processus se combinent également à un différentiel entre les l'émission des gaz à effet de serre et les capacités d'absorption du vivant source d'une perturbation du climat, qui se traduit par un accroissement global moyen des températures à la surface de la terre et une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes atmosphériques qui désorganisent l'activité humaine. L'ère qui en résulte est qualifiée d'**anthropocène***,* voire du concept alternatif de *capitalocène*, même si le concept n'est pas encore officialisé par les géologues, étant absent de la carte chronostratigraphique[90] internationale[91]. Cette transformation de la planète par l'homme a été progressivement mise en

89. Cf. *L'odyssée de l'écriture* (2020), documentaire de David Sington, disponible en ligne du 14/11/2020 au 19/01/2021 sur la chaîne arte tv :
https://www.arte.tv/fr/videos/RC-020387/l-odyssee-de-l-ecriture/
90. « La chronostratigraphie est une branche de la stratigraphie dont l'objet est l'étude de l'âge des couches (states) de roches. » — http://clubgeologiqueidf.fr/accueil/le-bassin-parisien-2/stratigraphie/
91. Cf. https://stratigraphy.org/timescale/ [consulté le 2020-12-14]

évidence par des scientifiques issus de différentes disciplines, comme le minéralogiste et chimiste russe Vladimir Vernadski (1863-1945) qui définit la notion de biosphère, le mathématicien Alfred James Lotka (1880-1949) théoricien de la dynamique des populations, le mathématicien et économiste Nicholas Georgescu Roegen (1906-1994) pionnier de la bioéconomie. Plus récemment, le philosophe Bernard Stiegler a théorisé ce phénomène d'augmentation de l'entropie par l'espèce humaine via des artefacts qu'il nomme *pharmakon*, étant à la fois le poison et le remède. Et pour lutter contre ce qu'il appelle le *nihilisme du calcul*, il propose une méthode de travail pour faire muter l'économie, en la basant sur la lutte contre l'entropie et en agissant à un double niveau, qu'il expérimentait en local avec le développement de *territoires apprenants contributifs*[92], et portait à plus haut niveau avec le projet *memorandum of understanding*[93]. Dans le management également de nouvelles théories émergent s'appuyant sur une introspection individuelle et collective, comme la *Théorie U* d'Otto Scharmer, qui incite à « *basculer les économies d'un égo-système vers un éco-système* » (Scharmer & Kaufer, 2013) en s'appuyant sur une triple ouverture[94]. Améliorer la gestion du rapport entre l'individuel et le collectif nécessite cependant le développement d'un apprentissage des compétences en collaboration et de pratiques de facilitation. Dans ces domaines, la place du numérique pourrait être centrale.

92. Cf. https://recherchecontributive.org/ [consulté le 2020-12-14]
93. Porté par le groupe *internation* — cf. https://internation.world/ [consulté le 2020-12-14]
94. *Open mind*, *open heart*, *open will*

1.2.6. Transformation numérique

Le concept de *transformation numérique* est en compétition avec celui de *transition numérique* (Chabin, 2017). La *transition* désigne le passage d'un état à un autre, un processus de transformation au cours duquel un système passe d'un régime d'équilibre à un autre (Bourg & Papaux, 2015). Nous ne retenons pas ce terme qui nous paraît sous-estimer l'effet réel du numérique, bien que ce terme de transition permette de prendre en compte le temps nécessaire à l'adoption de la transformation. Selon le modèle de Rogers (2003), le temps de diffusion d'une innovation suit 5 étapes, suivies par différents types de population. Signalons que Geoffrey Moore a affiné ce modèle en introduisant un abîme entre les *premiers adeptes* et la *majorité précoce* (Moore, 2014). Ce fossé est à franchir pour qu'une innovation s'impose. Les technologies numériques semblent répondre à ce schéma comme l'analyse Gartner avec son *cycle du hype*[95]. Mais, comme vu en Ouverture, le numérique est plus qu'un produit, objet ou outil, c'est également un terrain. Or un changement de milieu n'appelle pas simplement une adoption mais une adaptation. C'est pourquoi, de notre point de vue, cette transformation ne fait que débuter et relève plus d'une *métamorphose* ou d'une *mue numérique*, agissant sur les corps et les esprits à différentes échelles. La transformation numérique trouve ses sources dans la technologie, s'articulant autour de quatre leviers clés que sont les algorithmes (logiciels), les données, les machines (ordinateurs, smartphones) et réseaux (infrastructures, protocoles) qui ont conduit à « l'*hyperpuissance de l'informatique* » (Berry, 2017). Également dénommée *e-transformation* ou *transformation digitale*, elle qualifie un ensemble de phénomènes liés à l'essor du numérique, dont le support principal est le réseau internet et la téléphonie mobile. Dans le tableau T11, nous commençons par relever la variété des notions induites par l'usage de termes associés au numérique, issus de deux langues, français et anglais, sans entrer dans les raisons de ces choix linguistiques.

95. Cf. https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle

T11 — Termes du numérique et notions induites

termes français	*termes anglais*
informatique : contraction de information et automatique	*computer science* : exprime un centrage sur la technologie
ordinateur : qui ordonne	*computer :* qui calcule
numérique : de nombre, qui se distingue de l'analogique et exprime la discrétisation d'un signal continu	*digital* : évoque le chiffre, mais également le doigt et donc les interfaces à manipulation directe
données massives : massif est un adjectif dont les principaux synonymes sont gros, épaux, lourd, fort, important, puissant, pesant	*big data* : big est un adjectif dont les principaux synonymes sont grand, gros, important, vaste, majeur, considérable, volumineux

Ce premier tableau permet d'introduire notre hypothèse H3 sur le rapport entre transformation et langage : la transformation numérique agit avant tout sur le langage, affectant voire déstabilisant nos représentations. La comparaison avec des révolutions sociétales antérieures nous aide à retrouver des repères. Les marqueurs les plus mentionnés sont ceux qui ont conduit à des changements systémiques comme la révolution industrielle, la naissance de l'imprimerie (Eisenstein, 1979), la naissance de l'écriture (Herrenschmidt, 2007), voire le néolithique (Robin, 1989). Ces transformations résultent d'un faisceau de conjonctures. Dans le tableau T12 nous mentionnons pour chaque marqueur chronologique (les dates sont approximatives), un critère significatif qui justifie la comparaison ainsi que l'analogie. Dans l'histoire des techniques, ne sont sélectionnées que les périodes les plus fréquemment citées. Ces repères restent subjectifs et notre comparaison simpliste mériterait une analyse plus fine. Précisons simplement la comparaison avec la révolution industrielle. La transformation numérique est assimilée à la quatrième révolution industrielle : « *Lors de la Première révolution industrielle, l'eau et la vapeur ont permis de mécaniser la production. La Seconde révolution industrielle a exploité l'énergie électrique pour créer la production de masse. La Troisième révolution industrielle s'est appuyée sur l'électronique et les technologies de l'information pour automatiser la production. La Quatrième révolution industrielle*

en est issue : c'est la révolution numérique, née au milieu du siècle dernier. Elle se caractérise par une fusion des technologies qui gomme les frontières entre les sphères physique, numérique et biologique. » (Schwab, 2015)

T12 — Marqueurs chronologiques de quelques transformations sociétales

vers	*période*	*critère significatif de la transformation*	*repère analogique de la transformation*
+1 800	révolution industrielle	énergie bon marché abondante suite à la découverte des lois de la physique : thermodynamique, électricité, nucléaire	information bon marché et abondante, poursuite de l'automatisation des systèmes mécaniques
+1 500	imprimerie	ensemble de techniques de reproduction de masse permettant la diffusion des idées	baisse du coût de la copie de l'information, explosion de la diffusion
-3 500	écriture	fixation de la parole sur un support, passage de l'oral (état gazeux) à l'écrit (état solide) : conservation mémorisation des traces permettant de nouvelles formes d'organisation	passage d'un état solide (écrit) à un état liquide (flux d'information).
-10 000	néolithique	développement du stockage et des échanges, suite au développement de l'agriculture, naissance des cités; contrôle de la transformation via l'énergie	contrôle de la transformation via l'information

La somme de ces comparaisons nous montre que la transformation numérique combine les effets de ces différentes phases de transition. Le numérique renouvelle ainsi l'écriture avec le *code*, mais également le découpage des tâches du travail avec la *data*. Et si son développement est dans la continuité des succès de la révolution industrielle, il en amplifie les effets conduisant à une surexploitation des ressources naturelles et leur risque d'épuisement : d'une part par amélioration de la détection de ces ressources avec des capteurs et sondeurs de plus en plus précis, d'autre part par l'exploitation de métaux rares intervenant dans la fabrication des

composants électroniques (Pitron, 2018). Revenons au langage en précisant que l'information obéit à une loi inverse de celle qui affecte la matière-énergie : elle se multiplie lorsqu'on la partage. Or les technologies numériques ont facilité la production d'informations, les technologies du web 2.0, le web participatif, permettant à chacun de devenir producteur de contenus. Il s'est produit une inversion : l'information ressource rare est devenue abondante. Mais l'uniformisation avec le codage binaire, l'accessibilité et l'automatisation ont produit un double effet de saturation et de mise en concurrence de la visibilité. Pour illustrer à présent l'impact de la technologie sur le langage et la communication, nous référençons, sans chercher l'exhaustivité, un ensemble de technologies numériques en relation avec le réseau internet qui ont eu une influence notable. Le tableau T13 illustre des composantes technologiques de la communication numérique.

T13 — Composantes technologiques de la communication numérique

composante (1)	*description => conséquence*	*transformation*
codage binaire	système uniformisé de numération réduit à deux chiffres, 0 et 1 => informatique, calculateur universel (machine de Turing)	multimédia : nombre, texte, son, image, fixe, animée et calculée
protocole tcp/ip (1973)	transfert des données sur Internet => internet, mise en réseau des machines	interconnexion des calculateurs et mémoires, puis des capteurs et effecteurs
émoticônes (Fahlman, 1982)	figuration symbolique d'un, sentiment d'une émotion ou d'une ambiance dans un discours écrit => communication des ressentis	codage des émotions
irc, langage sms, messagerie instantanée (1988)	abréviation pour une rapidité de saisie et/ou le respect d'une contrainte technique (140 caractères) => émergence d'un dialecte social	notifications
http/html (1990)	balisage de description hypertexte pour l'humain et la machine => web	documents hypertextes

unicode (1991)	standard de codage informatique des caractères => jeu universel de glyphes	traductions dans toutes les langues
xml (1996) puis json (2002)	balisage de description hypermédia (pour la machine et l'humain) => web	traitement algorithmique des documents
emoji (1997)	pictogramme => expression par des mots images	communication par symboles
rdf (1999)	graphe de description formelle des ressources du web => web sémantique	gestion de contexte par les machines
applications p2p (1999)	modèle d'échange en réseau décentralisé, chaque entité est à la fois client et serveur => pair-à-pair	symétrie des échanges
algorithme adwords (2000)	régie publicitaire de Google affectant une valeur aux mots du dictionnaire => monétisation du langage	capitalisme linguistique (Kaplan)
licences creative commons (2002)	ensemble de licences régissant les conditions de réutilisation et de distribution d'œuvres => diffusion et partage des oeuvres	patrimoine libre
crypto-monnaies (2009)	monnaie dont le mécanisme de création de confiance est décentralisé, assuré par un algorithme =>	nouvelle « chaîne monétaire » (cf. encadré E20)

(1) liste des abréviations utilisées et signification :

- html, *hyper text markup language* : langage de balisage hypertexte
- http, *hyper transfer transfer protocol* : protocole de transfert hypertexte
- irc, *internet relay chat :* discussion relayée par internet
- p2p, *peer-to-peer* : pair-à-pair
- rdf, *resource description framework* : cadre de description des ressources
- sms, *short message service* : mini messages ou texto
- tcp/ip, *transmission control protocol/internet protocol* : protocole de contrôle de transmission / protocole internet
- xml, *extended markup language* : langage de balisage étendu

E20 — Les « chaînes monétaires »

Nous introduisons le concept de « chaîne monétaire » en nous limitant à l'expression d'hypothèses et d'idées clés, qui seraient à développer dans une communication spécifique. Nous qualifions de « chaîne monétaire » une innovation qui crée une dépendance à la monnaie. La source de cette dépendance est un processus répétitif, structurant, qui génère une habitude. Un de ses effets est de favoriser le développement du capitalisme, via un effet de multiplication des gains chez ceux qui ont le contrôle des algorithmes et des lois qui affectent le volume et la répartition des flux d'information (pouvoir médiatique), de données (pouvoir technique) et monétaire (pouvoir économique). Le tableau T14 répertorie quelques exemples de chaînes monétaires, leur fonctionnement et effets.

T14 — Exemples de chaînes monétaires, fonctionnement, effets

chaînes monétaires	*principe de fonctionnement et effets*
salaire	paiement périodique associé à un contrat créant une obligation de mise à disposition d'une force de travail
crédit	mise à disposition d'argent sous forme de prêt créant une dette, obligation de remboursement
abonnement	formule de souscription à un service récurrent (information, transport…) générant une habitude de consommation
carte à puce & monnaie électronique	moyens d'identification personnelle permettant une simplification et une mémorisation des transactions, qui facilite le paiement et automatise le profilage pour optimiser la répartition des flux
crypto-monnaie (2009)	monnaie dont le mécanisme de création de confiance est décentralisé, assuré par un algorithme. Effet probable : accroître le périmètre des échanges calculables, en les intégrant dans le système économique, tout en chargeant la communauté du calcul de la preuve
revenu de base (expérimental)	dividende universel attribué sans condition à une communauté dont l'effet probable est de faciliter l'extension de son usage et de pérenniser la valorisation des échanges par la monnaie

Notons que si les trois premières chaînes sont apparues avant le numérique on observe cependant une étroite corrélation entre le développement des technologies qui y sont issues (mémorisation, calcul, transmission), et dont la finance fait un usage croissant depuis les années 1980, et les phénomènes suivants : l'augmentation des inégalités économiques (Piketty, 2013) qui affecte en particulier les salariés, l'augmentation du recours au crédit, la généralisation des systèmes d'abonnement[96]. L'expérimentation des deux dernières chaînes est plus récente, nous nous contentons donc d'exprimer une probabilité d'effets. La première crypto-monnaie, le bitcoin, est diffusée depuis 2009. Et si le concept de *revenu universel* remonte sans doute à l'auteur d'*utopia*, Thomas More, et que des premières expérimentations ont eu lieu depuis la fin des années 1960 aux état-unis (Groulx, 2005), on observe actuellement une multiplication de ces expérimentations, en phase avec la transformation numérique, les idées étant diffusées mais surtout débattues sur les médias interactifs. Les forums de discussion et les réseaux sociaux sont ainsi le support d'une multiplicité de dénominations et d'avis. L'expression distingue l'objet (revenu, salaire, allocation, dotation, dividende) de son contexte (de base, universel, citoyen, minimum, garanti, d'existence, à vie). Les avis sur les effets probables sont multiples et parfois soutenus par des défenseurs ayant des positions opposées, qui expriment aussi bien la simplification du système d'aide social de l'état (ce qui permettrait également de mieux le contrôler) qu'une attente de répartition des profits, générés par la transformation numérique des organisations en réseau. Il existe également des positions tierces comme le développement des *monnaies régionales* (Lietaer, 2008), celui de « *la gratuité pour les services universels élémentaires (logement, nourriture, santé, enseignement, services de transport, services informatiques, etc.)* » (Ariès, 2018), et, sans doute plus en phase avec les principes du vivant, celui de *monnaie fondante* (Gesell, 1916).

96. A titre d'illustration - cf. l'article "L'année où tout le monde a voulu vous vendre un abonnement – Bilan de 2019" : https://www.frandroid.com/produits-android/console/653930_lannee-ou-tout-le-monde-a-voulu-vous-vendre-un-abonnement-bilan-de-2019

Ces innovations trouvent toute leur source dans la discipline informatique mais leur condition d'émergence et leurs effets sont avant tout étudiés par les sciences humaines. On notera simplement que leur avènement et leur diffusion mélange étroitement innovations avec contraintes techniques, économiques et sociales. L'ampleur de certaines de ces innovations a surpris comme l'usage du SMS. Lorsqu'un choix technologique présente des alternatives, celle qui s'impose n'est pas toujours la plus attendue ni la plus rationnelle. Comme pour le vivant, l'évolution des technologies numériques se fait par **bricolage** (Jacob, 1970 et 1977; Swynghedauw, 2012) invisible pour la plupart des utilisateurs. Cette notion et son rapport à la transformation numérique sont précisés dans l'encadré E21.

E21 — Transformation numérique et bricolage

Notre hypothèse est que le numérique évolue sur un principe similaire à celui du vivant, par essais, erreurs et ajustements. Il en résulte de nombreux compromis d'où résulte un *bricolage* qui se traduit par une profusion de systèmes, créés contextuellement pour résoudre ponctuellement une problématique, si possible économiquement. La technologie en général et les technologies numériques en particulier émergent du vivant, qui projette dans ses réalisations son propre fonctionnement. Biologiquement, il s'inscrit dans le double processus d'*assimilation* et d'*accommodation* piagétien[97]. Un champ de vision étroit et un manque de recul conduisent à une solution qui, si elle résout le problème considéré, a peu de chance d'être durable, et beaucoup de chances d'être la source d'un autre problème. Cela pose la question de la méthodologie de conception, qui se construit par abstraction, complétant le pragmatisme. Les méthodes s'affinent avec l'expérience, en rationalisant des expérimentations voire des *bricolages. Dans le numérique,* ce phénomène s'exprime par le concept de *bidouillabilité* (Nitot, 2009) traduisant le terme anglais de *hackability*. Cette capacité de détournement est nécessaire à une technique *conviviale* (Illich, 1973). Elle est dans l'esprit du réseau internet dans le protocole de transfert des données permet de suivre différentes voies, en fonction des obstacles rencontrés

97. http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/ModuleFJP001/index_gen_page.php?IDPAGE=304

en chemin. La bidouillabilité permet d'ajuster la théorie à la pratique, plus précisément les usages conçus et la pratique effective, qui s'adapte aux particularités du contexte et aux aléas, comme le relève la *sociologie des usages*. En retour les méthodologies évoluent, comme par exemple celle du *design thinking* qui en ajoutant la dimension biologique aux trois dimensions prises en compte initialement, technique, économique, sociale, donne naissance au *circular design*. Ce bricolage est cependant source de nombreux *coûts cachés* (Savall et Zardet, 1989). Il génère une **dette technique**, terme proposé par l'informaticien Mark Cunningham, en 1992, par analogie avec la dette financière[98].

Cette pratique qui s'oppose aux stratégies des gens au pouvoir est à mettre en relation avec à la notion de « braconnage » du philosophe Michel de Certeau (1990), et fait écho à la notion de *vicariance* en biologie (cf. § 1.2.4).

Cela n'empêche pas le déploiement de réelles stratégies de pouvoir, qui échappent complètement aux utilisateurs, et qui peuvent suivre des voies diverses. Par exemple, les instances de définition des standards de l'internet ont été progressivement noyautées par des acteurs privés pour orienter les nouveaux standards en leur faveur. C'est ainsi qu'en septembre 2017, le W3C, World Wide Web Consortium, « l'organisme de standardisation à but non lucratif chargé du développement des normes du Web, a publié la spécification EME[99] comme une recommandation, faisant de l'EME un standard officiel du Web, malgré l'absence de consensus. Cette décision controversée a poussé, à l'époque, l'*Electronic Frontier Foundation* (EFF) à démissionner du W3C. »[100] Dans l'encadré E22, nous précisons également le rapport du numérique à la **transparence**.

Au tableau T13, nous ajoutons une dernière évolution majeure, accessible à tous

98. Cf. https://www.infoq.com/fr/articles/managing-technical-debt/ [consulté le 2020-12-9]
99. Encrypted Media Extensions — cf. https://www.w3.org/TR/encrypted-media/ — on notera que cette recommandation a pour éditeurs : David Dorwin, Google Inc., Jerry Smith, Microsoft Corporation, Mark Watson, Netflix Inc., Adrian Bateman, Microsoft Corporation
100. https://web.developpez.com/actu/290309/Trois-ans-apres-que-le-W3C-ait-approuve-une-norme-DRM-il-n-est-plus-possible-de-faire-un-navigateur-independant-fonctionnel-d-apres-un-rapport/

depuis un simple smartphone, qui s'appuie sur les progrès de l'intelligence artificielle, celle des assistants vocaux. Celui d'Apple, Siri, a été lancé en 2011. Cette évolution correspond à un changement de support. Or comme le relevait Olivier Ertzscheid, maître de conférences en sciences de l'information et de la communication : « *Le support de l'information et de la connaissance dit toujours quelque chose de notre rapport à l'information et à la connaissance. [...] Les assistants vocaux sont aujourd'hui déjà incontestablement en situation de devenir ces nouveaux pédagogues. Ils répondent et obéissent. Quant à savoir où et vers quoi nous conduisent ...* » (Ertzscheid, 2018).

E22 — Le rapport du numérique à la transparence

La perspective s'attachant aux *Visibles et invisibles dans les pratiques médiatiques et les interactions en réseaux* (Commandré, Mocquet et Vieira, 2020) nous semble particulièrement pertinente pour comprendre les transformations numériques. En effet, l'internet est soumis à des transformations internes invisibles non souhaitables (Berners Lee, 2017) qui n'ont pas d'écho médiatique. Comme pour le vivant, il s'agit de transformations silencieuses (Jullien, 2009). A l'inverse, ce qui est rendu visible, c'est l'exposition de soi, moteur qui alimente les réseaux sociaux numériques avec le triomphe du *selfie*. Mais il s'agit d'une exposition de surface , qui donne l'illusion de la transparence. Il en est de même dans le milieu professionnel : le marketing met en lumière produits et services alors que les processus de production sont bien gardés. Pour les services qui s'appuie sur des algorithmes, considérés comme secrets professionnels, cela pose question car : Une résistance s'organise avec les mouvements du logiciel libre et de l'open source, considérant que le code doit être accessible à tous puisqu'il est assimilable à une loi : *code is law* (Lessig, 2000). Quand à l'ouverture des données publiques, l'open data, notre expérience professionnelle nous a montré qu'elles sont pour la plupart encore loin de répondre à l'approche FAIR, « Facile à trouver, Accessible, Interopérable et Réutilisable, portés par certains éditeurs, bailleurs de fonds publics de la Recherche et agence gouvernementales.

Et, comme toute technologie, elle s'accompagne d'avantages et d'inconvénients, les avantages étant évidemment valorisés en premier. Pour la voix, il s'agit d'un mode de communication à distance, retrouvant ainsi un mode d'échange naturel. Mais dans cette commande à distance, ce téléguidage, s'opère un filtrage des réponses, et les dialogues sont limités au cadre fixé par les protocoles implémentés. Ainsi, pour les inconvénients, cette orientation ne fait que renforcer le capitalisme linguistique précédemment évoqué. L'étape d'après se prépare avec la robotique et les biotechnologies, dans lesquels une entreprise comme Google a clairement dévoilé ses ambitions. L'enjeu en est la symbiotique, avec le choix entre humain augmenté ou robot humanisé. Or l'on constate l'intérêt pour le développement des techniques de programmation cherchant à reproduire la créativité, avec des résultats comme la création de langages entre automates incompréhensibles par les humains.

Ces évolutions posent la question de la relation entre l'architecture et le choix. L'architecture du réseau Internet a été conçue techniquement pour offrir différents choix de routage dans le transfert des données. A son origine, le Web a été développé selon une philosophie comparable. Une faille s'y est cependant glissée avec le modèle client/serveur, qui laisse la porte ouverte à une éventuelle subordination : le client consulte le serveur, dont l'architecture est conçue pour supporter de multiples clients. Si chacun peut déployer un serveur sur son appareil, l'organisation hiérarchique de la société s'est trouvée reproduite dans cette architecture, aidée en cela par des systèmes éducatifs reproducteurs de cette structure. Nous approfondirons ce point au § 4.2.2. Le manque généralisé de compréhension du fonctionnement de la technique accompagne ainsi subrepticement, un double mouvement d'une transformation antagoniste, avec une ouverture et un partage qui conduisent à une concentration capitalistique. Les choix critiques liés au pouvoir transformateur de la technologie ne sont simplement pas posés au niveau sociétal, restant à la marge de la politique. Les transformations numériques s'effectuent ainsi sans prise globale de conscience, mais dans une sorte de jeu de rôles planétaire. Le premier des joueurs est l'utilisateur du smartphone,

présenté comme étant le roi avec cet objet protéiforme qui, selon l'enquête anthropologique de Nicolas Nova, se présente à la fois comme « *laisse* », « *prothèse* », « *miroir* », « *cocon* », « *baguette magique* » et « *coquille vide* » (Nova, 2020). Nous pourrions compléter cette liste qui reste relativement complaisante par les deux termes suivants : une « *arme* », puisqu'il permet les incitations à la haine voire au crime sur les réseaux sociaux numérique, et une « *poubelle* », réceptacle d'une *info pollution* résultant d'un ensemble de démarches publicitaires, à l'aide de cookies, spam, et applications préinstallées. Comme l'a parfaitement intégré Olivier Auber (2020a), l'enjeu est désormais « l'*être-en-réseau* », c'est-à-dire le rapport entre l'un et le multiple. Au niveau du traitement de l'information, cette distinction se traduit par deux processus opposés, à différents niveaux, que nous résumons dans le tableau T15, avant de questionner à présent l'organisation.

T15 — Processus de transformations numériques et économiques

transformation au niveau…	*de l'unique vers le multiple* *effet de répartition, diffusion*	*du multiple vers l'unique* *effet de concentration*
… du découpage de l'information	signaux, données	page, document
…de la communication	messages sur les réseaux sociaux	algorithmes de filtrage
… de la répartition des richesses	développement technologique	concentration des fortunes par le numérique (Bezos, Musk)
… de la redistribution des richesses	fondations, revenu de base	simplification des processus d'aide (point de vue ultra libéral)

1.3. Questionner l'organisation

> « *Nous recherchons maintenant un autre regard sur le monde, le monde en tant qu'organisation* » (Bertalanffy, 1993:192)

1.3.0. Introduction

L'étude du terme **organisation** sera moins détaillée que celle de la *transformation*. En effet, le paradigme constructiviste nous amène à considérer l'organisation comme un concept dérivé de celui de transformation. Il en est étroitement dépendant puisque l'organisation est à la fois le résultat et la source de transformations. Pour préciser cette position, nous commençons par définir ce terme, puis en explorons quelques traits caractéristiques via l'anneau des disciplines.

1.3.1. Définitions de l'organisation

Signalons déjà que, comme la transformation, l'organisation désigne aussi bien une action qu'une entité : la « boucle OitO » illustre cette différence puisque l'expression *organisation de l'information* indique l'action alors que la *transformation de l'organisation* se réfère à un corps organisé. C'est cette seconde signification que nous privilégions par la suite. Pour éclairer la signification de ce terme, nous considérons également deux termes proches, le substantif *organe* et le verbe *organiser*, ainsi que les concepts de *réorganisation* et d'*auto-organisation*, puis précisons la distinction entre *organisation*, *structure* et *système*.

Le CNRTL nous indique que le terme organe est emprunté au latin *organum* qui désigne un « instrument (en général) » lui même emprunté au grec οργανον « instrument de travail », « de musique », « organe du corps ». L'étymologie d'*organe* remonte à la première moitié du XIIe siècle et désigne un *instrument de musique*. Ce terme est polysémique désignant également « *la voix comme moyen d'expression* », « *personne qui sert d'intermédiaire* », « *journal qui exprime les opinions d'un parti* »

mais également « *qui sert d'instrument, en parlant du corps humain* », « *partie d'un corps vivant remplissant une fonction déterminée* », « *chacun des éléments essentiels d'une machine* », « *institution chargée de faire fonctionner certains services de l'état* ». De ces différentes définitions nous retenons deux caractéristiques : la dimension opératoire, expressive, sonore, donc vibratoire, et un champ opératoire à différents niveaux : fonction, individu, institution. Nous conservons ce spectre étendu et ne limitons donc pas le terme d'organisation à la définition récente (1908) « *ensemble des personnes qui appartiennent à un groupe organisé* » mais préférons celle élargie que donne *Le Petit Robert*, « *la façon dont un ensemble est constitué en vue de son fonctionnement* ». Volontairement transdisciplinaire, notre choix positionne cette définition entre celle plus étroite de *structure* – un « *agencement, entre eux, des éléments constitutifs d'un ensemble construit, qui fait de cet ensemble un tout cohérent et lui donne son aspect spécifique* » – et celle plus large du *système* – un « *ensemble structuré d'éléments abstraits, ensemble de concepts présentés sous une forme ordonnée* ». Étymologiquement le CNRTL précise que *structure* vient de *construction* (1396), ce terme est issu de l'architecture, et *système* désigne un « *ensemble dont les parties sont coordonnées par une loi* » (1552), introduisant la notion de règle dans l'agencement. Rappelons également que « *Luhmann utilise et distingue trois grands types de systèmes : le système vivant, le système psychique, le système social. Le premier se reproduit au moyen de la vie, le deuxième au moyen de la conscience, le troisième au moyen de la communication »* (Ferrarese, 2007:23)

Ce sont les principes liés à la *transformation de l'organisation* qui nous intéressent. Nous appuyant sur le paradigme de l'*organisation complexe* exprimé par Morin (1977:94), et la *modélisation des systèmes complexes* par Le Moigne (Le Moigne, 1990:74-75), nous retenons que l'organisation décrit la propriété d'un système en général capable à la fois de « *maintenir et se maintenir, relier et se relier, produire et se produire* », selon un triple processus d'*éco-auto-ré-organisation*. Ces auteurs précisent que la *ré-organisation* exprime la *transformation* (diachronique). L'*auto-organisation* exprime l'*autonomie*. L'*éco-organisation* exprime le *fonctionnement* (synchronique) ouvert dans l'environnement.

Nous étudions à présent la notion d'organisation en mathématiques.

1.3.2. Organisation et Mathématiques

En mathématiques, le concept d'organisation est abordé par différentes notions. Cette exploration est complémentaire à celle de l'étude des transformation mathématiques (cf. §2.2.), nous précisons les concepts d'ensemble, de classe, de structure, de groupe et ses dérivées l'anneau, le corps, pour analyser les notions de relation et de graphe, ainsi que les notion d'ordre et de fonction[101].

Parmi les objets d'étude des mathématiques, un des plus fondamentaux est celui d'ensemble. Un ensemble est une collection d'objets, les éléments de l'ensemble, qui constituent « *une multitude qui peut être comprise comme un tout* ». La *théorie des ensembles* a servi de fondement aux mathématiques — tout objet étant considéré comme un ensemble — mais cette modélisation d'abstraction maximale a posé problème. Source d'une contradiction, le paradoxe de Russell — « *l'ensemble des ensembles n'appartenant pas à eux-mêmes appartient-il à lui-même ?* » — a donné naissance au concept de *classe*. La *classe* permet de distinguer les notions de contenant et de contenu. Cette différence s'exprime avec la distinction entre la *relation d'appartenance* à une *classe* (signe $\in$), d'un élément dans un ensemble, et la *relation d'inclusion* (signe $\subset$), d'un ensemble dans un autre. Le contenant peut être assimilé à une membrane, qui enveloppe et retient le contenu, une collection d'objets. Avec la notion de classe, les opérations sont alors différenciées : elles se font alors soit au sein d'un ensemble, soit entre des ensembles.

La notion de *structure* est également fondamentale. Elle a même été à l'origine du mouvement *structuraliste* en sciences humaines et sociales. Une *structure mathématique* est une théorie « fondée » sur la théorie des ensembles, qui contient

101. Nous laissons de côté la notion d'*organisation mathématique*, du domaine de la pédagogie dans l'enseignement des mathématiques. Elle « *n'est en fait rien d'autre qu'une organisation praxéologique de nature mathématique : elle se constitue autour d'un ou plusieurs types de tâches mathématiques, plus ou moins bien identifiés, qui appellent la création de techniques mathématiques plus ou moins bien adaptées, et plus ou moins bien justifiées par des technologies mathématiques plus ou moins solides, elles-mêmes développées dans le cadre d'une théorie mathématique plus ou moins explicite.* » (Chevallard, 1997:43) Cette notion sera en revanche pertinente dans la transmission de nos travaux.

des contraintes supplémentaires. Ces contraintes permettent également de définir de nouvelles structures qu'elle inclut. Selon les contraintes ces structures prennent des noms différents comme *groupe* ou *anneau*.

La classification des structures mathématiques distingue ainsi de multiples notions, structure algébrique, d'ordre, métrique, topologique, différentielle. Chacune de ces structures introduit un concept fondamental que nous résumons dans le tableau T16 qui illustre la rigueur des mathématiques.

T16 — Structures mathématiques et notions liées

structure	*notions liées à la structures*
algébrique	calcul : addition et opérations dérivées : multiplication, puissance, logarithme…
d'ordre	ordonnancement
métrique	mesure
topologique	limite, continuité, voisinage
différentielle	opérations du calcul différentiel et intégral

Faisant partie des *structures algébriques*, la notion de *groupe* désigne un ensemble muni d'une *loi de composition interne associative* admettant un *élément neutre* et, pour chaque élément de l'ensemble, un *élément symétrique*. La notion d'*anneau* désignent certains ensembles munis d'une addition et d'une multiplication[102].

Une *structure d'ordre* est définie par une relation d'ordre dans un ensemble, relation binaire dans cet ensemble qui permet de comparer ses éléments entre eux de manière cohérente. Chacune de ces structures définissent des théories mathématiques complémentaires, qui se sont développées indépendamment au cours du temps, pour initialement résoudre des problèmes concrets. Elles évoluent aujourd'hui par elles-mêmes, trouvant parfois des usages à posteriori dans l'explication de phénomènes physiques. Avant d'aborder la dimension physique de l'organisation nous mentionnons trois points en rapport à la problématique de

102. Les pseudo-anneaux n'exigent pas d'éléments neutres pour la multiplication, et la commutativité de la multiplication n'est pas obligatoire

l'organisation, la forme, l'incertitude et l'unification, pistes dont nous poursuivrons l'étude dans les perspectives. La forme est « *la structure cachée dans les choses mathématiques*. » (Grothendieck, 1985:48), c'est comme nous l'avons déjà évoqué citant ce mathématicien l'une des *trois types de « qualités » ou d' « aspects » des choses de l'Univers, qui soient objet de la réflexion mathématique*. Les théorèmes de Gödel ont formalisé le concept d'indécidable. Enfin, l'unification des mathématiques est analysée par un philosophe : « *Deux mouvements symétriques d'unification se sont produits en mathématiques. Le premier est l'aboutissement du long chemin qui, depuis les Grecs, a tendu à résoudre l'opposition de la géométrie et de l'arithmétique, puis de la géométrie et de l'algèbre. Le second mode d'unification date de la fin des années 1960. Via la géométrie algébrique, il tend à reconstruire l'ensemble des mathématiques sur la base des correspondances de Langlands, lesquelles résorbent intégralement l'opposition de l'algèbre et de l'analyse, et constituent un fabuleux dictionnaire pour la physique de demain.* » (Parrochia, 2012)

Avant de prolonger cette étude par la notion d'organisation en physique, précisons pour qu'une *relation* entre objets mathématiques d'un certain domaine exprime une propriété commune alors que la *fonction* exprime une dépendance entre deux objets. Si une relation est toujours définissable, la fonction ne l'est pas et abstrait la relation de causalité. La fonction la plus simple est la fonction affine, loi linéaire ou loi proportionnelle, définie par l'équation $y = f(x) = ax + b$. Une autre fonction importante est la loi normale ou fonction gaussienne, loi de probabilité qui a une forme caractéristique de courbe en cloche. Il s'agit d'une loi de probabilités des mieux adaptée pour modéliser des phénomènes naturels relevant de plusieurs événements aléatoires. L'approfondissement de ces notions sera évoqué dans la partie perspectives.

1.3.3. Organisation et Physique

Si l'on peut considérer que les mathématiques étudient le *Monde des structures*, la physique étudie le *Monde des Systèmes*. De différentes tailles, les systèmes se caractérisent avant tout par l'échange de matière et d'énergie avec leur

environnement. Les systèmes sont ainsi qualifiés de *système ouvert*, le *système fermé*[103] ou *système isolé*, selon la nature des échanges avec son milieu extérieur. Sans milieu extérieur, l'univers est assimilé à un système isolé ou clos. « *La théorie des systèmes s'efforce d'établir le cadre le plus général à l'intérieur duquel on peut étudier le comportement d'une entité complexe analysable, c'est-à-dire son évolution au cours du temps.* » (Universalis, article *SYSTÈME, épistémologie*, chapitre *Théorie des systèmes*). Cette étude interdisciplinaire s'appuie sur une description de la matière/énergie et des lois scientifiques qui régissent les phénomènes qui leur sont associés. La description de la matière s'appuie sur le *Tableau périodique des éléments* et le *Modèle standard de la physique des particules*, précédemment abordés. Les lois sont scientifiques sous réserve de reproductibilité. Leur découverte progressive – *poussée d'Archimède* dans l'antiquité, *lois de Kepler*, *loi de Newton*… – s'est accélérée, affinée et ramifiée avec la méthode scientifique. La connaissance de ces lois se répartit dans différentes disciplines : physique, chimie, optique. Elles ont permis la compréhension et le contrôle de phénomènes à différentes échelles. Elles s'inscrivent dans le cadre général de la thermodynamique, avec le premier principe de conservation de l'énergie et le second d'évolution du système. Celle-ci s'effectue globalement dans le sens de l'homogénéisation. Ainsi tout système fermé ou clos, c'est-à-dire isolé du monde extérieur tend vers un équilibre. L'évolution du système est modélisable par une structure correspondant à l'ensemble de tous les états possibles, l'*espace des phases*. Cette évolution est cependant sensible aux conditions initiales. Un système de forte sensibilité aux conditions initiales conduit à des phénomènes déterministes mais imprédictibles, modélisés par la *théorie du chaos*, — cf. encadré E23 — popularisée par Lorenz évoquant l'*effet papillon* lors d'une conférence de vulgarisation[104] : « *Le battement des ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer un ouragan au Texas ?* ». Le chaos devient ainsi organisateur, induisant une transformation dans le sens de l'hétérogénéisation.

Signalons une des propriétés de la **théorie du chaos**, l'**émergence**. Ce concept

103. Echange d'énergie mais pas de matière
104. Cf. http://images.math.cnrs.fr/L-effet-papillon

philosophique est défini par le CNRTL par : « *Apparition d'un état ou d'un être qualitativement différent et irréductible à l'état ou à l'être dont il procède* »

E23 — La théorie du chaos

La *théorie du chaos* est l'étude du comportement des systèmes dynamiques à très forte sensibilité aux conditions initiales. La notion de chaos amène à repenser la notion de « lois de la nature » telles qu'elles étaient conçues depuis Descartes et Newton. « *Dans la perspective classique, une loi de la nature était associée à une description déterministe et réversible dans le temps. Futur et passé y jouaient le même rôle. L'introduction du chaos nous force à généraliser la notion de loi de la nature et à y introduire les concepts de probabilité et d'irréversibilité.* » (Prigogine, 1993:15). En passant à un schéma probabiliste, la théorie du chaos « *brise la symétrie temporelle, et dès lors introduit l'irréversibilité* » (*ibid*., p.51) entre une description de niveau microscopique et macroscopique. Elle modélise ainsi le comportement de systèmes complexes. La physique du chaos s'appuie sur le concept d'attracteur pour expliquer l'origine de phénomènes aléatoires, c'est-à-dire imprédictibles. Un **attracteur** d'un système dynamique est défini mathématiquement comme la « *région de l'espace des phases vers laquelle converge, au fur et à mesure que le temps s'écoule, le point représentatif d'un système dynamique, quel que soit son état initial.* »[105] Le dictionnaire Larousse précise également la notion d'*espace des phases* : « *espace mathématique abstrait permettant de représenter de façon précise l'état d'un système dynamique.* »[106] Selon le système considéré, l'attracteur peut être un simple point, une courbe, ou un espace plus ou moins complexe.

Une théorie parallèle à la théorie du chaos, celle des **structures dissipatives**, décrit suite aux travaux du physicien chimiste bruxellois Ilya Prigogine le comportement des systèmes ouverts loin de l'équilibre dynamique. Nous en donnons un exemple simple en partie 2.2.2. avec le phénomène de convection des cellules de Bénard.

105. Cf. https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/attracteur/
106. Cf. https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/phase/

Les systèmes dissipatifs maximisent la dissipation de l’énergie. Ils sont auto-organisateurs. La vie elle-même est assimilée à un système dissipatif.

Avant de prolonger cette étude par la notion d’organisation en biologie, précisons que les états instables de la matière peuvent être contrôlés, pour produire par exemple l’état vitreux. Le verre est un matériau en tension, c'est-à-dire hors d'équilibre du point de vue de la thermodynamique, dont la structure est instable. Autre exemple, dans une pièce métallique, les tensions peuvent être générées par le procédé de trempe (refroidissement rapide) et atténuées par le recuit, montée en température graduelle suivie d’un refroidissement contrôlé. Ces deux procédés influent sur la structure interne et confèrent des propriétés spécifiques aux matériaux traités.

1.3.4. Organisation et Biologie

Si les mathématiques étaient centrées sur la notion de *structure*, la physique-chimie sur celle de *système*, les sciences du vivant sont centrées sur celle d'*organisme* et d'*organe*. Le CNRTL définit l'organisme comme un « *assemblage, combinaison, ensemble des éléments constituant un être vivant* » et l'*organe* comme un « *ensemble d'éléments cellulaires physiologiquement différenciés et combinés, remplissant une fonction déterminée.* » Selon l'Encyclopedia Universalis, « *du point de vue de l'école de Bruxelles*[107]*, la question du vivant n'est pas centrée sur l'information et son traitement (l'organisme étant considéré comme une traduction de l'information génétique) mais sur l'« auto-organisation » de la matière loin de l'équilibre*. » Un système vivant est dans un équilibre dynamique, thermodynamique, entre homogène et hétérogène. Dans une interview[108] Bernard Stiegler présente l'être vivant *comme* « *une localité qui maintient un certain ordre thermique, métabolique, chimique… c'est la néguentropie, qui a la capacité à différer l'entropie. La néguentropie est locale et temporaire, c'est la vie* ». Pour cela l'organisme a tendance à maintenir « *ou à ramener les différentes constantes physiologiques (température, débit sanguin, tension artérielle, etc.) à des degrés qui ne s'écartent pas de la normale.* » C'est la définition de l'*homéostasie*. La biologie se distingue donc de la physique par l'étude des systèmes qui s'autogénèrent. et interagissent, nous faisant entrer dans le *Monde des Écosystèmes* dont la *Théorie générale des systèmes* (Bertalanffy, 1968) propose un premier niveau de modélisation des systèmes ouverts dits « actifs » (par eux-mêmes), par rapport aux systèmes « passifs », commandés par l'externe. L'organisme vivant organise par lui-même son environnement et est organisé par son environnement. Le rapport entre vie et connaissance est résumé par le médecin, philosophe et épistémologue français Georges Canguilhem : « La vie est formation de formes, la connaissance est analyse des matières informées » (Canguilhem, 1965). Complétant les travaux de Prigogine en physique-chimie, les chiliens Humberto Maturana et Francisco Varela vont ainsi

107. Référence aux équipes autour de Ilya Prigogine
108. Cf. https://www.thinkerview.com/bernard-stiegler-mutations-sociales-politiques-economiques-psychologiques/ interview Thinkerview du 17 janvier 2018

proposer le concept d'**autopoïèse** pour qualifier le principe d'auto-engendrement de l'organisme. Nous le précisons dans l'encadré E24.

E24 — Autopoïèse

Du grec *auto* soi-même, et *poièsis* production, création, le concept de l'autopoïèse est défini ainsi : « *Un système autopoïétique est organisé comme un réseau de processus de production de composants qui régénèrent continuellement par leurs transformations et leurs interactions le réseau qui les a produits, et qui constituent le système en tant qu'unité concrète dans l'espace où il existe, en spécifiant le domaine topologique où il se réalise comme réseau. Il s'ensuit qu'une machine autopoïétique engendre et spécifie continuellement sa propre organisation. Elle accomplit ce processus incessant de remplacement de ses composants, parce qu'elle est continuellement soumise à des perturbations externes, et constamment forcée de compenser ces perturbations. Ainsi, une machine autopoïétique est un système … à relations stables dont l'invariant fondamental est sa propre organisation (le réseau de relations qui la définit).* » (Maturana & Varela,1989). Varela précise le risque d'un emploi abusif de ce terme : « *niveau – système immunitaire, cerveau, autopoïèse cellulaire – présente un mécanisme d'émergence spécifique. (…) Évidemment, vu de loin, il y a un air de famille dans le fonctionnement du système immunitaire, du cerveau, de l'autopoïèse. Mais ce n'est pas dans les généralités que l'on trouvera les réponses à nos questions. L'une des grandes erreurs est de confondre les niveaux d'organisation. Ainsi l'autopoïèse décrit-elle le fonctionnement du niveau d'organisation cellulaire. Mais le système immunitaire, le cerveau, l'organisme humain ne sont pas autopoïétiques. Ils possèdent d'autres caractéristiques d'organisation qui permettent leur émergence.* » (Varela, 2002 : 175-176). La définition de Wikipédia est explicite, l'autopoïèse est « *la propriété d'un système de se produire lui-même, en permanence et en interaction avec son environnement, et ainsi de maintenir son organisation (structure) malgré son changement de composants (matériaux).* »

Gregory Bateson, Evan Thompson et Eleanor Rosch vont également appliquer ce principe d'auto-engendrement à la cognition, en proposant le concept d'*énaction*. Ces travaux prolongent au niveau de l'individu le concept d'*Umwelt* de Jakob Von Uexküll appliqué à l'espèce, selon lequel chaque espèce vivante a son univers propre, qui lui impose ses déterminations et à quoi elle donne sens, produisant des mondes animaux parallèles au monde humain (Uexküll, 1956). Notons que le facteur de taille intervient dans l'auto-organisation du vivant tout en répondant aux lois physiques de la thermodynamique. Les recherches sur l'évolution et le développement des systèmes adaptatifs se développent ainsi aujourd'hui à de multiples échelles (Georgiev et al., 2019).

L'organisation biologique se découpe en différents niveaux. La cellule est souvent prise comme unité de base, en distinguant la procaryote (sans noyau) et l'eucaryote (avec noyau). La cellule est une unité autonome dans sa reproduction, elle se distingue du virus qui a besoin d'une cellule pour se multiplier. Un assemblage de cellules forme un tissu, simple si elles sont de même structure, composé si elles sont de structures différentes et de matrice extracellulaire, composé de macromolécules. Dans les interprétations des différents niveaux d'organisation de la matière et du vivant signalons celle du chercheur Gerard Jagers op Akkerhuis du centre de recherche de Wageningen[109] qui propose l'*hypothèse de la hiérarchie des opérateurs*, en s'appuyant sur le concept de clôture (*closure*), *clôture structurelle* et *clôture fonctionnelle* (Jagers op Akkerhuis, 2016). Cette hypothèse « *classe les types de systèmes selon leur type de clôture et leur niveau de complexité. Pour créer la hiérarchie des opérateurs, il est nécessaire d'analyser le pedigree des opérateurs étape par étape et de réorganiser tous les opérateurs.* » Hadron, atome et cellules, sont encadrés au niveau de complexité inférieure par les cordes de la *théorie des cordes*, modélisation des particules ponctuelles de la physique des particules par des cordes vibrantes, et au niveau supérieur par des *mémons*, à capacité prédictive. Structure de plus haut niveau, le *mémon* est créé par une combinaison de deux

109. Ses recherches vont de l'entomologie (insectes) et de l'éco(toxico)logie à la biodiversité fonctionnelle, l'évolution et la science des systèmes, source : [consulté le 2020-12-11] https://www.hypercycle.nl/about_me.php

clôtures : « *une clôture créant des interactions hypercycliques entre les neurones dans un réseau récurrent de modules de catégorisation et d'apprentissage, et une clôture créant une limite physique sous la forme de l'interface sensorielle.* »[110]

Sur l'organisation du vivant, signalons également l'*hypothèse Gaïa* établie de concert avec la biologiste Lynn Margulis et le médecin, cybernéticien et biologiste James Lovelock qui considèrent la terre comme un être vivant (Lovelock,1973). « *L'hypothèse Gaïa affirme que notre biosphère est en train d'évoluer. Autrefois sceptique, certains biologistes éminents commencent à s'accorder*. » (Doolittle, 2020). Cette position est d'autant plus importante que, malgré ses recherches sur les cyanobactéries qui ont accrédité la thèse de l'**endosymbiose**[111] qu'appuyait Lynn Margulis, un article de ce biochimiste américain, « *Is Nature Really Motherly?* » publié en 1981 dans *The CoEvolution Quarterly*[112], était souvent cité par les détracteurs du modèle Gaïa.

Signalons également l'étude des similitudes de mécanismes dans le fonctionnement des êtres vivants, englobant tous les objets de l'univers dans le cadre d'une méta-analyse, effectuée par Pierre Bricage de l'Université de Pau (Bricage, 2009). Le systémicien a mis en évidence un ensemble de lois systémiques de l'évolution du vivant : *loi d'invariance de jauge*, issue de la physique théorique et exprimant l'invariance sous un changement d'échelle ; *loi d'émergence constitutive*, expliquant les niveaux d'organisation et les emboîtements hiérarchiques à différentes échelles ; loi systémique ergodique — « qui permet de déterminer statistiquement toutes les réalisations d'un processus aléatoire à partir d'une réalisation isolée de ce processus » (CNRTL) — d'individuation et d'élan vital, loi systémique constructale que nous précisons dans l'encadré E25 ; loi systémique de causalité ontogénique qui conduit à un tableau de la classification périodique du vivant qui a des corrélations avec celui proposé par Gerard Jagers op Akkerhuis. Nous précisons à présent l'usage du concept d'organisation pour les SHS.

110. Cf. https://www.hypercycle.nl/operators_step_by_step.php#61
111. Forme de symbiose entre deux organismes où l'un est contenu dans l'autre
112. Cf. https://www.uvm.edu/~pbierman/classes/gradsem/2008/Fnature_motherly.pdf

E25 — Loi systémique constructale, d'après Pierre Bricage

Cet ensemble de lois comporte 12 points que nous reproduisons avec les mises en valeur (en lettres capitales) de l'auteur (Bricage, 2007) :

1. *Quel que soit le niveau d'organisation, c'est la MODULARITÉ qui permet la mise en place de RÉSEAUX.*
2. *Cette mise en place se fait par JUXTAPOSITION & EMBOÎTEMENT*
3. *Elle se fait DE PROCHE EN PROCHE, par changement d'espace-temps*
4. *Quel que soit le niveau d'organisation, quelle que soit la combinaison, tout module LOCAL & tout réseau GLOBAL est une UNITÉ d'espace-temps-action.*
5. *Quel que soit le TOUT, le réseau est robuste par ce que le temps contrôle l'espace et l'espace contrôle le temps.*
6. *Dans un réseau d'interactions, dont on est PARTIE, on ne peut être juge et partie. Tout partenaire est A LA FOIS gagnant et perdant : il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients.*
7. *Le MANAGEMENT des INTERACTIONS est MODULAIRE ET MODULABLE.*
8. *C'est la modularité des acteurs et des actions qui est le moteur de l'EXAPTATION*[113]*.*
9. *Le TOUT est A LA FOIS PLUS ET MOINS que la somme de ses parties.*
10. *C'est l'ASSOCIATIVITÉ INTRA-niveau (within groupwares) et INTER-niveaux (between groupware) qui permet de passer d'un comportement local, de tout ou rien, avec un effet de seuil critique, à un comportement global, à la fois additif et limitant, avec l'atteinte progressive d'un plateau, et inversement, de l'additif au tout ou rien !*
11. *L'IDENTITÉ, optimisable, et parfois provisoirement optimale, est partiellement durable, parce qu'elle résulte d'une dé-construction et re-construction continuelles.*
12. *La croissance précède toujours le développement.*

113. « A*daptation sélective opportuniste, privilégiant des caractères qui sont utiles à une nouvelle fonction, pour laquelle ils n'avaient pas été initialement sélectionnés* » (Wikipédia)

1.3.5. Organisation et Sciences Humaines et Sociales

Les sciences humaines et sociales vont privilégier le terme d'*organisation* pour parler de corps organisé à une échelle au-dessus de l'humain. L'organisation sous-entend un pilotage. L'antonyme *inorganisation* est donc souvent qualifié d'*anarchie*. Nous résumons la terminologie principalement prise en compte par les différentes disciplines dans le tableau T17.

T17 — Qualificatifs de l'organisation et de l'inorganisation par discipline

discipline	*organisé*	*inorganisé a priori mais source potentielle d'organisation*
A. mathématique	structure	ensemble
B. physique-chimie	système	chaos
C. biologie	organisme	milieu(*)
D. sciences humaines et sociales	organisation	anarchie
(*) *le terme organisme n'a pas réellement d'antonyme. Répondant à la logique du contradictoire, un organisme est à la fois en opposition et symbiose avec son environnement proche, sur lequel il agit et qui le pousse à l'action. Nous retenons donc le terme de milieu comme terme opposé à l'organisme.*		

En nous référant à la **pédagogie transformationnelle** du sociologue Jack Mezirow (2001), nous distinguons la triple nature de l'organisation humaine : elle est instrumentale, communicationnelle et réflexive. C'est principalement cette troisième propriété qui semble la différencier de l'organisme. Notons également que l'humain en tant qu'organisme est présent au cœur des organisations, comme l'organe est au cœur de l'organisme, chacun assurant une ou plusieurs fonctions dans un système plus large. Cette capacité réflexive conduit à considérer l'être vivant dans son individualité, c'est-à-dire comme *sujet*, et non pas simplement *objet* ou *ressource*. « *Aujourd'hui éclatées, les théories de l'organisation se sont construites autour de deux grands pôles : l'analyse du fonctionnement de l'organisation et l'étude du comportement des individus.* » (Cabin, 1999:21). L'analyse du fonctionnement des organisations conduit à distinguer plusieurs facettes ou *images de l'organisation*, en particulier celle de « *l'organisation vue comme flux et*

transformation » (Morgan, 1999:243). La prise en compte du comportement des individus oriente vers un management socio-économique, pour enrichir le travail humain (Savall, 1989)[114]. Face à des excès de la financiarisation, que l'on peut interpréter comme une des premières conséquences du développement du numérique, les organisations se réinventent également autour de communautés de travail inspirées (Laloux, 2015). Nous avons également relevé une tendance émergente vers un management inspiré par le biomimétisme (Bogatyreva & Shillerov, 2015), que nous qualifions de BIO management en opposition au TIC TAC management (Lacombe & Monfort, 2019). Les théories des organisations sont également revisitées (Rozario et Pesqueux, 2018). Ces auteurs distinguent ainsi 3 mondes : Dans « *le monde I « Un monde sans organisation ? » [...] l'individu prime sur l'organisation. [...] Le monde II « Un monde théorique intra-organisationnel » valorise à l'inverse les composantes et la dynamique interne des organisations.* » L'opposition entre l'acteur et le système (Crozier & Friedberg, 1977) est traitée dans le monde III présenté comme « *un monde aux frontières des organisations* », évoquant le tiers-inclus de la logique de Lupasco. L'éclairage de la philosophie prend aujourd'hui tout son sens pour comprendre ces tendances.

1.3.6. Organisation et Philosophie

Le concept d'*organisation* en philosophie semble se développer avec la modernité : « *le concept d'organisation n'avait jamais servi avant la fin du [XVIIIe] siècle à fonder l'ordre de la nature ...* » (Foucault, 1966:243). C'est ainsi par la découverte des lois de la nature que l'homme, en premier lieu occidental, est devenu amplificateur de transformation en s'appuyant essentiellement sur les énergies fossiles — charbon puis pétrole — rompant l'équilibre traditionnel du monde. La *postmodernité,* l'*hypermodernité,* et la *transmodernité* restent des concepts qui ne semblent pas pour l'instant avoir infléchi la tendance lancée par la *modernité*, dont le programme qui postulait une indépendance du savoir par rapport au social et au politique, semble n'avoir jamais être réellement appliqué (Latour, 1991). L'organisation du

114. La démarche de Henri Savall, professeur émérite en sciences de gestion, s'appuie sur l'ISEOR, Institut de socio-économie des entreprises et des organisations — cf. http://iseor-formations.com/

monde postérieure aux Lumières, résultat du financement et développement des sciences et techniques, confronte deux systèmes et deux ordres, les *systèmes naturels systèmes artificiels* d'une part (Tinland, 1991), *ordre biologique ordre technologique* d'autre part (Tinland, 1994). Selon la *théorie de l'acteur-réseau*, portée en France principalement par Michel Callon, Bruno Latour et Madeleine Akrich, l'humain, les objets techniques et les discours forment les nœuds d'un unique réseau. Or les mailles de ce réseau s'affinent, à l'image du réseau Internet, renforçant l'interdépendance entre les nœuds[115]. La concrétisation de l'objet technique et l'individuation de l'être vivant — tous deux modélisés par le philosophe Gilbert Simondon en s'appuyant sur le processus de *transduction*, propagation de proche en proche de la transformation — semble ainsi se poursuivre en fusionnant[116]. Mais l'accélération de l'innovation technique, poussée par la financiarisation de l'économie, désorganise les structures sociales existantes[117]. Le marketing parle de *disruption*[118]. Ce terme didactique, signifiant « *rupture, fracture* » selon *Le Littré*, est repris et vanté par les plus fervents promoteurs du numérique[119]. Dans la disruption induite par le numérique, pour *ne pas devenir fou* (Stiegler, 2016), le philosophe appelle une *bifurcation* (Stiegler, 2020).

Signalons enfin que l'anthropologie réinterroge cette dichotomie entre nature et culture (Descola, 2005), distinguant quatre formes principales d'organisation sociale, en s'appuyant sur la considération de ressemblances ou différences, au niveau des intériorités et des physicalités. Notre point de vue occidental, qualifié de *naturalisme*, s'appuie ainsi sur le concept d'objectivation, porteur d'une différence des intériorités, et d'une ressemblance des physicalités (*ibid*., p.241 et suivantes).

---

115. Signalons également que l'internet s'auto-organise sur le modèle des *Réseaux Invariants d'échelle*, nous préciserons cette architecture dans le §3.1.3.1.

116. Ce point pose la question du sujet de l'individuation : l'individu, l'espèce ou la société, pour reprendre la triade constitutive du concept d'homme de Morin, approfondie dans le §3.1.2.1.

117. Cf. interview de Bernard Stiegler par Amaelle Guiton du 1er juillet 2016 dans Libération : https://www.liberation.fr/debats/2016/07/01/bernard-stiegler-l-acceleration-de-l-innovation-court-circuite-tout-ce-qui-contribue-a-l-elaboration_1463430

118. Nous faisons référence à l'article de la journaliste Dominique Nora, cf. https://www.nouvelobs.com/economie/20160122.OBS3214/le-concept-de-disruption-explique-par-son-createur.html

119. Cf. https://www.liberation.fr/checknews/2017/10/13/que-signifie-vraiment-disruption-ou-disruptif-et-pourquoi-tout-le-monde-en-parle-maintenant_1652618

Les autres modèles d'organisation sociale, *animisme*, *totémisme*, *analogisme*, s'appuient sur d'autres concepts, respectivement *métamorphose*, *hybridation* et *chaîne des êtres*. Notons que le numérique semble révéler leur pertinence : métamorphose numérique, hybridation vivant-technique avec les biotechnologies, interdépendance économique créant une chaîne des êtres. L'objectivation de la nature depuis Descartes — qui assignait une mission à la physique naissante : « *nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature* » (Roger & Guéry, 1991) — a engendré une problématique organisationnelle, un modèle de civilisation qui surexploite les ressources naturelles et dont l'*empreinte écologique*, concept émergeant dans la lignée du Club de Rome, traduit dans un « *outil développé par le Global Footprint Network qui permet de mesurer la pression qu'exerce l'homme sur la nature*. »[120] Le changement de trajectoire qui s'impose est aujourd'hui étudié dans des laboratoires de recherche. Citons par exemple *Origens Media Lab*[121] conçu comme un tiers-lieu interdisciplinaire en sciences humaines et sociales. La réorganisation du monde semble ainsi nécessiter une réorganisation des connaissances, sujet au cœur des sciences de l'information et de la communication que nous abordons sous l'angle technique et à un niveau macro.

1.3.7. Effet du numérique sur l'organisation des connaissances

L'anthropologie, à travers les recherches comme celles d'André Leroi-Gourhan, postule que la société est intermédiée par la technologie. Cette évolution a connu différentes phases. Nous en proposons une première perspective[122] inspirée des travaux épistémologiques de Jack Goody et Bruno Bachimont sur respectivement *la* **raison graphique** (Goody, 1979) et la **raison computationnelle** (Bachimont, 2004), en intégrant également une première période qui correspondrait à une raison orale. Nous distinguons ainsi trois périodes auxquelles sont associées des formes spécifiques : orale avec le mythe[123], écrite avec le document, numérique avec la base de données. A chacune de ces périodes correspond une analogie avec une

120. https://wwf.panda.org/fr/wwf_action_themes/modes_de_vie_durable/empreinte_ecologique/
121. https://origensmedialab.org/
122. Cette perspective est approfondie au § 2.4.4. Structurer le document numérique
123. Cf. les écrits de Jean-Pierre Vernant

phase de la matière. De la locution latine « *verba volant, scripta manent* », traduite par « *les paroles s'envolent, les écrits restent* », nous associons l'état gazeux à la parole, et l'état solide à l'écrit. Le numérique est quant à lui fluide, comme vu précédemment. La comparaison est détaillée dans le tableau T18 sur différents critères : l'instrument, le support, le stockage, les compétences clés, le lieu d'accès, la production et la perception associée, de l'espace et du temps.

T18 — Trois périodes dans l'organisation des connaissances

période	*orale*	*écrite*		*numérique*
raison	orale	graphique (Goody)		computationnelle (Bachimont)
forme associée	mythe	document		base de données /machine => humain ?
phase (analogie)	gaz (fluide)	solide		liquide (fluide)
instrument	parole	main	machine	code (programme)
support	humain	papier (externalisation)		code (données)
stockage	mémoire	volumen	codex (page)	cloud
compétences clés (rôles)	orateur, tribun	scribe, copiste, écrivain	auteur, rédacteur, éditeur, imprimeur	programmeur, statisticien, architecte de l'information
lieu de partage de l'information	agora	bibliothèque		plateforme
production	commerciale, culturelle		+ scientifique	+ éthique
perception de l'espace	localisée	expansive	accélérée	connectée
perception du temps	approximative	précisée	calculée	anticipée

La période écrite est subdivisée en deux périodes, la mécanisation de l'écriture

marquant la frontière, avec le développement de l'imprimerie. La production s'enrichit au fil de ces évolutions, au développement commercial et culturel, s'ajoute celui de la science qui accélère en retour ces développements. Avec le numérique semble poindre un nouvel enjeu éthique[124], et l'émergence d'une conscience globale, préfigurant selon le chercheur en science et art cognitifs Olivier Auber une **aethogenèse** (Auber, 2016). La perception de l'espace et du temps évoluent en parallèle : d'un espace local à un espace connecté et d'un temps approximatif vers une anticipation, par la simulation mais qui reste soumis aux aléas. Cette transition vers l'ère numérique s'accompagne de quelques effets notables. Ainsi Bruno Bachimont compare la transition orale-écrit et la transition écrit-numérique en questionnant le retour de la rhétorique (Bachimont, 2020). En effet le web 2.0 puis les médias sociaux ont ouvert à tous les internautes de nouveaux canaux d'expression support de discours en tous genres d'où tentent d'émerger certaines voix par l'éloquence et le style. Cette transition entre une phase solide et une phase fluide est source de turbulences. Dans ce contexte, le document est déstabilisé. Le document textuel linéaire s'est d'abord enrichi de "cousins", photo, enregistrement du son puis cinéma au XIXe siècle, le document devenant multisensoriel avec l'audiovisuel. Le numérique a réuni ces différentes modalités dans le document *multimédia*, l'a éclaté avec le document *hypermédia*, dérivé de l'*hypertexte*, et rendu interactif avec le *web-documentaire*. Dans *Le document à la lumière du numériqu*e (Pédauque, 2006) les auteurs, un collectif de scientifiques, font le constat d'un document malmené. Le document cherche sa forme et ses limites : *l'homme, un document comme les autres* (Ertzscheid, 2009), *le document numérique n'existe pas* (Crozat, 2019) — nous reviendrons sur cette proposition dans le § 2.4.3. – il s'est transformé en un *DOPA, Document pour l'action* (Zacklad, 2005). Modifié et annoté en continu, il est à suivre à la trace, ce qui faisait dire à Louise Merzeau « *que la pensée du message et du document, qui fonde les sciences de l'information et de la communication, doit évoluer vers une pensée de la traçabilité.* » (Merzeau, 2009). Signalons que la fonctionnalité d'édition qui facilite

124. Avec par exemple le retour de la question du bien être animal suite à son assujettissement sans précédent depuis la révolution industrielle

ce processus parfois qualifié d'*écrilecture*, était déjà présente dans le premier navigateur conçu par Tim Berners Lee, *The World Wide Web browser*[125]. Si les navigateurs web ne l'ont pas retenue par la suite, elle est réapparue avec le concept de wiki inventé par Ward Cunningham en 1995[126]. Cette fonctionnalité était cependant déjà présente dans les logiciels de gestion de versions qui permettent de mutualiser des développements.

La problématique de l'organisation des connaissances en contexte numérique est particulièrement déstabilisée par deux des caractéristiques du numérique relevées par Stéphane Vial, l'*idéalité* et l'*ubiquité* (cf. § 1.1.5.) Comme le fait remarquer Pierrick Thebault, dans sa thèse sur *La conception à l'ère de l'Internet des Objets* : « *A l'inverse des matériaux traditionnels, dont il est possible de mesurer la dureté, l'élasticité, la flexion, la résistance, la rugosité ou encore la viscosité, l'information ne dispose pas de propriétés mécaniques. Composée de données binaires et non d'atomes, elle est donc plus difficile à caractériser.* » (Thebault, 2013:88). Réunir le monde des bits avec le monde des atomes est un des projets emblématique[127] du Media Lab du MIT porté par le groupe de recherche, le *Tangible Media Group*[128], dirigé par le professeur Ishii Hiroshi. L'*informatique ubiquitaire* dissout quant à elle les contenus dans la multitude d'appareils miniaturisés, distribués et interconnectés, réalisant la vision de Mark Weiser et ses collaborateurs du Xerox Parc : *l'ordinateur pour le 21e siècle* (Weiser, 1991). Celle-ci rompt avec l'ordinateur personnel, qui avait par ailleurs succédé à l'ordinateur central, afin de prendre en compte l'environnement naturel sans isoler l'utilisateur de son contexte. Cette révolution appelle de nouveaux paradigmes de programmation avec les systèmes multi-agents (SMA) et les systèmes autonomes[129]. Cette évolution est bio inspirée, comme l'illustre le développement des algorithmes évolutionnaires. Leur principe

125. Cf. https://www.w3.org/People/Berners-Lee/WorldWideWeb.html
126. Cf. http://wiki.c2.com/?WelcomeVisitors
127. Cette distinction est issu de l'ouvrage *L'homme Numérique* de Nicholas Negroponte (1995), co-fondateur en 1985 du Media Lab, centre de recherche dédié à la technologie et au design du MIT, Massachusetts Institute of Technology
128. Cf. https://tangible.media.mit.edu/
129. Cf. en France les travaux initiés par Jacques Ferber du LIRMM sur les SMA et ceux d'Yves Demazeau du Lip6 sur les systèmes autonomes

s'appuie sur deux processus antagonistes, d'exploitation et d'exploration, respectivement traduits par les notions d'intensification et de diversification, ainsi qu'un processus aléatoire (Floreano et Mattiussi, 2008). Sur cette lancée les nouvelles frontières du numérique sont portée par la neuroévolution (Sheer, 2012) et le passage de l'intelligence artificielle à la conscience artificielle[130], avec l'informatique quantique en toile de fond. Au niveau des interfaces-utilisateurs, c'est l'arrivée d'environnements virtuels et augmentés qui s'annonce. Mais les projets les plus ambitieux sont aujourd'hui non pas centrés sur la création numérique comme Philippe Quéau en faisait l'éloge (Quéau, 1986, 1989, 1993), mais plutôt tirés par une exploitation marchande, dans la continuité des réseaux sociaux numériques[131]. Cette emprise technologique par les géants de l'informatique n'est pas nouvelle, l'ère numérique pouvant être divisée en quatre périodes qui se chevauchent, portées par quatre acteurs dominants de l'informatique[132]. Le tableau T19 illustre ainsi un glissement progressif.

T19 — Glissement progressif du centre de gravité de l'informatique

Création	*Entreprise*	*Cœur de métier initial*[133]
1911	IBM International Business Machines Corporation	fabrication de *matériel* (Machine)
1975	Microsoft	développement *logiciel* (Soft)
1998	Google	traitement de *données* (1 gogol = 10^{100} : 1 suivi de 100 zéro)
2004	Facebook	comportement *humain* (Face)

Le centre de gravité de l'informatique est passé de la machine au logiciel, puis à la

130. Cf. les travaux d'Alain Cardon sur son site web : https://sites.google.com/site/cardalain/
131. Par exemple le projet Horizon de Facebook, cf. https://www.oculus.com/facebook-horizon/
132. Le cas d'Apple est particulier car cette marque a un positionnement vertical, de la machine aux données de l'utilisateur en passant par les systèmes d'exploitations. Son succès est incontestable, l'été 2020 Apple est devenu l'entreprise la mieux valorisée de l'histoire de la bourse (cf. https://www.tradingsat.com/apple-US0378331005/actualites/apple-apple-devient-l-entreprise-la-mieux-valorisee-de-l-histoire-en-bourse-927391.html), mais la part de marché de ses systèmes d'exploitation (Mac Os puis IOs pour le mobile) ne dépasse pas les dix pourcents, nettement en dessous de celle de Microsoft pour le PC avec Windows et de Google pour le mobile avec Android.
133. On remarquera que ces centres se retrouvent même dans la raison sociale de ces entreprises.

donnée pour être aujourd'hui centré sur l'humain, mais toujours piloté par des multinationales. Ces bouleversements technologiques appuient notre hypothèse H2e explicative sur la perte de contrôle par les individus. Si les systèmes d'exploitation des multinationales sont omniprésents côté client, côté serveur — rappelons que l'architecture de l'internet s'appuie sur un modèle client-serveur — le logiciel libre devance les serveurs propriétaires[134].

H2e. le manque d'une modélisation idoine (réellement centrée sur l'humain) de l'organisation de l'information et de la transformation des organisations

Avant de questionner notre quatrième et dernier sujet d'étude, la représentation, nous mentionnons un effet majeur de cette évolution de l'environnement numérique, sur le **travail**, au travers de la recherche de la doctorante en philosophie Fanny Lederlin, dans l'encadré E26. Cette thématique a retenu notre attention car, en tant que source principale de rémunération, le travail est fortement structurante dans l'organisation de nos sociétés. Les processus économiques associés, en particulier le rapport à la monnaie, seront partiellement analysés dans le § 3.1.3.1.

E26 — Evolution de notre rapport au travail

Fanny Lederlin analyse les modalités de travail imposées par la digitalisation, la robotisation et les méthodes contemporaines de management *(Lederlin, 2020)*. Elle distingue quatre modalités du travail relatives à la métabolisation de la nature, le façonnage de nos liens sociaux, la construction d'un monde constitué d'artefacts, l'expression de notre subjectivité. Elle en déduit les modalités de l'*éco travail* contre le néotravail (néolibéralisme) : penser ce que nous faisons quand nous travaillons, désobéir dans certaines situations, bricolage en préférant le tâtonnement à la tâche et le bidouillage à la programmation, échapper au langage formaté de l'entreprise, pour s'inscrire dans une éthique du langage.

134. Avec deux tiers du marché pour Apache et Nginx, les deux premiers en 2020, cf. https://fr.hostadvice.com/marketshare/server/

1.4. Questionner la représentation

L'objectif poursuivi dans l'étude de ce quatrième et dernier terme est celui de la représentation de la transformation de l'organisation. La **représentation** s'inscrit dans le champ des sciences cognitives, qui regroupe selon George Miller l'un des pères fondateurs du domaine, la philosophie, la psychologie, la linguistique, l'anthropologie, l'intelligence artificielle, et les neurosciences (Miller, 2003). L'anneau des disciplines sera donc adapté pour l'étude de ce terme mais nous commençons par considérer la définition de ce terme ainsi que son champ lexical.

1.4.0. Définir la représentation

L'usage du verbe représenter est double, à la fois intransitif « *se représenter* » et transitif « *représenter quelque chose à quelqu'un* ». La représentation s'appuie de ce fait sur un langage et pose la question des modes et systèmes de représentation. D'après Gardin (2012), « *La représentation est l'ensemble des termes ou variables utilisés par le chercheur pour décrire son objet d'étude ; et le système se manifeste à travers les relations sémantiques et syntaxiques qu'il établit entre ces termes.* »

Le premier sens de représentation est de présenter à nouveau, en remplacement d'autre chose. Selon Piaget, la représentation est associée à la *fonction symbolique* qui désigne « *la capacité de représenter des objets absents, laquelle apparaît sous sa forme complète chez l'enfant de dix-huit mois environ*. »[135] Nous retenons cette conception de la représentation issue de la psychologie expérimentale, en tant que construction.

La linguiste Joëlle Aden précise deux sens de la représentation en s'appuyant sur le paradigme énactif de Varela, dans lequel nous nous inscrivons : « *La représentation est « faible » quand elle est pragmatique et qu'elle correspond à une interprétation partagée qui ne véhicule aucune implication épistémologique ou ontologique*. » (Aden, 2017). La représentation « forte », que nous rejetons comme Varela,

135. http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/oeuvre/index_notions_nuage.php?NOTIONID=90

correspond à celle des courants représentationnistes qui postulent que « *le monde est prédéfini, c'est-à-dire que ses propriétés sont établies préalablement à toute activité cognitive* » (Varela, 1996:101). Avec l'énaction, le biologiste Francisco Varela propose ainsi une troisième voie dans les sciences de la cognition au delà du cognitivisme et du connexionnisme puisque « *Le symbole et la règle de calcul (soit le cognitivisme) n'arrivent pas à expliquer nos facultés de reconnaissance ou de perception globale. La description d'un réseau de composants simples inter-reliés de façon très dense (soit le connexionnisme) ne traduit que difficilement des macro-organisations pourtant observables dans les comportements longs.* » (Le Blanc, 2014). Cette représentation n'est cependant pas encore réellement intégré et le champ sémantique du concept de représentation s'appuie aujourd'hui principalement sur un ensemble de concepts autour de la théorie mathématique de la communication, avec les notions de codage, support, transmission, enrichi des notions de perception, interprétation, traduction, ainsi qu'en amont, de conception. Nous ne pouvons évidemment toutes les aborder, et n'en invoquerons que certaines, n'hésitant pas à en convoquer d'autres moins répandues. Notre angle d'approche de la représentation est abordé dans sa dimension procédurale, en restant centré sur les deux notions que nous cherchons à représenter, les concepts de transformation et d'organisation. Nous privilégions également la pragmatique, sollicitant plus particulièrement les sciences du langage et du design, au sein des SHS de l'anneau des disciplines. Enfin, nous l'envisageons comme une problématique d'architecture de l'information, qui s'inscrit dans l'architecture des systèmes.

La description de l'architecture des systèmes fait l'objet d'une norme. En effet, l'ISO/IEC/IEEE 42010:2011 définit les concepts ou propriétés fondamentales d'un système dans son environnement, incarnés dans ses éléments, ses relations, et dans les principes de sa conception et de son évolution.[136] Retenons qu'elle s'appuie sur une logique de cadre de description, de point de vue et de langage de

136. Cf. http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/defining-architecture.html

description[137]. Dans ses principes fondamentaux[138] sont ainsi pris en compte : différents niveaux d'abstraction, c'est-à-dire de détail, différentes vues, par exemple opérationnelle, fonctionnelles, organique, différents points de vue correspondant aux différentes intervenants sur le système décrit. Appliquée aux systèmes informatiques, l'architecture se décline en architecture réseau, logicielle (cf. encadré E27) et de l'information.

E27 — Styles d'architectures logicielles

L'**architecture logicielle** se caractérise en style comme l'architecture traditionnelle. Sans faire l'inventaire de l'ensemble des styles d'architecture logicielle, nous mentionnons quelques grandes familles. L'architecture *classique* est celle de Von Neumann, qui sépare l'unité de calcul du stockage utilise une structure de stockage unique pour conserver les instructions et les données d'entrée et de sortie. L'architecture *orientée objet* est construite autour de composants qui intègrent données et opérations autorisées sur ces données. Elle devient orientée agent quand le composant, représentation d'un objet physique, devient proactif. Les architectures *en flot de données*, orientée événements, orientées services (architectures de médiation) sont aujourd'hui populaires pour traiter les flux croissants qui circulent dans le réseau internet. Les paradigmes de programmation, dont nous avions analysé l'évolution selon le principe simondien de concrétisation (Lacombe, 2018), sont liés à l'architecture logicielle.

Pour terminer cette introduction, notons que les sciences humaines et sociales considèrent « *deux modes d'expression et de pensée* » le modèle et le récit (Grenier et al., 2001:12). Nous prendrons en compte ces deux modes dans la représentation que nous cherchons à construire, considérant les inévitables limites de cet exercice, la carte n'étant pas le territoire.

137. Signalons simplement que cette logique est adaptée à la description de systèmes mais n'intègre pas les concepts nécessaires à la description d'écosystèmes

138. Source : http://www.lix.polytechnique.fr/~golden/systems_architecture.html#principles

1.4.1. Représentation et Philosophie

La notion de représentation est centrale en philosophie mais également multiple. Faisant l'objet d'études depuis le début du XXe siècle, les travaux de Jean Piaget ont permis de comprendre le processus de construction de représentation chez l'enfant, passant par trois stade : une représentation en acte, une représentation imagée, puis une représentation conceptuelle. Les représentations se détachent de l'action par le langage, convoquant un processus de distanciation et de décentration. Le développement de la pensée logique permet ensuite la capacité d'abstraction, qui permet la manipulation de concepts. Examinons d'une part cette notion de concept et les limites associées, d'autre part une condition de ce processus, la faculté de mémorisation.

La logique classique propose deux façons de définir un concept : l'*intension* et l'*extension*. L'**intension** correspond à la définition, l'**extension** à l'ensemble des entités qui répondent à la définition. Dans cette logique binaire, l'*analyse formelle des concepts* (AFC) permet ainsi un traitement rigoureux des concepts en considérant, d'une part l'ensemble des attributs associés à un concept, c'est-à-dire l'intension, et d'autre part l'ensemble des objets qui appartiennent au concept, c'est-à-dire l'extension. Comme la manipulation des concepts s'appuie en dernier ressort sur le langage naturel, elle se heurte aux limites de ce dernier qui n'est pas formalisé, ni totalement formalisable, comme l'ont montré les philosophes du langage, en particulier Wittgenstein, et les logiciens comme Gödel. En plus de la confrontation de la représentation aux illusions et biais cognitifs, toute représentation ne sera donc qu'une construction appuyée sur des hypothèses.

Les processus s'appuient sur des capacités mnésiques et se déroulent dans un contexte social, confrontant les représentations individuelles à des représentations collectives, autrement dit les cultures. La mémoire peut être questionnée à partir du couple grec *anamnèse* et *hypomnèse* comme nous y invite le philosophe Bernard Stiegler[139]. Si l'anamnèse désigne le processus double d'enregistrement-remémoration, l'hypomnèse désigne toutes les techniques de mémoire, dont font

139. Cf. http://www.arsindustrialis.org/anamnèse

partie l'écriture, mais également le numérique.

Ce dernier point appelle à considérer le processus de **grammatisation**. D'après Sylvain Auroux, grammatiser signifie discrétiser pour isoler des grammes, c'est-à-dire des éléments constitutifs et en nombre fini formant un système. Bernard Stiegler étend le processus de grammatisation dans le champ de la technique et questionne son influence sur l'individuation[140]. Grammatiser revient à définir un vocabulaire, c'est-à-dire des formes élémentaires combinables entre elles, ainsi qu'une grammaire, c'est-à-dire les règles de combinaison de ces formes élémentaires. C'est l'opération qui permet de formaliser un langage, le terme langage étant pris dans son sens le plus large, sous l'angle de la médiation : il s'agit de définir une typologie des entités à manipuler et les possibilités d'interactions associées. Et comme le souligne Christian Fauré[141], après la grammatisation de la parole avec l'écriture puis celle du geste avec la machine outils, nous en sommes actuellement au stade de la grammatisation des relations.

Reprenant la distinction qu'effectue le cartographe Jacques Bertin, nous considérons que les représentations se construisent sur différents modes qui se distinguent par les canaux de perception mobilisés — auditif, visuel… — et la signification attribuée aux signes : monosémique, polysémique, pansémique (Bertin, 2005:6). La structuration de ces modes définit des langages, qui jouent un double rôle, de communication et de transmission, respectivement dans l'espace et le temps, comme relevé précédemment. Le système ainsi présenté s'exprime dans des interfaces techniques, tant biologiques que artificielles. Le médium interagit avec le message, ce que traduit la théorie du support. Considérant le rôle central de la technique dans la communication, nous nous inscrivons dans le courant général suivi par André Leroi-Gourhan, Marshall McLuhan, Bernard Stiegler et Bruno Bachimont.

Mentionnons également la double finalité de l'action de représenter, théorique et pratique, à laquelle nous avons été confrontée au cours de notre activité

140. http://arsindustrialis.org/grammatisation
141. http://www.christian-faure.net/2011/02/11/les-enjeux-de-la-grammatisation-des-relations/

professionnelle, mettant en œuvre la double démarche de modélisation et de conception ou design. Considérons également les objets à représenter, qui se situent dans des plans différents, la transformation concerne un processus, tandis que l'organisation évoque un état. Le concept d'information traduit ces deux dimensions, avec d'une part la règle, le code, au cœur de la connaissance, qu'elle soit implicite ou explicite, et d'autres part les données, qu'elles soit ponctuelles ou globale, c'est-à-dire réduite au signal ou assimilable à l'affordance. C'est donc un langage de description à finalité opérationnelle vers lequel nous nous dirigeons, interrogeant les différentes disciples de l'anneau, qui définissent autant de langages complémentaires.

1.4.2. Représentation et Mathématique

Jacques Bertin positionne les mathématiques comme un système de perception auditive et d'interprétation monosémique (Bertin, 2007:6). La nature auditive traduit la dimension temporelle, qui s'exprime par exemple dans une équation algébrique ou polynomiale. Mais cette classification mérite d'être nuancée car les mathématiques intègrent également la dimension spatiale, en particulier avec la géométrie et la topologie. Les mathématiques produisent des modèles logiques, qui trouvent ou non un usage opérationnel, par exemple pour traduire les lois de la physique ou expliquer des phénomènes biologiques. La représentation mathématique du monde s'est faite par étape, apportant à ces débuts des outils d'aide à la mesure et au calcul, répondant à un usage dans le domaine du droit (répartition des terrains, délimitation de la propriété) et du commerce (rapport dans les échanges). L'outil mathématique a par la suite permis de formaliser des phénomènes physiques (gravitation) puis biologiques (statistiques), dans un co-développement de ces disciplines par des esprits polymathes comme Descartes Newton ou Leibniz[142]. Elles se sont ainsi développées dans différentes branches comme l'arithmétique, autour du nombre et du calcul, la géométrie, autour de la mesure, algèbre, autour des opérations et le traitement des équation, probabilité,

142. Descartes était mathématicien, physicien et philosophe; Newton, mathématicien, physicien, philosophe, alchimiste, astronome et théologien; Leibniz, philosophe, scientifique, mathématicien, logicien, diplomate, juriste, bibliothécaire et philologue

pour évaluer le caractère probable d'un événement. Les mathématiques connaissent un double mouvement de spécialisation et d'unification : les branches se ramifient et se rejoignent autour de troncs communs, comme la théorie des ensembles. Elles se développent désormais sans lien direct avec l'observation. Littéral à ses origines, le vocabulaire mathématique s'est ainsi progressivement enrichi d'une multitude de symboles[143].

Pour traduire les notions de transformation, les mathématiques s'appuient principalement sur les notions d'opération, d'application et de fonction[144], Pour la notion d'organisation, nous avons relevé, sans chercher l'exhaustivité, celles d'ensemble, de structure, de dimension, d'ordre, et d'invariant[145]. Concernant la transformation, examinons plus précisément les deux opérations élémentaires que sont l'addition et la multiplication. Loi de composition interne, l'addition est définie dans le CNRTL comme « *action d'ajouter des éléments nombrables ou quantifiables à d'autres de même nature, de manière à compléter ou à modifier un ensemble* ». La multiplication est souvent vue comme une addition répétée plusieurs fois. Cette notion de répétition mérite un éclaircissement, selon qu'elle s'effectue à l'identique, cas de la répétition de l'addition dans la multiplication, ou en prenant en compte le résultat intermédiaire à chaque itération, comme c'est le cas avec la combinatoire[146]. C'est pourquoi nous préférons une interprétons différente de ces deux opérations en considérant que l'addition représente l'opération élémentaire dans une dimension et la multiplication l'opération élémentaire de changement de dimension[147]. L'addition est ainsi une opération élémentaire appliquée à un ensemble, par ajout et symétriquement retrait d'éléments, sous réserve de ne retirer qu'un nombre d'élément inférieur à la somme. La symétrie de cette opération est donc conditionnée à un seuil, le nombre d'éléments initialement dans

143. Voir par exemple : https://fr.wikipedia.org/wiki/Table_de_symboles_mathématiques
144. Selon les entités considérées : le terme application désigne des relations entre ensembles, fonction des relations entre éléments, opération s'appliquant aux deux
145. Nous remarquons qu'elles traduisent des points de vue complémentaires, respectivement externe, interne, de sens, de complexité et de stabilité.
146. La combinatoire étant mieux adaptée à la description des transformations du vivant qui se transforme en tenant compte d'un contexte également en transformation
147. Par dimension nous entendons, la grandeur déterminant une des mesures d'un espace

l'ensemble.

La multiplication introduit un changement de dimension. Elle génère une quantité, appelée produit, qui permet de changer d'ordre, pour passer d'une description linéaire (ligne) à la bidimensionnalité (surface), puis tri (volume), puis aux dimensions supérieures, sans limite.

Les mathématiques fournissent également des outils pour la conversion entre somme et produit avec les fonctions exponentielles et logarithmes, par exemple, log (a x b) = log (a) + log (b). Notons également les processus d'analyse et de génération d'objets mesurables par le calcul infinitésimal, avec ses deux composantes complémentaires, calcul intégral et calcul différentiel.[148]

Pour manipuler les objets qu'elles représentent, les mathématiques s'appuient sur deux quantificateurs opposés, l'existentiel (il existe, noté ∃) et universel (pour tout, noté ∀). Les nombres et les formes, deux concepts fondamentaux traités par l'algèbre et la géométrie permettent la quantification et la qualification, exprimant les notions de discontinuité et de continuité. La transition entre le continu et le discontinu est modélisée par la *théorie des catastrophes* de René Thom, précédemment mentionnée. « *Elle donne des phénomènes non pas une explication, mais une compréhension ; elle permet de se les représenter, mais non pas d'agir sur eux.* » (Ekeland, 1977) L'unification des représentations s'est faite dans les deux sens avec l'algèbre géométrique et la géométrie algébrique. Les algèbres géométriques ont constitué le langage de la physique du XXe siècle. (Parrochia et al., 2012:16). Le tableau T20 résume la prise en compte de nouvelles dimensions, en partant de la dimension 1 jusqu'à la généralisation en dimension 2n. Nous mentionnons dans ce tableau certains apports et pertes qui nous ont semblé pertinents pour l'analyse de la transformation des organisations et ont inspirés notre proposition de modélisation. Nous préciserons ces points dans la partie perspectives.

148. Cette logique est illustrée au § 4.2.1.3 par la carte [lgc]

T20 — Étapes de la géométrisation de l'algèbre

algèbre [dimension]	*apport*	*perte*
réel $\mathbb{R}$[1] : rationnel et irrationnels	discret et continu	-
complexe $\mathbb{C}$ [2] : $i^2 = -1$	géométrisation de l'algèbre : projection sur le plan de la dimension 3, et 4 avec le plan complexe.	-
quaternions $\mathbb{H}$ (Hamilton) [4] : $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$	simplification pour représenter l'orientation et la rotation d'objets dans l'espace	commutativité de la multiplication
octonion $\mathbb{O}$ (Graves, Cayley) [8] : i,j,k,l,il,jl,kl	permettent de construire tous les groupes de Lie exceptionnels (un groupe de Lie est un groupe de transformation continue)[149]	associativité de la multiplication (reste alternativité)
généralisation (Clifford) [2n] : $e_a^2=-1$ $e_ae_b=-e_be_a$	cadre unificateur pour étudier des problèmes de géométrie (spineur en quantique par exemple)	-

Si les mathématiques trouvent leurs applications dans un nombre croissant de domaines de la physique, celle-ci gère également ses propres représentations.

1.4.3. Représentation et Physique

La représentation en physique s'appuie sur des modèles et des lois, valables dans un périmètre donné. Si les sciences de la physique et de la chimie ont pris naissance dans l'antiquité pour résoudre des problématiques à échelle humaine, elles se sont développées dans deux directions, créant ainsi trois domaines principaux comme vu précédemment (cf. § 1.2.3.). Les interactions fondamentales sont aujourd'hui décrites par un nombre réduit de théories qui ont remis en cause la simultanéité et la stabilité : « *il est impossible de définir un même « maintenant » partout [...] ce qui est « ici » maintenant ne l'a certainement pas toujours été , et ne le sera certainement pas toujours* » (Cohen Tannoudji, 1991:24) L'onde, « modification de l'état physique d'un milieu quelconque se propageant à la suite d'une perturbation initiale » (CNRTL) est une propagation d'énergie sans transmission de matière, mais qui

149. Source : http://www.madore.org/~david/weblog/d.2015-02-03.2276.octonions.html

affecte localement sur son passage l'état de la matière. Cette forme de représentation est centrale en physique. Nous renvoyons à notre récente analyse de ce phénomène (Lacombe & Vieira, TICIS 2019 à paraître en 2021). L'observation et la simulation numérique constituent deux sources de théories, sous réserve de compatibilité et de reproductibilité. L'observation s'appuie aujourd'hui sur des dispositifs techniques et des processus de mesures fiabilisés pour assurer cette reproductibilité. La compréhension profonde des phénomènes mesurés n'est plus une condition de validité. La seule formalisation mathématique est suffisante, comme ce fut le cas dans la quantique avec les équations de Dirac. Cette condition permet à plusieurs théories de coexister. Ainsi, de nouveaux formalismes mathématiques, même s'ils restent hautement spéculatifs, permettent d'éclairer différemment la théorie quantique qui s'appuie historiquement sur la règle de composition et l'hypothèse de continuité (Grinbaum, 2015). De même, s'appuyant sur un formalisme mathématique, la physique traite classiquement les phénomènes aléatoires par les probabilités. Il existe cependant d'autres théories, comme celle de la double causalité, soutenu par des scientifiques comme Philippe Guillemant[150]. Une autre frontière de la physique est celle délimitée par le vivant.

1.4.4. Représentation et Biologie

Les représentations utilisées en biologie s'appuient sur le tableau périodique des éléments. A un niveau inférieur, le modèle standard de la physique des particules est également sollicité, en biologie quantique, pour tenter d'expliquer des phénomènes comme la magnétoréception ou la photosynthèse. A un niveau supérieur, la biologie dispose de son propre modèle, celui du code génétique. Dans son principe, il est étonnement simple puisqu'il s'appuie sur cinq bases azotées également appelées bases nucléiques ou nucléobases, dont quatre sont utilisées pour l'ADN (A, G, C, T) et quatre pour l'ARN (A, G, C, U). Leur combinaison en triplets forme 64 codons (4 puissance 3), d'où sont dérivés 22 acides aminés protéinogène, c'est-à-dire « qui donne naissance aux protéines ». La complexité du vivant dérive de plusieurs facteurs dont la combinatoire, l'expression des gènes en fonction du

150. Cf. http://www.doublecause.net/

contexte, étudié par l'épigénétique et l'imbrication des structures. A partir des gènes, sont ainsi traditionnellement considérés 10 niveaux d'organisation incluant les deux extrêmes que sont la cellule et la biosphère[151]. La singularité physique du vivant (Bailly & Longo, 2006) fait l'objet de recherches mathématiques selon des axes opposés et complémentaires. L'un s'appuie sur les données, l'autre la connaissance. Citons par exemple l'esquisse de sémiophysique de René Thom précédemment citée. L'usage de données se traduit par un passage des modèles à la simulation (Varenne, 2018:149). Analysant différents types de modèles et de simulations numériques utilisés dans l'étude de la morphogenèse des plantes, cet auteur distingue ainsi une vingtaine d'approches qu'il regroupe en six catégories principales selon les objectifs poursuivis. Parmi celles-ci, nous distinguons une recherche de la dimension interne et collaborative du sens (cf. encadré E12, § 1.1.4.1.) — Faciliter l'appréhension sensorielle, Faciliter une formulation intelligible, Faciliter la co-construction des connaissances – en complément de l'approche classique (Faciliter la théorisation, Faciliter la prise de décision et l'action) centrée sur la commande (cf. § 0.6.3.). Nous retrouvons donc le processus classique consistant à établir une carte pour contrôler un territoire. Composées de multiples territoires, les disciplines, les sciences humaines et sociales produisent de nombreux axes de recherche pour aborder la représentation de la transformation des organisations.

1.4.5. Représentation et SHS

Si, comme dans l'approche de la cognition incarnée, les disciplines des sciences humaines différencient carte et territoire, elles proposent une multitude de cartes, sous la forme de modèles ou de récits, pour représenter la transformation des organisations. Devant l'ampleur de ce sujet d'étude, nous privilégions quelques éclairages ponctuels, dans des disciplines proches des trois boucles identifiées dans la partie cadrage : les boucles connaissance, commande et création. Nous abordons ainsi les problématiques du langage dans la connaissance, de l'économie

151. Les autres étant par ordre croissant : organe, organisme, super-organisme, espèce, population, écosystème, écopaysage, biome

dans la commande, et du design dans la création.

1.4.5.1. Représentation et la boucle Connaissance

Quel que soit le domaine observé et le mode d'acquisition de connaissance, la connaissance pour être partagée s'exprimera dans un langage mais surtout dans les limites fixées par celui-ci. « *Sur ce dont on ne peut parler, il faut garder le silence* » écrivait Wittgenstein en conclusion du *Tractatus logico-philosophicus* (1922). Il exprimait ainsi les limites du langage. Si le langage se heurte au mur de l'indicible, il entretient également des rapports étroits et bidirectionnels avec l'action, comme la montré John Austin : parfois « *dire, c'est faire* » (1970). La théorie des actes de langages trouve par ailleurs un domaine privilégié d'application en créant un lien communicationnel (Gramaccia, 2001). La théorie des actes de langage s'applique également à la communication entre agents logiciels avec le KQML, pour *Knowledge Query and Manipulation Language*, conçu au sein du projet *Knowledge Sharing Effort* de la DARPA pour permettre l'interfaçage entre systèmes à base de connaissances.

Mais faire est également une façon de dire, et il y a des *façons de dire, façons de faire* comme l'a observé l'ethnologue Yvonne Verdier (1979). Dans son ouvrage *Du mode d'existence des objets techniques*, le philosophe Gilbert Simondon relevait ainsi que « *La technologie exige un moyen d'expression autre que l'expression orale [...] [qui peut] assez difficilement exprimer des schèmes de mouvements ou des structures matérielles précises; le symbolisme adéquat à l'opération technique est le symbolisme visuel avec son riche jeu de formes et de propositions. [...] C'est avec le schéma que l'encyclopédisme technique prend tout son sens et son pouvoir de diffusion, en devenant véritablement universel*. » (Simondon, 2012:139).

Aujourd'hui, à l'ère numérique « *La représentation des connaissances est le domaine de l'intelligence artificielle qui se concentre sur la conception de formalismes qui sont à la fois épistémologiquement et computationnellement adéquats pour exprimer des connaissances sur un domaine particulier*. »[152] (Baader et al.,2010:XV). Cette vision

152. Traduction de « *Knowledge Representation is the field of Artificial Intelligence that focuses on the design of formalisms that are both epistemologically and computationally adequate for expressing knowledge about a particular domain*. »

pose cependant la question de la logique utilisée, qui est rarement questionnée, excluant le tiers, comme nous l'avons relevé dans la partie cadrage.

La technologie questionne de fait la représentation car en offrant de nouvelles possibilités, elle permet le développement d'un nouveau langage. Nous remarquons que ce langage accompagne le processus de *concrétisation* relevé par Simondon pour exprimer leur progression de manière analogue aux être vivants, concrets dès le début mais s'inscrivant dans un processus d'individuation. « *La concrétisation des objets techniques possède plusieurs aspects, selon que l'on aborde le niveau des éléments, celui des individus ou celui des ensembles.* » (Barthélémy, 2015). En prenant l'exemple du cinéma, nous constatons que le langage cinématographique s'est construit structuré en s'appuyant sur, et même détournant, les possibilités d'un système technique, croisant les apports des réalisateurs, techniciens et théoriciens du cinéma, dans une dynamique de co-développement du savoir-faire et de la technologie. Le déplacement de caméra, la couleur, le montage, les effets spéciaux ont ainsi progressivement enrichi le langage cinématographique. Le numérique ne semble pas échapper à ce mouvement amplifiant l'effet immersif du cinéma : « *Nous tournions autour des images, maintenant nous allons tourner dans les images* » (Quéau, 1993:9). Sous l'éclairage de la raison computationnelle introduite par Bruno Bachimont, il est alors légitime de se poser la question : « *La technologie nous fait-elle savoir et penser autrement ?* » (Crevoisier et al., 2020).

L'enjeu est d'identifier les caractéristiques d'un langage spécifiquement numérique. La théorie du support de Bruno Bachimont nous éclaire[153] : la représentation dans un livre est consultée, le même objet conserve et restitue. Dans l'audiovisuel, il y a reconstruction de la représentation par un dispositif technique. Dans le numérique, la reconstruction est double, du support et du contenu. Le numérique génère donc intrinsèquement du multiple. En relevant les caractéristiques fondamentales que sont l'interactivité et la réticularité (cf. § 1.1.5.), nous pouvons nous attendre à des effets en profondeur. Le numérique dépasse le niveau de la représentation, il

153. Notes prises lors de son intervention au Séminaire NumRev à l'Université Paul Valéry, le 28 février 2020, « rhétorique de l'intelligibilité, vers des humanités numériques »

l'invente. Il est lié à l'action, il la programme, nous permettant de commander, mais nous amenant également à contrôler les actions engagées. Le numérique est devenu le langage des organisations, qui dialoguent entre elles via des processus. Il se positionne donc à au-dessus de l'humain. Mais en permettant de traduire tout signal dans le langage le plus élémentaire possible, le binaire, il s'immisce dans nos échanges, et même dans nos corps via les biotechnologies et les nanotechnologies, il se positionne en nous. Le numérique est donc la source d'une réelle métamorphose.

De ces différentes remarques, nous notons que la représentation de la transformation des organisations gagne à faire appel aux multiples formes du langage, chacune étant en mesure de traduire des spécificités de la transformation ou de l'organisation. Le mouvement des *constructed languages* est à ce titre intéressant puisqu'il réinterroge les limites des langages. C'est ce qu'a fait la linguiste Sonja Lang avec le **toki pona**[154], langue construite minimaliste, qui ne possède que 14 phonèmes et dont le vocabulaire ne comporte que 120 mots. Les mots manquant se construisent par la combinatoire. C'est une approche similaire qu'a suivi Pierre Lévy avec l'IEML et ses six concepts, comme vu précédemment (cf. §1.1.5.). Une des caractéristique recherchée par ce langage est son interopérabilité, comme c'est également le cas pour les langages graphiques à base de pictogrammes, qui permettent de raconter *une histoire sans mots* (Bing, 2012), en alignant uniquement des emojis. La dimension interprétative du signe, dans la triade sémiotique de Peirce, reste néanmoins source de dissonance.

Mais la représentation dépend surtout de l'usage du langage. Elle sera donc sensible au hors-champ, exploité par le cinéma et la bande dessinée, au processus de traduction, et plus généralement au choix des mots ou des signes, et à leur éventuel détournement. Le langage structurant notre pensée, son détournement déstabilise, il est source de confusion. L'effacement du repère provoque un manque qui conduit à la recherche d'un nouveau repère. Traduit dans la logique de l'énergie de Lupasco, il s'agit d'un mouvement vers la potentialisation, et l'état

154. Cf. http://tokipona.org/

d'homogénéisation. Par effet antagonique, cet état permet l'actualisation, c'est-à-dire l'action, l'enjeu étant de maîtriser la boucle commande.

1.4.5.2. Représentation et la boucle Commande

Dans son cours sur le support numérique[155] Bruno Bachimont nous rappelle la double origine du numérique, comme calcul et comme contrôle : Issu des mathématiques et de la logique, le numérique a pour projet de formaliser la pensée (la logique) et d'arithmétiser le formel. Il s'agit de rapporter la démonstration logique à un calcul numérique. Issu de la théorie des systèmes et de leur commande, le numérique va servir à commander les systèmes en contrôlant l'information. La réflexion sur les systèmes, a donné l'automatique et la réflexion sur le langage et la pensée, a donné l'informatique.

L'exploration du rapport entre la représentation et la boucle commande nous conduit aux sciences de gestion et plus précisément vers l'économie. Aborder la représentation en Économie nécessite au préalable de préciser le sens de ce terme. En effet, si l'économie a été réduite aux « sciences de l'intendance », c'est-à-dire à l'ensemble des activités de gestion, d'économie et de budget d'un groupe (Deneault, 2020), ce terme comporte de multiples acceptions. La vision purement comptable présente l'intérêt manifeste de la simplification : en attribuant un prix à tout entité ou opération, tout devient mesurable, donc calculable et échangeable. A l'époque moderne l'argent est vu « *comme le sommet et l'expression la plus pure de la valeur économique* » : « *forme pure de l'échangeabilité* », « *substantialisation de la forme universelle de l'être, d'après laquelle les choses trouvent leur signification en rapport les unes avec les autres, dans leur réciprocité* » (Simmel, 1987:84-124). Les quatre opérations élémentaires d'addition, soustraction, multiplication et division suffisent alors à répartir la valeur. Sur ces bases, le numérique se révèle être la technologie rêvée des économistes puisqu'il permet d'effectuer ces calculs mais surtout les simulations, en particulier dans la répartition de la richesse économique. La corrélation entre la croissance des inégalités et le développement du numérique

155. Disponible en ligne sur le site de l'université de Montréal, [consulté le 2020-09-30] : http://cours.ebsi.umontreal.ca/sci6116/Supports_de_cours_files/4-SupportNumerique.pdf

mériterait une analyse approfondie, la finance partageant avec la défense, le rôle de promoteur principal de ces technologies. Cette approche réductrice de l'économie présente des limites, source de failles aux effets multiples, appelées crises économiques. Les plus manifestes ont des répercussions sociales, sur les individus avec en particulier l'augmentation des inégalités, et sociétales, sur la structure et l'organisation de la société, mais surtout écologiques, avec la pression sur la biosphère qui conduit à une perte de la biodiversité et un dérèglement climatique. Cette facette destructrice se retrouve dans le principe de consommation : consommer signifie littéralement « *amener une chose à son terme* ». En économie, consommer signifie : « *Amener une chose à perdre sa valeur économique par l'usage qu'on en fait pour la satisfaction de besoins individuels ou collectifs* ». Il apparaît donc nécessaire de revenir à la représentation originelle de l'économie comme « *science de la connaissance des relations bonnes* » pour servir de représentation à la transformation des organisations. C'est donc la boucle créative qui rétablit la valeur, *les processus de conception, écriture et représentations* étant réinterrogés par le design (Leleu-Merviel & Boulekbache-Mazouz, 2014).

1.4.5.3. Représentation et la boucle Création

La créativité s'exprime à de multiples niveaux. Pour explorer les représentations associées nous faisons dans un premier temps la distinction entre la finalité et le moyen. Ce couple répond aux questions complémentaires quoi et comment, qui sera traduit dans le design par une distinction entre les processus de conception et de modélisation, que l'on pourra rapprocher de la boucle systémique reliant les deux notions FAIRE et DIRE, mais également du couple informationnel données-programme[156]. L'architecture des systèmes distingue quant à elle l'analyse fonctionnelle du cadre d'architecture. Dans chacun de ces domaines, les modèles et théories sont multiples. Prenons par exemple l'analyse fonctionnelle, le modèle de Noriaki Kano (1984) permet d'évaluer, concevoir ou développer une offre de produits ou services optimisant la satisfaction client en distinguant cinq catégories de critères : obligatoires, indispensables (Must-Be), attractifs (attirantes), proportionnelles ou linéaires (One-Dimensional), indifférents, à double tranchant (Reverse). Autre exemple dans le domain du design, le processus de conception est par exemple modélisé par le *design thinking*[157], qui prend en compte trois dimensions, de l'humain de la technologie et du business, et plus récemment le *design circulaire*[158] qui étend ce cadre à la dimension environnementale, enrichissant le processus par la bio-inspiration. Précisons notre conception du design (voir l'encadré E28 pour son évolution) : le design est une activité amont qui consiste à concevoir une externalité : un artefact (design d'objet), un processus (design de service), une composition (design d'environnement). Le design est apparu avec l'industrialisation et s'est centré dans un premier temps sur l'objet. Avec le numérique, il s'est centré sur l'utilisateur (*User Centered Design*) et l'interaction entre l'utilisateur et l'équipement (*Interaction Design*). L'intention est de faciliter la vie de l'utilisateur, en supprimant la pénibilité de la tâche. Cette intention est portée aujourd'hui par l'idéologie startup qui veut « changer le

156. Au niveau des métiers de la conception, la complémentarité s'exprime entre l'architecte, ou le designer, et l'ingénieur
157. Nous présentons ces principes en partie 3 comme cas d'application de notre modélisation
158. Cf. https://circulab.com/circular-design-what-is-it/

monde » selon le principe « moins de souffrance = plus de bénéfice » (*less pain = more gain*) dans un esprit « gagnant/gagnant » (*win/win*) par un allégement de la pénibilité de la tâche de l'utilisateur et l'amélioration de la productivité.

E28 — Note sur l'évolution du design

Dans son *court traité du design* (Vial, 2010), le philosophe relève un paradoxe du design, qui pense mais ne se pense pas. Si l'histoire du design accompagne la révolution industrielle, elle semble donc subir un sort comparable à la technique sur laquelle jusqu'à récemment peu de penseurs[159] se sont interrogés proportionnellement à l'ampleur de son développement dans dans nos sociétés. Peut-être est-ce un effet de la spécialisation et de l'approche réductionniste ? L'ambition du design est née en faisant converger les arts avec l'industrie (*ibid*., p.9). Invention socialiste née en Angleterre de la révolte contre l'industrialisation sur l'homme et invention capitaliste née en Allemagne de l'assomption de la production industrielle de masse (*ibid*., p.27), il s'est développé aux Etats-Unis faisant alliance avec le marketing. Son expansion s'est traduite par une multitude de spécialités : design d'objet, design d'espace, design d'intérieur, et maintenant *design numérique* — défini ainsi : « *activité créatrice consistant à concevoir des expériences-à-vivre à l'aide de formes interactives produites dans des matières informatisées et organisées autour d'une interface* » (*ibid*., p.71) — au design d'expérience, *de l'UxD au LivXD* comme le relève Sylvie Leleu-Merviel (2018), se prolongeant désormais au *design du vivant* ou *biodesign*. (Myers, 2012). Théories et méthodes se sont formalisées plus récemment, devenant un champ fertile de réflexion pour les chercheurs de différentes disciplines (philosophes, sociologues, ingénieurs, artistes, architectes, marketeurs, etc.) : Nous avons désormais les *design patterns*, le *design thinking* (cf. § 3.1.3.2. C2c), le *design circulaire*, le *méta design* ou le *co-design*.

Face à la complexité, le travail du designer a consisté à simplifier. Cette démarche à

159. Citons quand même Marx (1818-1883), Ellul (1912-1994), Simondon (1924-1989), Illich (1926-2002), Stiegler (1952-2020)

introduit un déséquilibre entre l'individu qui maîtrise le processus de création, ainsi que la chaîne et l'outil de production, et celui, en bout de chaîne, qui se contente d'utiliser le produit ou le service, en en ayant une représentation simplifiée. Sans aborder ici les conséquences financières associées, c'est-à-dire l'effet de concentration chez ceux qui maîtrisent et contrôlent ces systèmes, matérialisés dans des plateformes numériques, nous évoquerons en revanche deux effets associés. Le premier se focalise sur le smartphone, outil de prédilection d'accès au monde numérique, qui court-circuite le système 2 du modèle cognitif popularisé par Kahneman au profit du système 1. Le passage au système 1, le mode réflexe, court-circuite le système 2, le mode réflexion. La doctrine « Le client est roi » s'est ainsi traduite par les interjections *Don't make me think* de Steve Krug (2000) et *Donne-moi ce que je veux !* de Patricia Gallot-Lavallée (2007). Elle a conduit au développement d'interfaces addictives dont le fonctionnement est modélisée par Nir Eyal dans *Hooked* (cf. encadré E13). Nous observons aujourd'hui une prise de conscience progressive d'effets négatifs de cette tendance, qui laisse l'utilisateur face à une boîte noire complexe. L'injonction devient alors *Make me think !* (Ammer, 2018)[160] et *Let me think*[161]. Il s'agit d'activer le système 3, système inhibiteur et critique, qui permet d'orienter vers le système 2, modélisé par Olivier Houdé. Le deuxième effet est lié à la réorganisation des tensions. Selon le paradigme énergétique (cf. encadrés E17 et E18), une tension ne disparaît pas mais se déplace, elle se propage. Pour présenter cet effet, nous nous appuyons pour commencer sur la représentation physique du processus et plus particulièrement sur les deux formules qui le traduisent : U = R.I et P = U.I. La première formule – U = R.I – définit la Tension comme produit de la Résistance par l'Intensité. La deuxième formule – P = U.I – définit la Puissance comme le produit d'une Tension par l'Intensité. Ces formules physique semblent s'appliquer globalement à l'échelle de l'individu. De la première, nous déduisons qu'à Intensité constante, la Tension baisse en diminuant la Résistance, effet recherché par les designers dans l'affordance, telle que définit par Gibson. De la seconde nous constatons que la

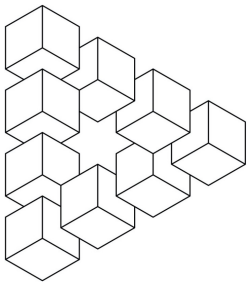
160. Cf. https://ralphammer.com/make-me-think/?ref=heydesigner
161. Cf. https://letmethink.io/

diminution de la Tension a pour effet de diminuer la Puissance. La Puissance sera alors conservée par l'augmentation de l'Intensité, d'où la recherche d'une vie intense, phénomène analysé par le philosophe Tristan Garcia (son approche est développée au § 3.1.2.1), qui fait par ailleurs le même parallèle avec l'électricité. Et si l'Intensité n'augmente pas, la Puissance diminue, l'individu est alors progressivement privé de sa capacité d'agir. La réorganisation des tensions se traduit par une nouvelle répartition. La tension initiale se trouve transférée dans une autre partie du système, éventuellement divisée en plusieurs sous-tensions, ou agrégé à des tensions existantes.

Dans un environnement complexe multi relationnel, le travail du designer revient donc à déplacer et répartir différemment des tensions. C'est l'approche qui est prônée par le designer John Wood avec le *méta design*, approche relationnelle, interactionnelle et combinatoire, sur lequel nous reviendrons dans l'encadré E48.

1.5. Conclusion de l'exploration

Présentée séquentiellement, cette étude de quatre termes polysémiques — information, transformation, organisation, représentation — a été conduite en parallèle et s'est déroulée par itérations successives, en s'appuyant sur l'*anneau des disciplines* et son dérivé issu du cadrage, le *pentachore des disciplines*. Cherchant des invariants entre les disciplines abordées, nous avons progressivement discerné des concepts centraux, comme celui de l'énergie, qui ont permis de faire émerger une modélisation de la transformation, puis de l'organisation, tout en revenant régulièrement sur le questionnement dans une boucle systémique de rétroaction. Les invariants se sont retrouvés au cœur d'une réaction catalytique, ce qui nous a permis de refermer progressivement cette partie (bien que l'exploration reste évidemment parcellaire au vu de son périmètre), au fur et à mesure que s'éclaircissait la proposition que nous présentons maintenant.



2. Proposition de modélisation

ou « de l'analyse des transformations des organisations à leur description »

2.0. Introduction de la proposition

A partir de notre exploration des quatre concepts d'*information*, *transformation*, *organisation* et *représentation*, nous proposons dans cette seconde partie une construction qui se présente en deux volets. Le premier est un design modélisant les principes de transformation et d'organisation. Le second outille ce modèle, pour faciliter l'observation, la description et l'analyse de la transformation des organisations. Ce second point nous amène ainsi à proposer un *instrument d'observation*, un *langage de description* et une *méthode d'analyse*. La présentation de cette *construction* est illustrée par des *cartes* à vocation pédagogique, pour faciliter la mémorisation des différents concepts présentés. Elles esquissent un « jeu sérieux » (*serious game*) lui-même en construction. Les cartes sont référencées par un numéro de code unique, indiqué en haut à droite de chacune.

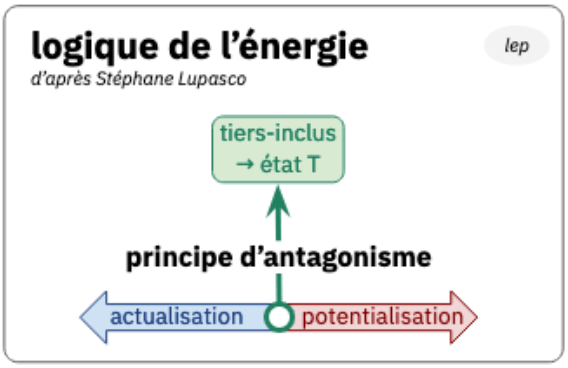
2.1. Design d'un modèle de la transformation (R1)

2.1.0. Introduction (R1)

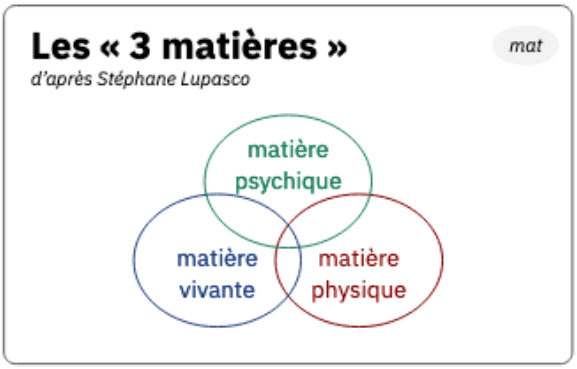
Construit itérativement, le modèle de transformation s'appuie sur cinq concepts principaux que nous présentons successivement : les *attracteurs de transformation*, le *champ de transformation*, les *écarts*, les *tensions*, leurs déclinaisons, *torsion*, *pression* et *vortex*, et les *opérateurs de transformation*. Ce modèle continue d'évoluer avec les concepts d'*énergie de transformation* et de *cycle de transformation*. Nous le rendons dès à présent opérationnel avec une *grille d'analyse des transformations*.

2.1.1. Attracteurs de transformation

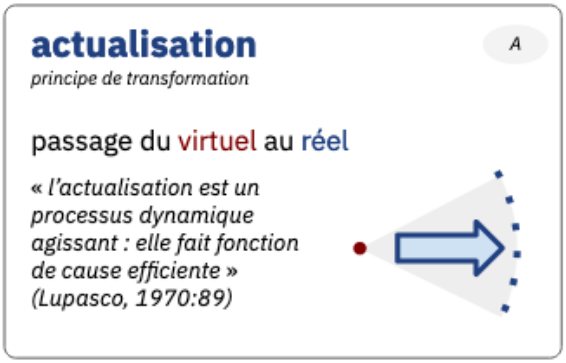
L'exploration des transformations via l'*anneau des disciplines* nous a montré le rôle central que jouait le concept d'énergie dans la transformation des organisations. Il est en effet au cœur des lois de la physique, actualisé dans les métabolismes biologiques en général et les comportements humains en particulier, sans bien sûr prétendre néanmoins réduire ces derniers à ce seul concept. Introduite dans la partie cadrage, notre hypothèse d'utiliser la *logique de l'énergie* pour décrire le principe de transformation s'en trouve donc confirmée. Rappelons que la logique de l'énergie s'appuie sur les deux principes antagonistes de *potentialisation* et d'*actualisation*. Jamais absolus, ils laissent la place à un état d'équilibre dynamique, l'*état T*, pour *tiers-inclus*. Stéphane Lupasco en a déduit « *3 matières* » — *physique*, *vivante*, *psychique* — soumises pareillement à cet antagonisme et précédemment évoquées (§ 0.6.3). Les cartes [*lep*], [*mat*], [*A*], [*P*] et [*T*] illustrent ces concepts.



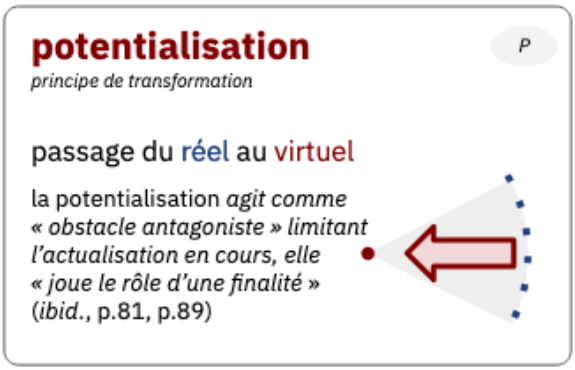
C22 — [lep] — Logique de l'énergie



C23 — [mat] — Les « 3 matières »

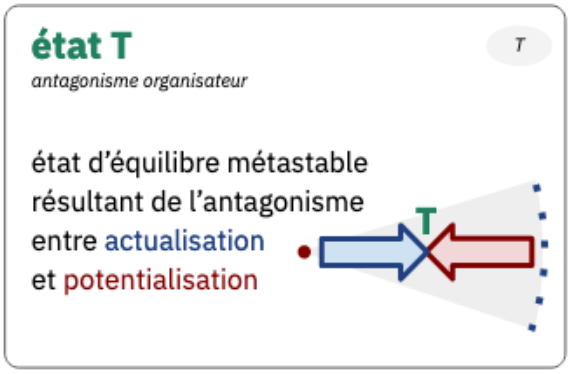


C24 — [A] — actualisation

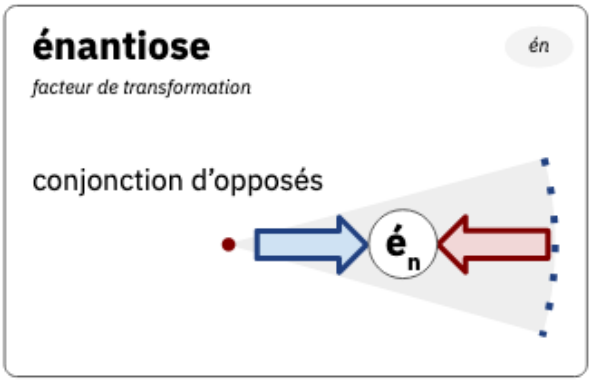


C25 — [P] — potentialisation

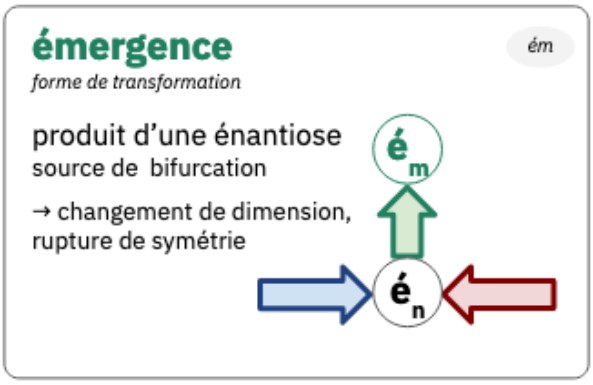
Nous interprétons le *tiers-inclus* à partir d'une combinaison des philosophies de Pythagore et d'Héraclite : Pythagore considère la musique comme une harmonie des contraires, un accord des opposés[162], et Héraclite que nulle chose ne demeure ce qu'elle est, et que tout passe en son contraire[163]. Un terme ancien exprime cette conjonction des opposés : l'**énantiose**, du grec ancien ἐναντίος *enantíos*, opposé. Ce processus semble être au cœur de la conduite du changement organisationnel (Bonnet, 2019). Cette interprétation du tiers-inclus nous conduit à considérer le phénomène d'émergence comme le produit d'une *énantiose*. Il se caractérise par une rupture de symétrie. Les cartes [*én*] et [*ém*] illustrent ces deux concepts.



C26 — [T] — état T



C27 — [én] — énantiose



C28 — [ém] — émergence

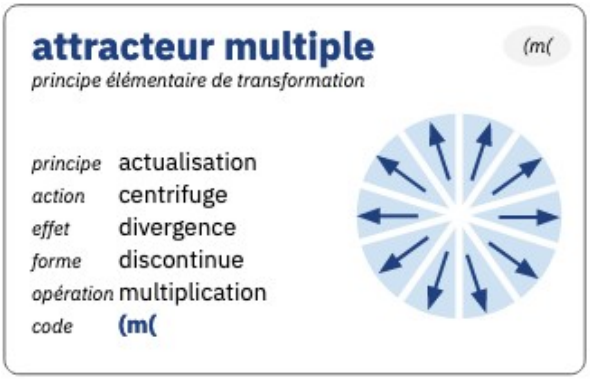
Nous proposons une modélisation de la logique de transformation en sollicitant le concept d'*attracteur* (Milnor, 1985) en nous inspirant de la *théorie du chaos* (cf. encadré E23). Nous utilisons le concept d'attracteur dans son sens premier et commun, « qui attire », l'envisageant comme la représentation d'un principe élémentaire de transformation. Afin de traduire le processus énantiologique de *potentialisation-actualisation*, nous considérons deux attracteurs nommés

162. Chaignet A. E. (1874), Pythagore et la philosophie pythagoricienne, vol II, Didier et Cie, Libraires éditeurs

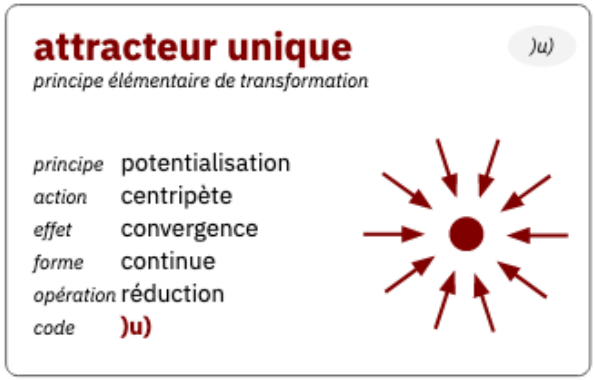
163. Cf. sur Wikipédia, Héraclite, Doctrine : https://fr.wikipedia.org/wiki/Héraclite#Doctrine

respectivement **attracteur unique** et **attracteur multiple**. Ils constituent les fondations de notre modélisation de la transformation. Ces attracteurs modélisent des transformations de formes, d'actions et d'effets opposés. L'*attracteur multiple* est de forme discontinue, son action centrifuge, son effet divergent ; l'opération mathématique associée est la *multiplication*. A l'inverse, l'*attracteur unique* est de forme continue, d'action centripète, son effet convergent ; l'opération mathématique associée est la *réduction* (soustraction). Si le lien entre convergence et attracteur est intuitif, celui entre divergence et attracteur peut sembler contre-intuitif car son action est inverse, il éloigne, repousse du centre, il attire donc vers le lointain, et répond à la définition mathématique de l'attracteur. Ce modèle s'inscrit par ailleurs dans la lignée des travaux du mathématicien René Thom : « *nos modèles attribuent toute morphogenèse à un conflit, à une lutte entre deux ou plusieurs attracteurs.* » (Thom, 1977:327). Applicables à toutes les représentations du processus de transformation, nous les considérons de nature *transcendantale,* assimilables à des *universaux,* pour en dériver une série de concepts secondaires. A titre d'exemple, les concepts transcendantaux de Kant que sont l'espace et le temps émanent de ces attracteurs dans notre représentation. Ce point sera développé en partie 3, en considérant leur unification dans la notion d'espace-temps telle que définie par Einstein, ainsi que certaines des variantes culturelles de ces concepts d'espace et de temps.

Nous associons aux attracteurs une notation spécifique, qui illustre leur opposition : **(m(** pour l'*attracteur multiple* et **)u)** pour l'*attracteur unique*. Notre usage des parenthèses est volontairement inhabituel, alors que l'on pourrait s'attendre à une notation plus classique, de type (m) et (u). La représentation choisie marque à la fois la complémentarité et l'opposition : ces deux attracteurs sont indissociables, leur effet est global et permanent, c'est pourquoi nous utilisons également le symbole **∞** (infini) pour les désigner. Afin d'en faciliter la lecture, nous attribuons également une couleur aux attracteurs, respectivement *bleue* et *rouge*. Les cartes [*(m(*] et [*)u)*] illustrent ces deux attracteurs.



C29 — [(m(] — attracteur multiple



C30 — [)u)] — attracteur unique

Le tableau T21 présente différents contextes d'interprétation associés.

T21 — Interprétation des attracteurs énantiologiques

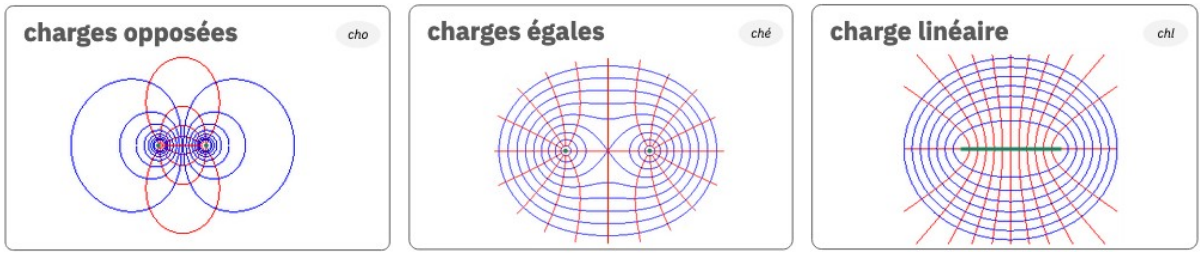
contexte	*qualification des transformations*	
sens de la transformation	multiple vers unique	unique vers multiple
notation	**(m(→)u)**	**(m(←)u)**
logique de l'énergie (principe)	potentialisation	actualisation
exemple d'application / matière	compression	expansion
exemple d'application / vivant[164]	inspiration	expiration
exemple d'application / cognition	impression	expression
force	centripète	centrifuge
effets	agrégation composition	désagrégation décomposition
mouvement	vers l'intérieur	vers l'extérieur

Deux points importants sont à mentionner : d'une part, aucun jugement de valeur n'est attaché a priori à ces attracteurs ; d'autre part, ils ne définissent pas des catégories. Ces deux attracteurs sont générateurs d'un espace de transformation, que nous pouvons formaliser ainsi :

(m(*espace de transformation* **)u)**

164. C'est l'exemple de la **respiration**. On notera une inversion du processus physique, traduisant une énantiose : il y a une expansion des poumons lors de l'inspiration, et une compression lors de l'expiration.

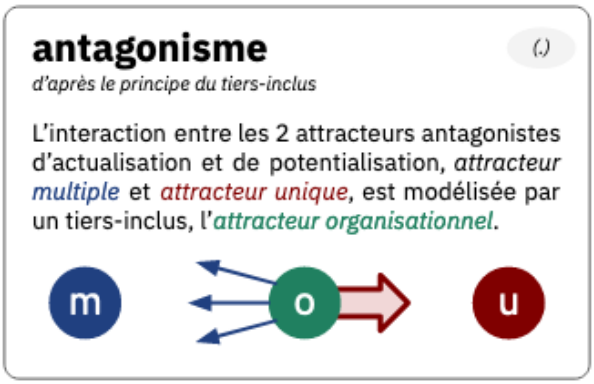
La métaphore des champs magnétiques évoque l'effet conjoint des deux attracteurs, comme l'illustrent ces trois exemples de répartition de charges, de couleur verte, avec les cartes [*cho*], [*ché*] et [*chl*].



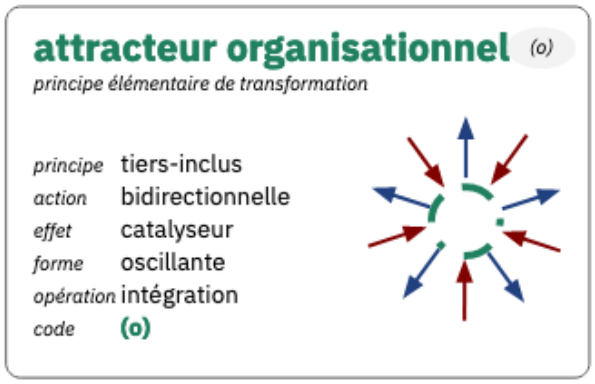
C31 — [cho] — charges opposées C32 — [ché] — charges égales C33 — [chl] — charge linéaire

Le premier exemple trace les équipotentielles électrostatiques induites par deux charges opposées placées en deux points. Les courbes bleues dessinent les équipotentielles de Cayley, les courbes rouges leur sont orthogonales. Elles traduisent le champ de force d'un dipôle électrostatique, par exemple un aimant. Dans le second exemple, les charges sont égales. Elles dessinent des ovales de Cayley. Dans la troisième illustration, les charges sont uniformément réparties sur le segment entre les deux points. Elles produisent un réseau d'interférences.

A partir de l'opposition énantiologique des deux attracteurs unique et multiple nous définissons alors un troisième attracteur, nommé **attracteur organisationnel**, qui correspond au principe du tiers-inclus. Ce troisième attracteur émerge du vide entre les deux attracteurs antagonistes. Le vide est un des moteurs de la transformation. Contrairement aux deux premiers, l'attracteur organisationnel n'a pas une forme fixe, continue ou discontinue. Notons que la différence entre le continu et le discontinu est liée à la perception. Par exemple, la bande image d'un film, composée d'une série discontinue d'images fixes, nous apparaît continue à partir d'une certaine fréquence; il en est de même pour un signal sonore percussif. Nous qualifions alors sa forme de *oscillante*. De même, nous employons le terme de *catalyseur* pour qualifier son effet puisqu'il est un facteur d'organisation, sans être impacté lui-même en retour. L'opération mathématique associée est l'*intégration*. Par convention, nous lui associons le code **(o)** et lui attribuons la couleur *verte*. Les deux cartes [*(.)*] et [*(o)*] illustrent ce troisième attracteur.



C34 — [(.)] — antagonisme



C35 — [(o)] — attracteur organisationnel

Nous considérons ces trois attracteurs comme des principes fondamentaux de transformation, à la fois minimum, nécessaires, invariants et suffisants. Nous considérons également que l'effet permanent de ces trois attracteurs produit un *champ de transformation*, dont nous présentons la logique.

2.1.2. Champ de transformation

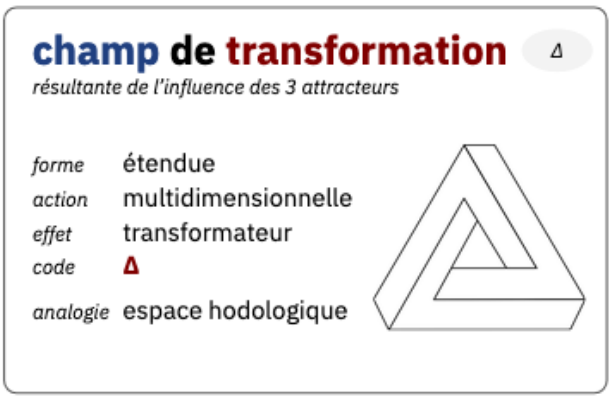
Le **champ de transformation** conceptualise l'influence conjointe des trois attracteurs de transformation. Si l'influence des deux premiers est symétrique, le troisième introduit une rupture de symétrie, tout en agissant sur les deux autres. Ce champ de transformation est à rapprocher du concept d'*espace hodologique*. Introduit par Lewin, « *la notion d'espace hodologique assure, dans le cadre général de la théorie du champ, la connexion des rapports « topologiques » de situation et de la dynamique des processus psychologiques et psycho-sociaux et permet, en particulier, d'y représenter les « meilleurs chemins de satisfaction », en équivalence des stades de développement de la libido dans la théorie freudienne* » (Encyclopædia Universalis). Cette notion est aujourd'hui revisitée par le consultant-chercheur en sciences de gestion Daniel Bonnet de l'ISEOR dans ses travaux précités sur le changement organisationnel (Bonnet, 2019). Pour illustrer le champ de transformation issu des trois attracteurs, nous utilisons la figure couramment nommée *Triangle de Penrose*[165], composée de trois barres qui dessinent en deux dimensions une figure impossible à construire en trois dimensions, comme celle

165. Cette figure a inspiré l'artiste Maurits Cornelis Escher, mais sa paternité serait due à l'artiste suédois Oscar Reutersvärd, qui en 1934 aurait dessiné une configuration comparable, les barres étant remplacées par 4 cubes — cf. Couverture (source : revue *tangente*, n°198, Février-Mars 2021, p.25)

représentée sur la carte [Δ]. Si de l'interaction entre les deux attracteurs énantiologiques unique et multiple, émerge un troisième attracteur organisationnel, nous faisons l'hypothèse de la réciprocité de l'émergence en considérant une première formule :

(m(•)u) ↔ ø + **(o)**

Le symbole *ensemble vide* désigne le *vide*. Nous le considérons comme le premier moteur de la dynamique de transformation. Nous modélisons de même l'action spécifique de l'attracteur organisationnel sur chacun des deux autres. Du fait du principe de l'énantiose, l'interaction produit deux opposés. Nous posons ainsi l'hypothèse que l'effet de l'attracteur organisationnel sur l'attracteur multiple génère d'une part le perceptible, le mesurable, le chiffrable, le quantifiable, qui est donc numérisable, et d'autre part son opposé, l'imperceptible, l'inquantifiable. Nous désignons le perceptible par le symbole **(r)** le *réel*. Il représente le milieu dans lequel s'actualise l'organisation. La codification s'inspire des langages de balisage, les *markup languages*[166]. L'encadré E29 résume leur finalité, et les principales étapes de leur genèse, tout en signalant une limitation majeure. L'imperceptible, ce qui ne peut donc être traité, est codé par le symbole **)n(**, qui évoque le non observable, le *nul* (aucun signal), le *négatif*, « *qui ne conduit pas à observer un phénomène que l'on recherche* » (CNRTL). Il existe mais est *absent*, ou *refoulé*. Source d'un *manque* — « *absence de quelque chose, de quelqu'un qui serait nécessaire, utile ou souhaitable* » (CNRTL) — il constitue un second moteur de la transformation. L'inversion du sens des parenthèses, non conventionnelle, exprime cette nature insaisissable. L'interaction entre les attracteurs *multiple* et *organisationnel* se résume par la formule :



C36 — [Δ] — champ de transformation

(m(• (o) ↔ **(r)** + **)n(**

166. L'usage des parenthèses au lieu de chevrons est autorisé en GML (cf. encadré)

E29 — Langages de balisage ou « markup langages »

Les langages de balisage enrichissent un flux de données par des métadonnées (données sur les données). Ils permettent ainsi de formaliser une structure, éventuellement enrichie d'attributs, sur laquelle pourront agir des automates. Relativement légère, elle reste lisible par un humain. A titre d'exemple, pour coder une liste non ordonnée de trois couleurs on utilisera deux balises de début `<ul>` et fin `</ul>`, (*ul* signifie *unordered list*) en ajoutant un attribut `class` précisant la nature de son contenu, dans notre cas des couleurs, entourant trois couples de balises `<li>` et `</li>` (*li* signifie *list item*), auxquelles on ajoute un attribut `id` pour préciser l'identifiant de la couleur, ici sa valeur en notation hexadécimale. Ce qui s'écrit ainsi, en respectant la syntaxe HTML :

```
<ul class="color"> <li id="#0000ff">bleu</li>
<li id="#00ff00">vert</li> <li id="#ff0000">rouge</li></ul>
```

Ces langages sont très répandus. La première version des langages de balisage, le *GML* pour *Generalized Markup Language,* a été créé par IBM en 1969, plus précisément par Goldfarb, Mosher et Lorie, le sigle GML était également celui de leurs initiales. Ce langage sera standardisé en 1986 pour donner naissance au *SGML, Standard Generalized Markup Language*. Il donnera naissance au Web avec le HTML, *HyperText Markup Language*, puis le *XML, eXtended Markup Language* et tous ses dérivés. Notons que, comme nous l'a fait remarquer Jacques Dendien[167], le concepteur et réalisateur du *Trésor de la Langue Française Informatisé,* ces langages présentent une limite critique de non entrelacement des balises : la hiérarchie doit être respectée. Ainsi le codage <balise_A>...<balise_B>...</balise_B>...</balise_A> est autorisé mais <balise_A>...<balise_B>...</balise_A>...</balise_B> est interdit.

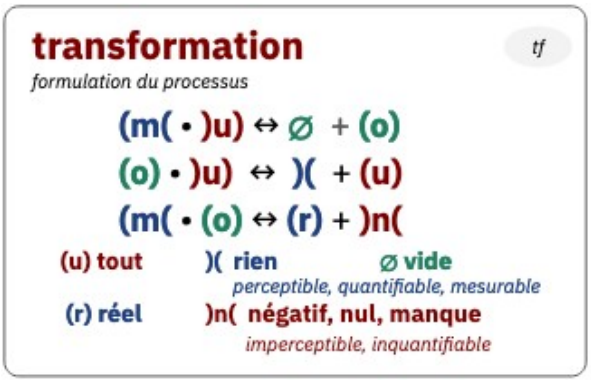
L'interaction entre l'*attracteur organisationnel* et l'*attracteur unique* n'est pas du domaine du quantifiable mais du qualifiable. Nous désignons les deux opposés issus de cette interaction par les termes génériques de *tout* et de *rien*. Dans la même

167. Lors d'une rencontre professionnelle lors du traitement de l'Encyclopædia Universalis, cf. § 0.1.1

logique que précédemment, nous codons le *tout* avec le symbole **(u)** et le *rien* par **)(**. Le *tout* définit l'existence, il est associé à l'*être*, à une *totalité*, au *plein* alors que le *rien* est à rapprocher du *néant*[168], « *absence d'être* » (CNRTL). Il constitue un troisième moteur de la transformation. Nous distinguons le *rien*, entre les attracteurs **(o)** et **)u)**, du *vide* entre les attracteurs **(m(** et **)u)**. Comme les physiciens quantiques le constatent en examinant ses propriétés (Klein, 2000), le vide n'est vide qu'en apparence. Il est également source d'inspiration pour les artistes, qui en exploitent les formes[169]. Néanmoins, on constate que dans la nature la perception du *plein* est privilégiée par rapport à celle du *vide*. L'interaction entre les attracteurs unique et organisationnel se résume par une troisième formule :

(o) •)u) ↔)(+ (u)

Aux deux premières limites précitées, l'imperceptible (invisible) et l'inquantifiable (incommensurable), nous en ajoutons une troisième d'importance : les transformations organisationnelles sont partiellement imprévisibles. Notons que notre modélisation respecte le principe quantique de non déterminisme — cf. § 1.2.3. Les deux cartes [*tf*] et [*tp*] résument les effets des attracteurs entre eux, et les limites qui en résultent.



C37 — [tf] — transformation, formulation



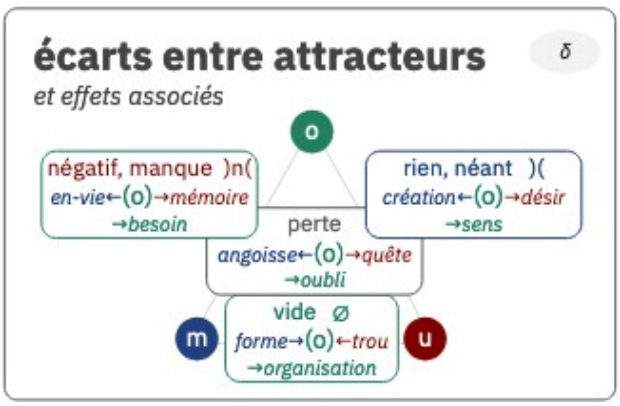
C38 — [tp] — transformation, propriétés

En plus des trois attracteurs, le champ de transformation contient donc un concept clé que nous avons formalisé sous le terme d'*écart*.

168. Avec *L'être et le néant*, nous retrouvons la terminologie de l'essai d'ontologie phénoménologique de Jean-Paul-Sartre (1943), qui appelle une philosophie de l'action. Notons que dans notre perspective, l'individu n'est qu'une forme organisée parmi d'autres.
169. Cf. par exemple *Vide et plein: le langage pictural chinois*, de François Cheng (1979)

2.1.3. Le concept d'Ecart

Les trois *écarts* entre les *attracteurs*, le *vide*, le *négatif* ou *manque* et le *rien* ou *néant*, ont pris une place croissante dans notre étude. Nous les codons avec le symbole **δ**. Définis et affinés progressivement, ils se sont stabilisés et paraissent jouer un rôle central dans l'ensemble des processus de transformation. Aux trois premiers écarts, que l'on peut qualifier de binaires, nous en avons ajouté un quatrième, ternaire, situé au barycentre des 3 attracteurs et nommé *perte*. Nous faisons à présent l'hypothèse que chaque écart induit un processus qui lui est propre, initiée par chacun des attracteurs. Issue d'une recherche itérative, les termes retenus pour décrire cette dynamique sont aujourd'hui temporaires, restant à contextualiser en fonction de l'échelle. L'interprétation que nous proposons est donc incomplète, encore susceptible d'évoluer. L'actualisation du *vide* produit la *forme*, sa potentialisation le *trou* ou *percement* (en topologie). L'influence de l'attracteur organisationnel se traduit par l'émergence d'une *organisation* en couplage avec son environnement (point développée au § 2.2.2.). L'influence des trois autres écarts est décrite uniquement à l'échelle de l'individu. Dans ce contexte, l'écart désigné par les termes *nul*, *négatif*, *manque* est actualisé par celui d'*en-vie*, potentialisé par la *mémoire*, l'attracteur organisationnel étant source du *besoin*, pour alimenter, sécuriser et pérenniser. L'*écart* désigné par les termes *rien*, *néant*, s'actualise dans la *création* et se potentialise dans le *désir*. L'attracteur organisationnel génère le *sens*. (Cf. § 3.1.2.3. pour *besoin* et *désir*, et E12 pour *sens*). Enfin, la *perte* s'actualise dans l'*angoisse*, se potentialise dans la *quête*, l'attracteur organisationnel appelant l'*oubli*, nécessaire à la régénération. La carte [*δ*] illustre cette proposition. Si nous considérons l'*attracteur* comme la source *potentielle* de la transformation, l'*écart* en permet l'*actualisation*. Le concept de *tension* s'appuie sur les deux précédents.

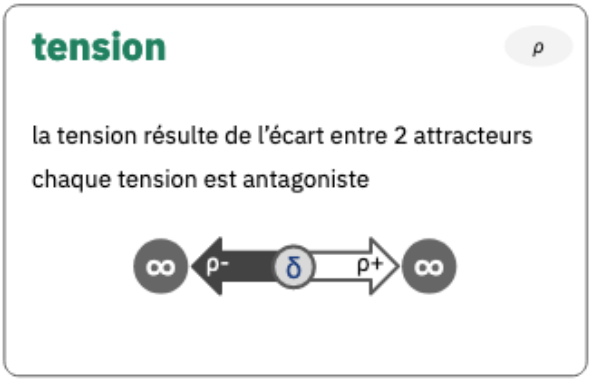


C39 — [δ] — écarts entre attracteurs

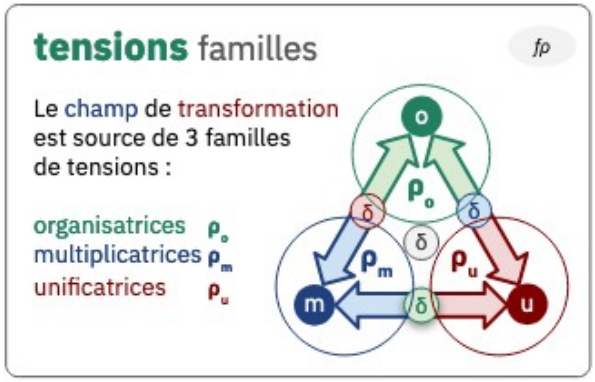
2.1.4. Le concept de Tension

Pour modéliser la transformation, nous employons le terme de **tension**. La tension résulte de l'écart entre deux attracteurs. Chaque tension est antagoniste. Nous codifions la tension par le symbole **ρ**. La lettre ρ est utilisé en géométrie pour dénoter la distance entre deux points en système de coordonnées polaires mais désigne également le module d'un nombre complexe, qui exprime une distance, ainsi que le rayon de courbure d'une courbe en un point. Ces trois notions sont compatibles avec notre modélisation puisque la tension s'exprime dans le champ tridimensionnel de transformation.

Dans le *champ de transformation*, nous obtenons ainsi trois paires de tensions primaires, entre les attracteurs **(m(** et **)u)**, **(o)** et **(m(**, **(o)** et **)u)**, qui se regroupent en trois familles, centrées sur les trois attracteurs. Le concept de *tension* est illustré par la carte [*ρ*], tandis que la carte [*fρ*] positionne les trois *familles de tensions* dans le *champ de transformation*.



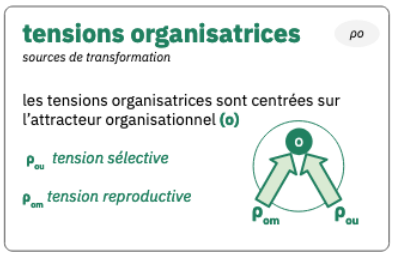
C40 — [ρ] — tension



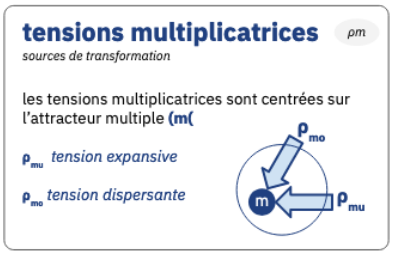
C41 — [fρ] — tensions, famille

Nous nommons ces trois familles ainsi : *tensions organisatrices*, *tensions multiplicatrices* et *tensions unificatrices*. Centrées sur l'attracteur organisationnel, les deux *tensions organisatrices* principales sont appelées tension *sélective* et tension *reproductive*, notées respectivement ρ_{ou} et ρ_{om}. Centrées sur l'*attracteur multiple*, les deux tensions multiplicatrices principale sont appelées tension *expansive* et tension *dispersante*, notées respectivement ρ_{mo} et ρ_{mu}. Centrées sur l'*attracteur unique*, les deux tensions unificatrices principales sont appelées tension

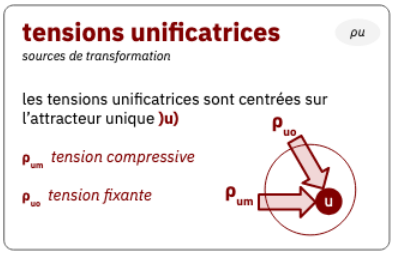
compressive et tension *fixante*, notées respectivement ρ_{um} et ρ_{uo}. Les trois cartes [*po*], [*pm*] et [*pu*] illustre cette modélisation.



C42 — [po] — tensions organisatrices

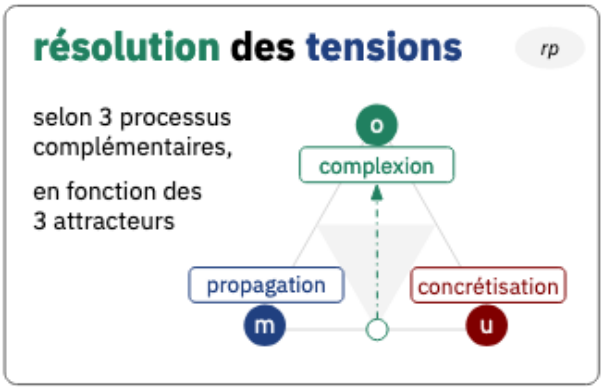


C43 — [pm] — tensions multiplicatrices



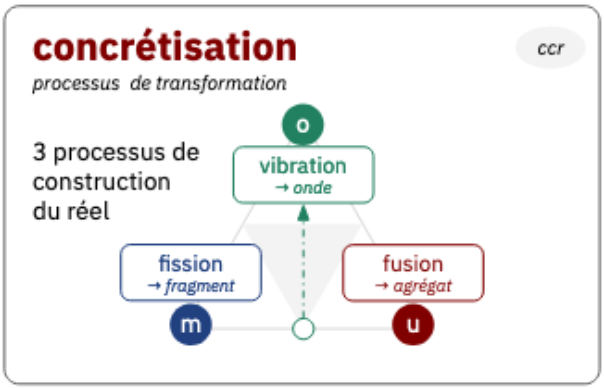
C44 — [pu] — tensions unificatrices

D'intensité variable en fonction de leur position dans le champ de transformation, ces tensions primaires se combinent pour générer une tension résultante. Leur résolution est à l'origine de trois processus que nous appelons concrétisation, propagation et complexion, en fonction de l'influence respective des trois attracteurs, unique, multiple et organisationnel, comme l'illustre la carte [*rρ*].



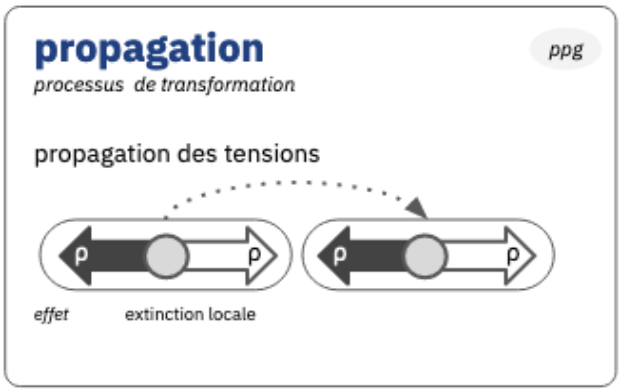
C45 — [rp] — résolution des tensions

Sous l'influence de l'attracteur unique, la **concrétisation** de la tension modélise les processus de construction du réel. Elle est illustrée par la carte [*ccr*]. Sous l'influence des trois attracteurs, *multiple*, *unique* et *organisationnel*, la concrétisation se décompose en trois processus que nous appelons respectivement, *fission*, *fusion*, et *ondulation*, respectivement à l'origine du *fragment*, de l'*agrégat* et de l'*onde*.



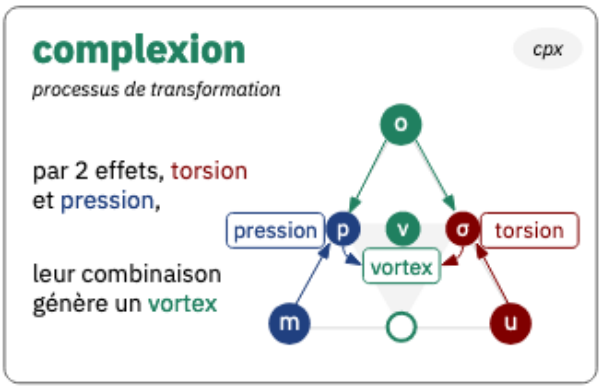
C46 — [ccr] — concrétisation

Sous l'influence de l'attracteur multiple, la **propagation** des tensions a pour effet leur extinction locale et leur diffusion. La propagation est illustrée par la carte [*ppg*]. Pour décrire ce phénomène, nous introduisons un quatrième concept, celui d'*opérateur* de transformation. Nous en présentons les déclinaisons dans la section suivante.



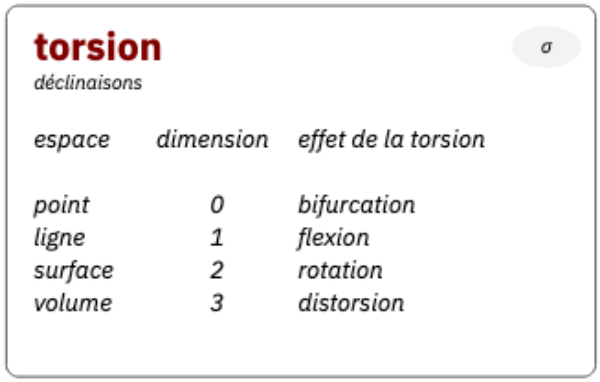
C47 — [ppg] — propagation

Sous l'influence de l'attracteur organisationnel, la **complexion** est un processus générateur qui produit les effets de *torsion* et de *pression*, sous l'influence respective des deux attracteurs, unique et multiple. Leur combinaison, sous l'influence de l'attracteur organisationnel, génère un troisième effet le *vortex*. La complexion est illustrée par la carte [*cpx*]. Codés respectivement avec les symboles σ, *p et v* (la lettre grecque nu), ses trois effets se déclinent.



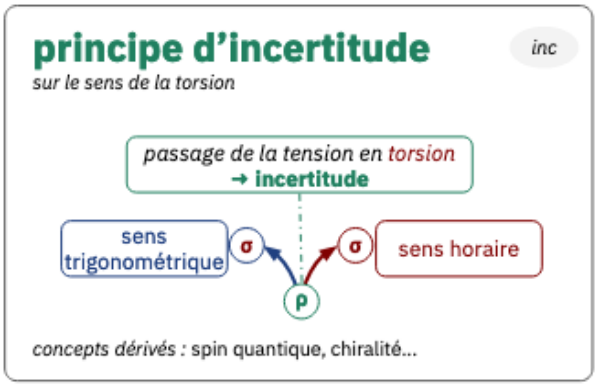
C48 — [cpx] — complexion

Le terme de **torsion** est employé de façon générique. D'un point de vue mathématique, la tension se décline selon différentes dimensions (cf. encadré E16), de 0 le point à 3 le volume , en bifurcation, flexion, rotation et distorsion, comme illustré par la carte [σ]. Deux sens sont possibles dans le passage de la tension à la torsion, ce qui génère un principe d'incertitude. La projection d'une torsion dans le plan se représente dans le sens horaire ou



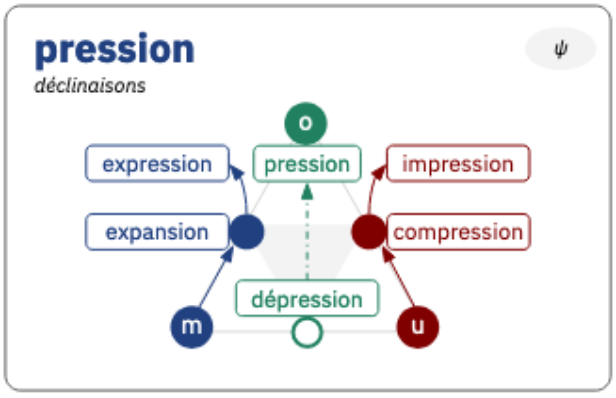
C49 — [σ] — torsion

trigonométrique, comme l'illustre la carte [*inc*].



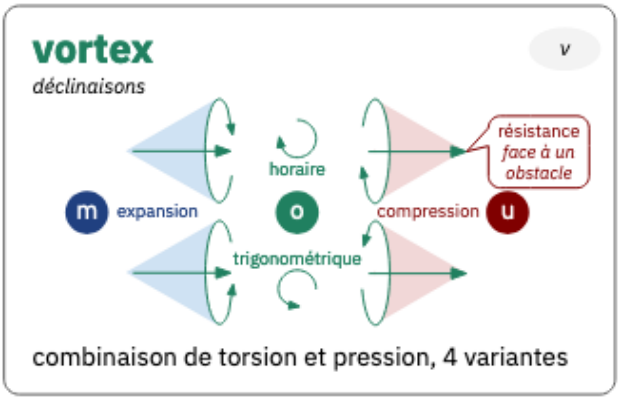
C50 — [inc] — principe d'incertitude

Cette interprétation permet également de modéliser le *spin* de la physique quantique — cf. § 1.2.3. — et plus généralement la **chiralité**, qui qualifie des formes énantiomorphes. Cette propriété se retrouve également au niveau des assemblages moléculaires avec le cas des énantiomères, qui peuvent avoir des effets physiologiques différents, alors que chimiquement deux énantiomères ont des réactivités identiques.



C51 — [ψ] — pression

Les déclinaisons de la **pression** sont illustrées par la carte [ψ]. Sous l'influence des deux attracteurs antagonistes, elle sera qualifiée par les termes *expansion* et *compression*. A d'autres niveaux, on emploiera également les termes *expression* et *impression*. On note également que la *pression* est une intégration de tensions, et qu'elle s'oppose à la *dépression*, produite par le *vide*.



C52 — [v] — vortex

La combinaison d'une pression et d'une torsion, sous l'influence de l'attracteur organisationnel, produit un **vortex**. Le vortex est également sous l'influence des deux attracteurs énantiologiques, *multiple* et *unique*, ce qui a pour effet de produire des *vortex* respectivement en *expansion* ou en

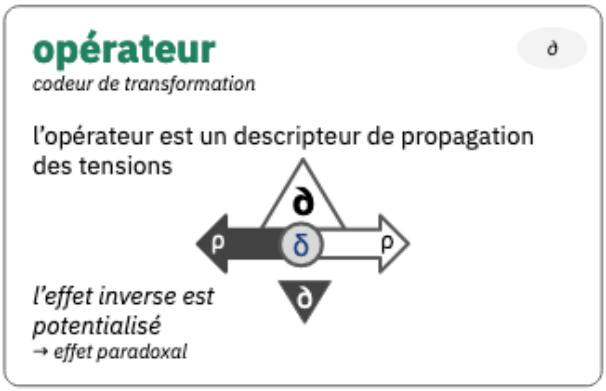
compression. Combinés aux deux sens de rotation, nous obtenons quatre déclinaisons, comme illustrées par la carte [*v*].

Nous précisons à présent le concept d'*opérateur de transformation*.

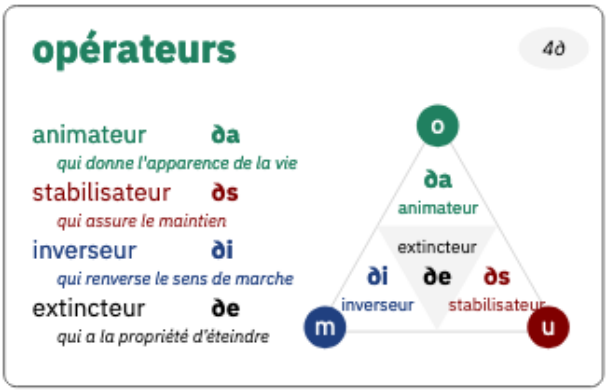
2.1.5. Opérateur de transformation

Le concept d'**opérateur de transformation** nous sert à décrire la *propagation* des couples de tensions antagonistes dans le processus de transformation. Il joue un triple rôle. A la fois réducteur et transmetteur, il produit également d'après la logique du tiers-inclus, un effet inverse, que nous qualifions de négatif paradoxal. L'opérateur agit comme un *transducteur*. Le CNRTL définit le transducteur comme un « *dispositif ou élément d'une chaîne de communication (mécanique, électrique, etc.) recevant un message sous une certaine forme et le transformant en une autre* ». La transduction induit une notion de temporalité, complémentaire à la notion spatiale d'attracteur. Nous codifions les opérateurs avec le symbole **ð**. Sa graphie est symétrique à celle du symbole ***ρ*** utilisé pour la tension. Le symbole du delta minuscule est également utilisé pour exprimer la notion de différentielle. A partir des trois couples de tensions, nous obtenons trois opérateurs, en relation avec les trois attracteurs, organisationnel, unique et multiple. Nous les nommons respectivement animateur, fixateur et inverseur, codés ða, ðs et ði. L'animateur est un opérateur de transformation propagateur du couple de tensions entre les deux attracteurs multiple et unique, c'est-à-dire la tension *expansive* et la tension *compressive*. L'**animateur** est un opérateur « *qui donne l'apparence de la vie* ». Le **stabilisateur** est un opérateur de transformation propagateur du couple de tensions entre les deux attracteurs multiple et organisationnel, c'est-à-dire la tension dispersante et la tension reproductive. Le stabilisateur est un opérateur « *qui assure le maintien* ». L'**inverseur** est un opérateur de transformation propagateur du couple de tensions entre les deux attracteurs organisationnel et unique, c'est-à-dire la tension sélective et la tension fixante. L'inverseur est un opérateur « *qui renverse le sens de la marche* ». Nous introduisons un quatrième opérateur pour traduire les différents effets négatifs paradoxaux : l'extincteur, codé ðe. L'**extincteur** est un

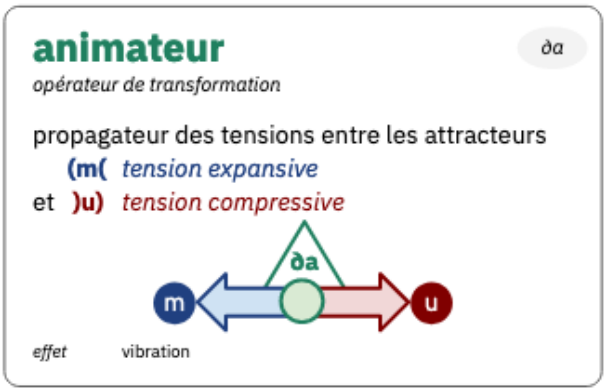
opérateur « *qui a la propriété d'éteindre* ». La carte [∂] illustre le concept d'opérateur, la carte [*4∂*] illustre leur rapports aux attracteurs illustrés, les quatre cartes [*∂a*], [*∂s*], [*∂i*] et [*∂e*] les illustrent individuellement.



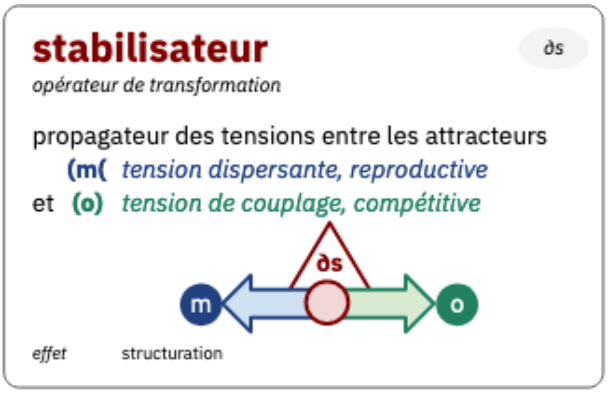
C53 — [∂] — opérateur



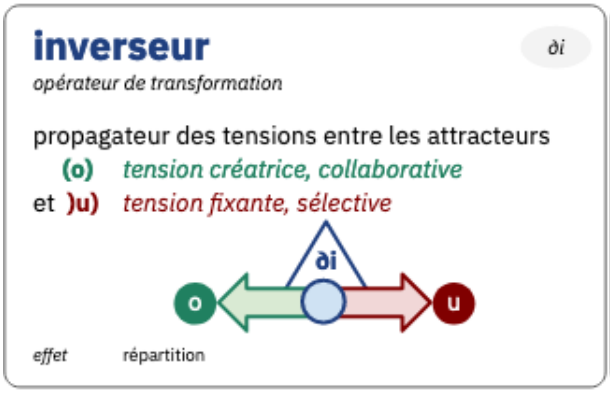
C54 — [4∂] — 4 opérateurs



C55 — [∂a] — animateur



C56 — [∂s] — stabilisateur



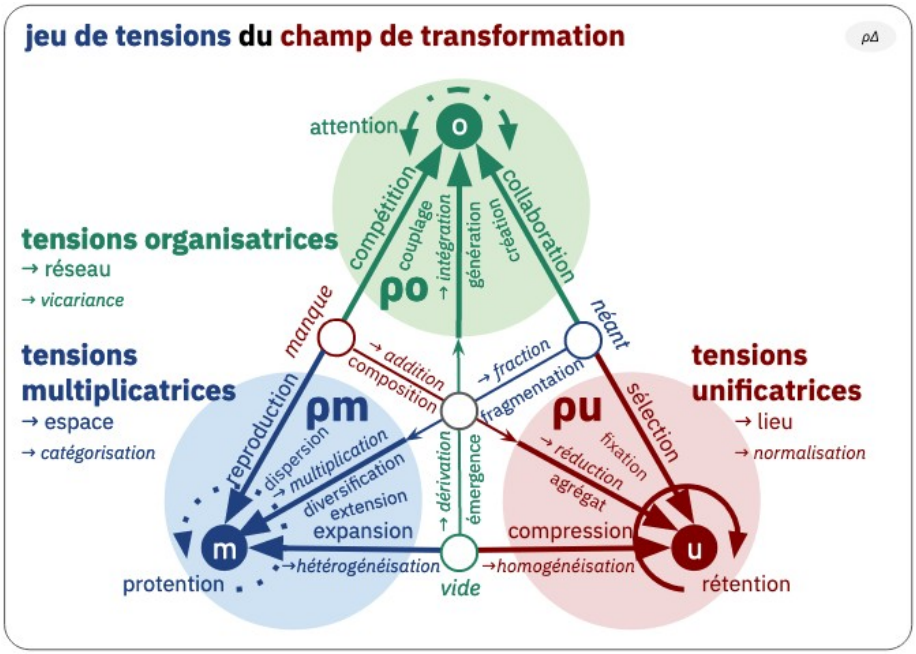
C57 — [∂i] — inverseur



C58 — [∂e] — extincteur

Nos recherches de formalisation des tensions dans le champ de transformation nous ont conduit à affiner cette représentation pour proposer une vue d'ensemble d'un jeu de tensions qui permettent de décrire les principales interactions, comme

illustré par la carte [ρΔ]. Cette représentation met en évidence un ensemble de processus. L'*émergence* est vue comme une dérivation de la *tension* entre les deux attracteurs, *multiple* et *unique*, et c'est par une opération d'intégration qu'est générée l'organisation. L'opérateur *animateur* se divise donc en deux opérations, de *dérivation* et d'*intégration*. De même, le *stabilisateur* combine une opération d'*addition* et de *réduction*, auxquelles correspondent respectivement une composition, « action de former un tout par assemblage ou combinaison de plusieurs éléments ou parties » (CNRTL) et un agrégat. Enfin, l'*inverseur* combine une opération de *fraction* et de *multiplication*, respectivement sources de fragments et de diversification. Cette architecture dévoile une logique mathématique sous-jacente qui sera précisée dans la partie 4 Perspectives, au § 4.2.1.3. D'autres notions illustrées sur cette carte[170] seront précisées dans la représentation de l'organisation. Pour faciliter l'appropriation de ce premier modèle de notre proposition, nous avons commencé par lui donner un nom et un visuel, qui aide à le mémoriser. Nous présentons ce design ci-après.

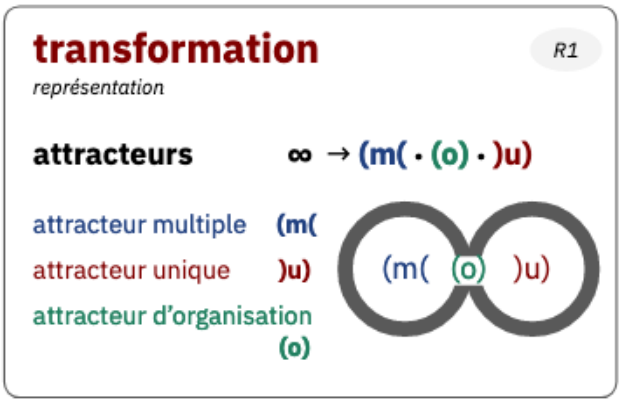


C59 — [ρΔ] — jeu de tensions du champ de transformation

170. A proximité des attracteurs, rétention, protention, attention, décrits au § 2.2.9. et associées aux tensions : espace, lieu, réseau, analysés au § 3.1.1.1. et des notions dérivées, catégorisation, normalisation, vicariance

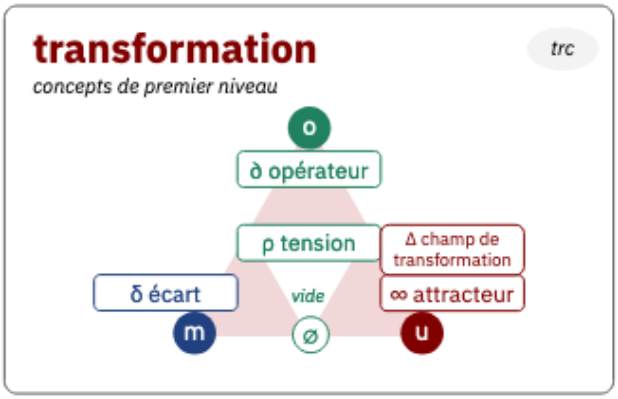
2.1.6. Modèle de représentation des transformations

Nous appelons **modèle R1** ce premier modèle de représentation des transformations. Comme nous l'avons vu précédemment, il repose avant tout sur le concept d'*attracteur*, au nombre de trois, et aux effets globaux et permanents. Pour illustrer ce concept, nous utilisons le symbole ∞. Les deux boucles de ce symbole infini représentent ainsi chacun des deux attracteurs énantiologiques, tandis que le point de croisement central représente l'attracteur organisationnel. La carte [*R1*] illustre cette représentation.



C60 — [R1] — transformation

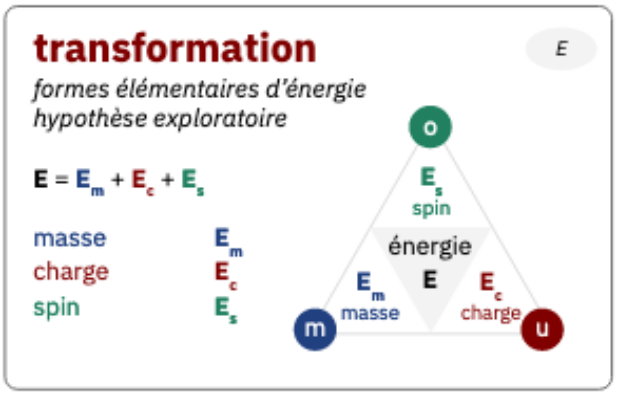
Le modèle intègre 6 concepts de premier niveau. Il devient autoréférent en associant logiquement ces concepts aux attracteurs de la façon suivante. La transformation est potentialisée par le concept d'*attracteur* et actualisée par le concept d'*écart*. L'équilibre dynamique entre les *attracteurs* et les *écarts* est représenté par le concept de *tension*. Le concept de *champ transformationnel* est à rapprocher de l'*attracteur unique*, car il est global. Le concept de *vide* correspond à l'état T, c'est de lui que naîtra l'organisation. Le concept d'*opérateur de transformation*, qui décrit les jeux de *tensions*, est à rattacher à l'*attracteur organisationnel*. La carte [*trc*] illustre cette **autoréférence**. Les concepts de second niveau, *pression*, *torsion* et *vortex*, seront rattachés à l'organisation. Malgré l'autoréférence, ce modèle ne se prétend pas complet et reste en développement. Nos derniers travaux que nous introduisons ci-après consistent à établir une relation formelle avec le concept d'énergie, tel qu'utilisé en physique.



C61 — [trc] — transformation, concepts

2.1.7. Énergie de transformation

Dans la première partie exploratoire, nous avons relevé que le modèle de particules élémentaires s'appuie sur trois grandeurs, la *masse*, la *charge* et le *spin*[171]. Nous envisageons l'hypothèse que ces trois grandeurs soient relatives aux trois *attracteurs*. Ainsi, nous appelons *énergie de masse* l'énergie associée à l'*attracteur multiple* et la notons **E_m**. Elle se manifeste à une échelle que nous qualifions de *macro*. Sa forme est *gravitationnelle.* L'attraction gravitationnelle présente différents effets, en particulier l'*agrégation*, qui s'applique à une multitude de corps célestes, et la *fragmentation*, lorsque les corps structurés se rencontrent. De même, nous appelons *énergie de charge* l'énergie associée à l'*attracteur unique* et la notons **E_c**. Elle se manifeste à une échelle que nous qualifions de *méso*. Sa forme est *électromagnétique*. A l'*attraction*, elle ajoute un effet inverse avec la *répulsion* et présente différents effets, en particulier la *composition* et la *diversification*. Enfin, nous appelons *énergie de spin* l'énergie associée à l'*attracteur organisationnel* et la notons **E_s**. Elle se manifeste à une échelle que nous qualifions de *micro.* Sa forme est considérée comme *stochastique*. Précisons que ce troisième concept n'est pas académique car en physique quantique, le *spin* est une propriété des particules et n'est pas considéré comme une énergie. Notons également que ce choix de trois échelles pose la question du passage d'une échelle à l'autre, et donc des *seuils*, que nous abordons partiellement dans le design du modèle d'organisation. La carte [*E*] illustre cette hypothèse exploratoire. Pour calculer l'énergie totale de transformation **E** nous faisons alors l'hypothèse qu'elle s'obtient par la somme de trois énergies, soit la formule : **$E = E_m + E_c + E_s$**



C62 — [tE] — transformation, énergie

Un autre rapprochement avec la physique est établi avec le *cycle de transformation*.

171. Dans l'histoire des sciences, elles furent formulées dans cet ordre, la première par Isaac Newton dans son ouvrage de 1687, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, la seconde avec les lois de l'électromagnétisme par une série de savants, de même que la troisième, avec la physique quantique.

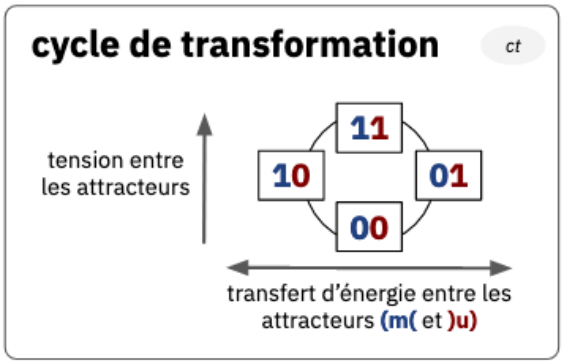
2.1.8. Cycle de transformation

En limitant l'étude aux deux attracteurs énantiologiques, *unique* et *multiple*, et en quantifiant l'activité de ces deux attracteurs, nous sommes en mesure de modéliser un **cycle de transformation**. Pour ce faire, nous considérons simplement deux états, inactif (valeur 0) et actif (valeur 1). Nous obtenons par la logique combinatoire 4 états de transformation, représentés dans le tableau T22.

T22 — Table de valeurs des attracteurs énantiologiques

Table des valeurs du couple d'attracteurs **(m( )u)**		*valeur de* **)u)** *attracteur unique*	
		0	**1**
valeur de **(m(** *attracteur multiple*	**0**	**0 0**	**0 1**
	1	**1 0**	**1 1**

Ce formalisme nous permet de modéliser un cycle de transformation, comme illustré sur la carte [*ct*] : sur l'axe vertical la tension varie en fonction de l'activité des attracteurs, l'axe horizontal représente le transfert d'énergie entre les deux attracteurs. Le tableau T23 complète le tableau de comparaison de Roddier entre le cycle de Carnot, le cycle convectif et le cycle des saisons (Roddier, 2018:89) proposant une correspondance avec ces états de transformation.



C63 — [ct] — cycle de transformation

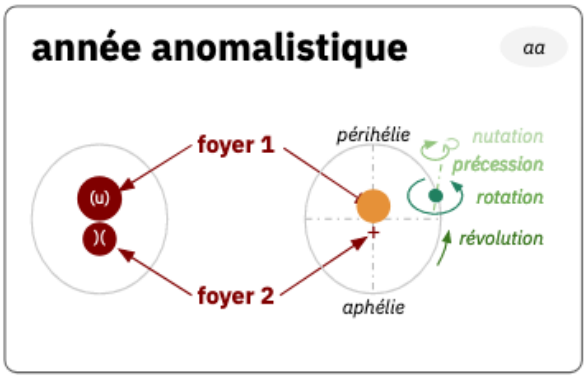
T23 — Interprétations du cycle thermodynamique

Cycle de Carnot	*Cycle convectif*	*Cycle des saisons*	*états*
Expansion isotherme	Réchauffement	Hiver (germination)	**00**
Expansion isentropique	Ascension (expansion)	Printemps (croissance)	**01**
Compression isotherme	Refroidissement	Été (apogée ou climax)	**11**
Compression isentropique	Descente (compression)	Automne (régression)	**10**

Cette interprétation illustre un autre des potentiels de la modélisation des transformations avec trois attracteurs. Nous esquissons dans l'encadré E30 une hypothèse complémentaire à celle du cycle des saisons sur l'usage des attracteurs dans la modélisation de l'**année anomalistique**.

E30 — Modélisation de l'année anomalistique

La trajectoire de la Terre est modélisée par la combinaison d'une révolution autour du soleil sur une orbite elliptique avec une rotation sur elle-même ainsi qu'une précession de son axe de rotation incliné d'environ 23° (la précession désigne le changement graduel d'orientation de l'axe de rotation) auquel s'ajoute la nutation, mouvement périodique de l'axe de rotation autour de sa position moyenne résultant de l'attraction conjuguée du Soleil et de la Lune. Ces différents mouvements amènent à considérer différentes années : sidérale, tropique, anomalistique, en fonction du repère choisi. Nous considérons simplement l'*année anomalistique*, temps de retour à la **périhélie**[172]. Le Soleil se trouve à l'un des deux foyers de la trajectoire elliptique que suit la Terre. Nous proposons une interprétation dans laquelle l'*attracteur unique* centripète **)u(** se concrétise par ses deux composantes, le plein **(u)** et le vide **)(**, positionnées aux deux foyers, comme l'illustre la carte [*aa*]. Cette configuration évoque l'ellipse du jardinier[173]. Cette représentation peut sembler anecdotique, elle ouvre cependant la voie à la formulation de la loi universelle de la gravitation dans un autre paradigme, en répartissant l'attraction liée à la masse d'un corps, le Soleil mais également la Terre, qui présente aussi une forme ellipsoïdale, en deux composantes. Pour compléter, signalons qu'il existe



C64 — [aa] — année anomalistique

172. Point de l'orbite d'une planète du système solaire ou d'une comète quand celle-ci se trouve le plus près du soleil.
173. Cf. https://irem.univ-lille1.fr/spip.php?article272

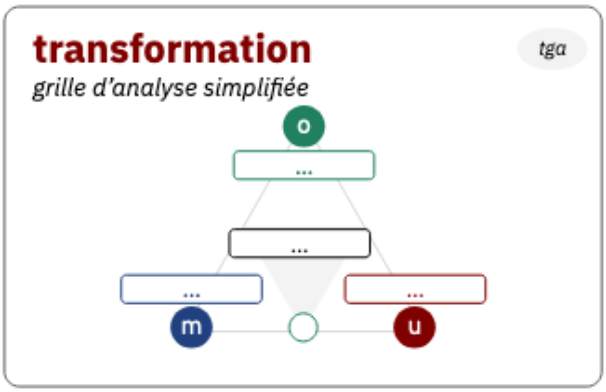
plusieurs modèles de gravité bi-métrique cherchant à dépasser les limites du modèle standard de la cosmologie, le modèle standard ΛCDM. Ces modèles se regroupent en deux ensembles. Le premier introduit un deuxième tenseur métrique dans les calculs pour les états élevés de densité d'énergie (Rosen, 1940). Le second modélise deux univers liés, selon deux temporalités différentes : à l'origine (Sakharov, 1967) ou en permanence dans le *modèle Janus* qui introduit le concept de masse négative[174]. Soumis à la critique scientifique (Damour, 2019) ce dernier modèle se corrige et s'affine (Petit et al., 2019). Ne disposant pas de toutes les connaissances scientifiques nécessaires dans cette discipline pour évaluer la pertinence de l'analogie, nous laissons ouvert ce sujet d'étude.

Le *cycle de transformation* n'a été abordé qu'en considérant deux attracteurs, c'est-à-dire en considérant l'effet de l'*attracteur organisationnel* comme négligeable. Nous le prenons en compte dans le modèle sur l'organisation. Dès à présent, dans son état de développement actuel, le modèle R1 autorise des applications pratiques, à partir d'une *grille d'analyse des transformations*.

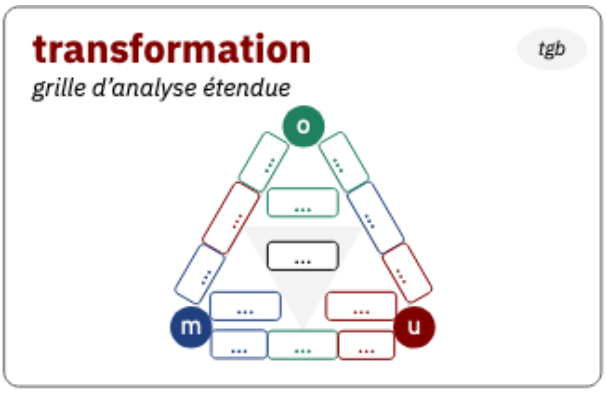
2.1.9. Grille d'analyse des transformations

La *grille d'analyse des transformations* que nous proposons se présente sous la forme d'un triangle équilatéral dont chacun des sommets porte un attracteur. Son usage est le suivant : pour un sujet donné, indiqué au centre, nous relevons l'influence de chacun des trois attracteurs, notée aux trois angles du triangle. Une seconde version, étendue, mentionne sur chacun des côtés du triangle, subdivisés en trois parties, les *tensions* et *écarts* associés. Les cartes [*tga*] et [*tgb*] présentent les deux versions de cette grille. La carte [*st*] illustre un premier exemple d'usage de la grille simplifiée, positionnant trois descripteurs clés d'un système en transformation, en fonction de l'influence des trois *attracteurs*.

174. Pour une synthèse, cf. http://januscosmologicalmodel.com/

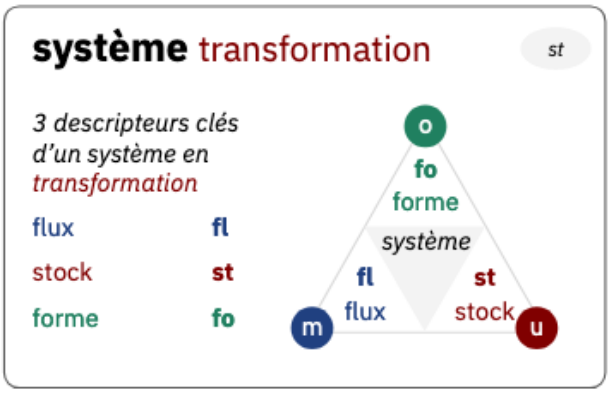


C65 — [tga] — transformation, grille simplifiée

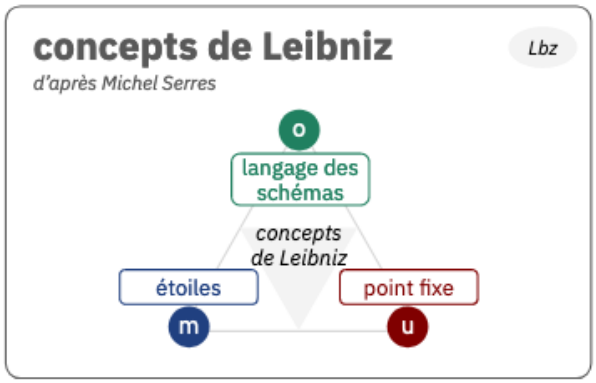


C66 — [tgb] — transformation, grille étendue

Aux deux premiers attracteurs, multiple et unique, nous associons ainsi respectivement les notions de **flux** et de **stock**. Flux et stock sont l'emblème de la « *société liquide* » (Bauman, 1998) et du capitalisme, le capital étant un stock de biens ou de richesses nécessaires à une production. Au troisième attracteur, organisationnel, nous associons celle de **forme**, « *qui revient aujourd'hui comme concept opératoire et explicatif dans l'étude des systèmes dynamique ou dans celle de l'embryogenèse par exemple.* » (Chazal, 1997) Celle-ci varie en fonction des deux premiers, les influençant en retour. On notera également que notre modélisation n'est pas sans évoquer la thèse du philosophe Michel Serres sur *Le système de Leibniz et ses modèles mathématiques* (Serres, 1968) : la première partie « *étoiles* » est consacrée aux multiplicités, représentative, historiques et monadiques; la deuxième partie « *Le langage des schémas* » explore une « *mathématique sagittale* » (théorie des schémas, des graphes...) ainsi que les « *tables harmoniques* » (logique, combinatoire...); la troisième partie « *le point fixe* » est centré sur la quête d'un



C 67 — [st] — transformation, système



C68 — [Lbz] — concepts de Leibniz

référentiel. La carte [*Lbz*] positionne ces concepts de Leibniz dans la grille d'analyse.

D'autres usages de ces grilles sont présentés dans les sections suivantes ainsi que dans la troisième partie.

2.1.10. Conclusion (R1)

La construction de ce premier modèle de représentation a été itérative. Dans la mesure du possible, chacune des versions a été confrontée à des cas d'application divers, utilisée pour analyser des situations de transformation, mais également présentée à un public peu nombreux mais qualifié. Le choix des termes, des symboles et des couleurs a ainsi évolué à plusieurs reprises pour combler des oublis, corriger des anomalies, améliorer la cohérence, simplifier la présentation, et ainsi faciliter la compréhension. Dès leur mise en évidence, les trois attracteurs ont servi de socle, mais le développement de chaque nouveau concept a néanmoins fait évoluer le modèle. Ce cheminement est comparable au déroulement d'un usinage, qui se décompose traditionnellement en trois phases : l'ébauche, la semi-finition et la finition. Chacune apporte un niveau de précision supplémentaire, mais est consommatrice de temps, la dernière phase étant de loin la plus longue. L'usage des cartes a été particulièrement fructueux facilitant la manipulation. Nous en avons produit de trois tailles : la première au format carte de visite[175] focalise sur des notions élémentaires et se visualise facilement sur l'écran d'un smartphone ; la seconde est utilisée pour des synthèses et une impression papier dans un format permettant un massicotage sans perte[176] ; la troisième est au format carte à jouer[177] Pour concevoir des dispositifs d'apprentissage. Par rapprochement, croisement et comparaison, ces différentes cartes ont permis d'ajuster la modélisation et de corriger progressivement de nombreux manques ou imprécisions. Invariablement certaines nous auront échappé, nous ne manquerons donc pas de poursuivre et affiner ce travail. Au cœur de notre modélisation, cette première représentation est en étroite corrélation avec le design d'un modèle d'organisation.

175. Format carte de visite (54 mm x 85 mm), standard ID-1, norme ISO/CEI 7810
176. Format B5 (176 mm x 250 mm), norme internationale ISO 216 (ICS no 85.080.10)
177. Format carte à jouer (75mm x 140 mm)

2.2. Design d'un modèle de l'organisation (R2)

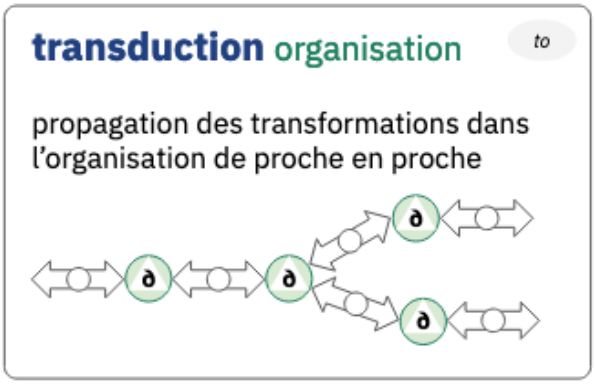
2.2.0. Introduction (R2)

Le design d'un modèle de l'organisation s'appuie entièrement sur le design du modèle de transformation. Nous reprenons en particulier les codes couleurs associés aux trois attracteurs. Inspiré du fonctionnement du vivant, nous présentons trois processus essentiels de l'organisation ainsi que trois propriétés. Nous précisons de nouveaux concepts dont le principal est celui de boucle organisationnelle d'interaction, qui se décline en trois types de boucles élémentaires. A partir du processus central de couplage de ces boucles, nous définissons un modèle d'organisation ternaire, en corrélation avec celui de la transformation, composé de deux espaces et d'un centre. Nous distinguons enfin huit phases de l'organisation. Ce modèle a été construit par itération. Son application à l'un de nos résultats de recherche nous a conduit à le prolonger pour préciser le concept de champ organisationnel et celui de cycle de vie.

2.2.1. Processus d'organisation

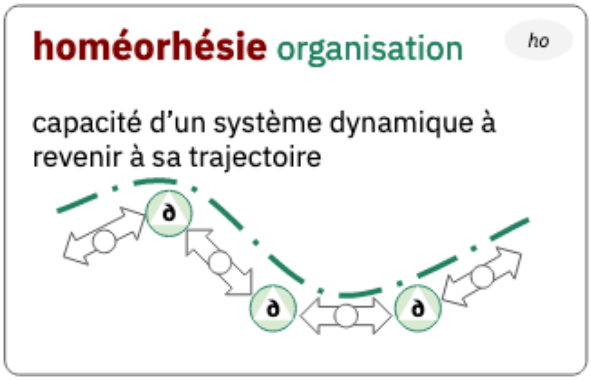
Pour introduire le concept d'organisation, nous partons des processus de transformation, donc des trois *attracteurs*, du *champ de transformation* qu'ils génèrent, des concepts de *tension* et d'*opérateur* précédemment définis. Nous considérons pour commencer l'enchaînement et la propagation de ces tensions, faisant ainsi référence au concept de **transduction**. Ce terme est emprunté au philosophe Gilbert Simondon. La transduction se définit comme « *une opération physique, biologique, mentale, sociale, par laquelle une activité se propage de proche en proche à l'intérieur d'un domaine, en fondant cette propagation sur une structuration du domaine opérée de place en place* » (ILFI, p. 32). L'emploi en psychologie qu'en faisait Piaget, – « *Mode de raisonnement de l'enfant qui précède l'induction et la déduction et par lequel il tire une conclusion par analogie, par identité, par différence* » comme nous le rappelle le CNRTL – est donc étendu pour s'appliquer de la physique jusqu'à la neuro-biologie. Il désigne ainsi le processus d'individuation du réel lui-même. Précisons que d'après l'influence des trois

attracteurs, multiple, unique et organisationnel, la chaîne de propagation peut respectivement diverger, converger ou boucler sur elle-même. Ce processus de transduction caractérise un système dynamique. Il est illustré par la carte [*to*].



C69 — [to] — transduction

Nous considérons à présent la stabilité de ce processus en convoquant le concept de **homéorhésie** (Waddington, 1961; Piaget, Margulis), terme à rapprocher de celui d'*homéostasie*, les deux étant dérivés du grec signifiant respectivement « *état similaire* » et « *flux similaire* ». Initialement défini par Claude Bernard dans son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1865), le concept d'*homéostasie* désigne la capacité d'un système dynamique à maintenir son équilibre. Issue de la biologie, cette notion s'est aujourd'hui généralisée à la science des systèmes. Il est à rapprocher du concept de **résilience**, utilisé en mécanique et en psychologie, capacité d'un système à revenir à son état initial après un choc. Le concept d'*homéorhésie* désigne la capacité d'un système dynamique à suivre une trajectoire malgré les perturbations. Waddington précise : « *On emploie le mot homéorhésie pour indiquer la stabilisation, non pas d'une constante, mais d'une voie de changement particulière au cours du temps. Si un événement vient modifier le système homéorhétique, les mécanismes de contrôle ne le remettent pas au point où la modification est apparue; mais à celui qu'il aurait atteint peu après.* » (Waddington, 1975) Il est à rapprocher des concepts de *chréode* (cf. § 1.1.3) et d'inertie en physique. La carte [*ho*] illustre ce processus. La chaîne linéaire des opérations présentant la propriété de pouvoir boucler sur elle-même, nous abordons le concept de boucle, avant le processus d'organisation.



C70 — [ho] — homéorhésie

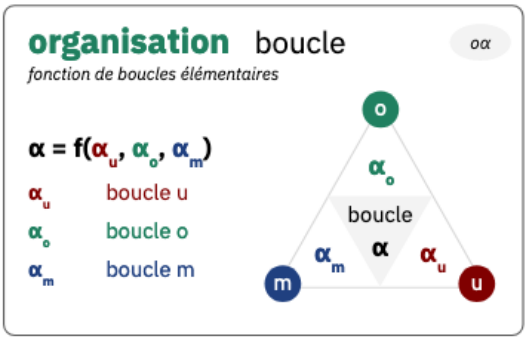
2.2.2. Boucle d'organisation

Nous privilégions le terme de **boucle** pour exprimer une des caractéristiques essentielles de l'organisation. Dans son sens courant, une boucle désigne un « objet en forme d'anneau ouvert ou fermé ». La boucle sert potentiellement de support à un *cycle*. Les boucles sont multiples et enchevêtrées (Morin, 1977:60). Les premières boucles, dans le domaine du non-vivant, dérivent des lois physiques. Du point de vue de la terre, les deux principaux sont le cycle des saisons (rotation autour du soleil) et le cycle jour-nuit (rotation sur elle-même). Il existe néanmoins d'autres cycles dont l'influence est variable : cycle de la lune, précession (changement graduel d'orientation de l'axe de rotation de la terre). Tout corps céleste, quelque soit sa taille et sa distance est susceptible d'exercer une influence, et donc d'affecter la régularité d'un cycle. Ces influences sont généralement considérées comme négligeables sauf pour des mesures astronomiques précises. Par sa nature dynamique, nous considérons donc le concept de boucle au cœur du principe d'organisation. Le concept de boucle est sollicité en systémique avec le concept de rétroaction (feedback), dont la figure emblématique est le régulateur à boules de Watt. La rétro-causalité intervient également dans l'évolution de l'objet technique au niveau de la tripartition « élément/individu/ensemble » via la *Loi de relaxation* (Simondon, 2012:81). Dans le domaine du vivant, ce phénomène se retrouve également à différents niveaux : par exemple, à un niveau élémentaire de la modélisation du vivant avec le *principe d'auto-association stabilisatrice* (PAAS) défini par Gilbert Chauvet (2006), mais également au niveau de l'auto-genèse de l'organisme, avec le principe de *clôture opérationnelle* défini par Varela.

Dans notre modélisation de la représentation de l'organisation, nous considérons que l'organisation résulte d'une combinaison de boucles qui forment un maillage. Au plus bas niveau, nous définissons des boucles élémentaires en relation avec les attracteurs. Ces deux concepts sont antinomiques : l'attracteur est global du point de vue spatial, et permanent du point de vue temporel, la boucle est locale du point de vue spatial et intermittente du point de vue temporel. Ainsi la notion d'attracteur serait avant tout d'ordre spatial, et celle d'organisation d'ordre temporel. La clôture

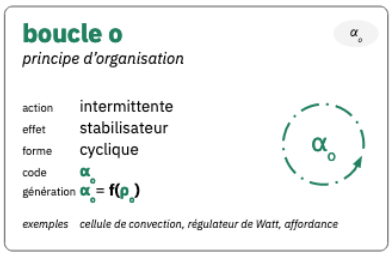
de la chaîne des tensions constitue un événement et la répétition du cycle dans la boucle détermine une fréquence. Un exemple en est donné avec la musique concrète, qui en a exploré une des formes perceptives, sur le canal auditif. Le principe du *sillon fermé*, expérimenté par Pierre Schaeffer, construit ainsi un *objet sonore*. Nous avons utilisé le symbole infini **∞** pour l'attracteur, nous utilisons le symbole alpha **α** pour représenter la boucle. Ces deux symboles sont graphiquement proches : l'alpha s'obtient par troncature de l'infini. Nous précisons ci-après chacune des trois boucles élémentaires qui prennent pour origine chacun des trois attracteurs. La carte [*oα*] illustre cette construction.

En relation directe avec les trois attracteurs de transformation, ∞_u, ∞_m et ∞_o, nous définissons trois boucles représentatives des principes élémentaires d'organisation, les boucles **u**, **m** et **o** notées respectivement α_u, α_m et α_o. Leur code couleur est identique à celui de leur attracteur en correspondance.

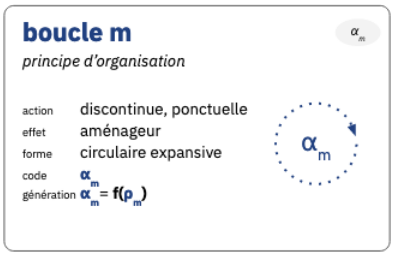


C71 — [oα] — boucle

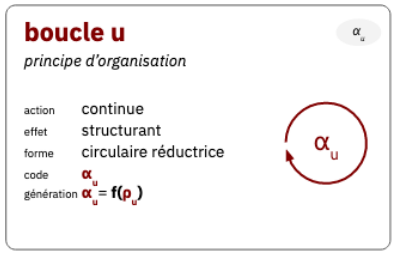
Comme pour les attracteurs, nous associons à chacune une action, une forme et un effet. Ainsi la boucle α_u est d'action continue, de forme réductrice et a un effet structurant. A l'inverse, la boucle α_m est d'action discontinue, de forme expansive avec un effet que l'on peut qualifier d'aménageur[178]. Quant à la boucle α_o, elle est d'action intermittente, de forme variable, pour produire un effet stabilisateur. Les cartes [α_o], [α_m] et [α_u] illustrent ces trois principes.



C72 — [αo] — boucle o



C73 — [αm] — boucle m

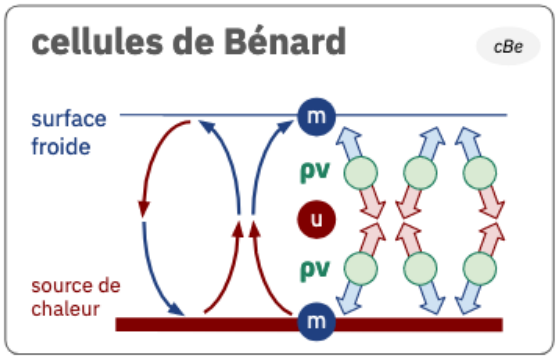


C74 — [αu] — boucle u

178. Dans le sens « *équiper en vue d'un certain type d'exploitation* » (CNRTL)

Chacune de ces boucles résulte de l'enchaînement de tensions de différentes natures mais dont la dominante définie le type de boucle : ρ_o pour α_o, ρ_m pour α_m et ρ_u pour α_u. Ces boucles s'expriment à différents niveaux pour sous-tendre des processus dans des domaines variés. Nous en donnons quatre exemples, deux en physique avec les *cellules de Bénard* et le *régulateur à boules* de James Watt, et deux en psychologie avec le processus d'accommodation-assimilation de Piaget et le concept d'affordance de Gibson (2014).

Exemple 1 : En physique, nous considérons que la boucle α_o sous-tend les cellules de convection, également appelées **cellules de Bénard** du nom d'Henri Bénard physicien français qui les a observées et décrites. Ces cellules illustrent la théorie des systèmes dissipatifs, et trouvent leur application en météorologie ou astrophysique. Elles apparaissent spontanément dans un liquide quand on lui applique une source de chaleur extérieure. Elles sont fortement sensibles aux conditions initiales au moment de leur formation, mais de petites perturbations ne modifient pas le sens de rotation des cellules formées. Cet effet d'inertie leur confère donc une forme de mémoire. La carte [*cBe*] représente ce phénomène. Dans notre représentation, les surfaces chaude et froide sont le siège de deux attracteurs multiples. Entre les deux nous positionnons l'attracteur unique. Le mouvement ascendant enchaîne ainsi deux tensions, de sens inverse, et il en est de même pour le mouvement descendant. La représentation classique des flèches des cellules de convection attribue la couleur rouge à la zone chaude, en bas, et bleue à la zone froide en haut. Notre représentation décompose les cellules en quatre, en corrélant la couleur des flèches à celle de l'attracteur agissant, en conservant uniquement le code couleur entre chaud et froid pour les surfaces.



C75 — [cBe] — cellules de Bénard

Exemple 2 : Le **régulateur à boules** de James Watt précédemment évoqué se représente également à l'aide de cette même *boucle o*. Il combine *force centrifuge* due à la rotation et *force centripète* dérivée de la force gravitationnelle, soit l'action des deux attracteurs *multiple* et *unique*.

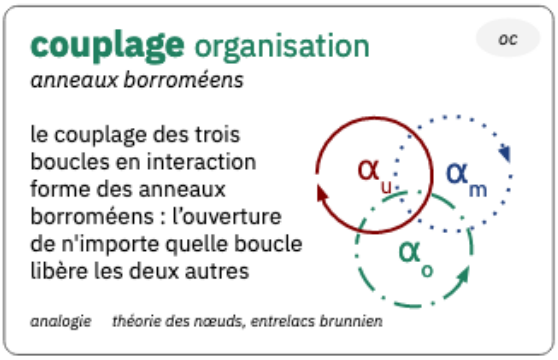
Exemple 3 : En psychologie, nous faisons référence aux recherches de Jean Piaget présentées sur le site de la fondation : « *L'**assimilation** est le processus par lequel une réalité extérieure est intégrée à un schème. Pour Piaget, le processus d'assimilation est la condition de toute appréhension, par les systèmes cognitifs ou les schèmes, des réalités auxquelles ils sont confrontés ou avec lesquelles ils entrent en interaction*. »[179] « *L'**accommodation** est l'activité par laquelle un organisme ou un schème est modifié ou se transforme en vue de s'ajuster à un milieu ou à un objet. En ce sens, elle résulte forcément d'une activité préalable ou d'un début d'assimilation de ce milieu ou de cet objet par l'organisme ou par le schème, activité qui ne peut alors aboutir sans une telle accommodation*. »[180] Les deux processus sont liés : « *Mais de même qu'il n'y a pas d'assimilation sans accommodation (antérieures ou actuelles), de même il n'y a pas d'accommodation sans assimilation.* » (Piaget, 25) En première approximation, nous les modélisons par la *boucle i* pour l'*assimilation* et la *boucle o* pour l'*accommodation*.

Exemple 4 : Pareillement, nous associons la *boucle o* aux propriétés d'***affordance*** dont l'origine est le verbe anglais « *to afford* » comporte un double sens : le premier sens « *offrir* » exprime une tension entre les attracteurs *unique* et *multiple*, le second « *être en mesure de faire quelque chose* » la tension inverse. Au niveau cognitif, l'alternance entre déduction et induction dans la pensée critique pourrait également être représentée par cette boucle. Ces différents exemples illustrent le maillage des boucles. Nous le précisons en introduisant un troisième processus d'organisation, suite à la *propagation* et l'*homéorhésie*, celui de *couplage*.

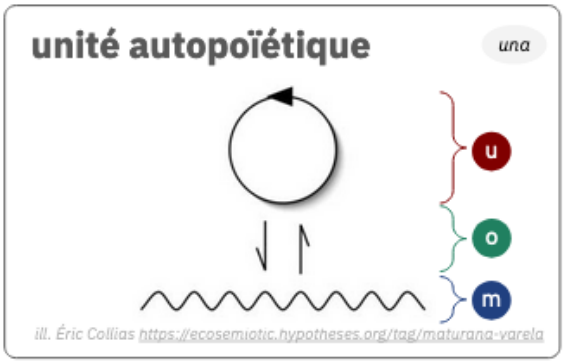
179. http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/presentation/index_notion.php?NOTIONID=36
180. http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/oeuvre/index_notions_nuage.php?NOTIONID=16

2.2.3. Couplage

Pour présenter cette notion de **couplage**, nous commençons par emprunter le terme d'**entrelacs** à la théorie des nœuds en considérant plus particulièrement l'entrelacs brunnien. Rappelons que la *théorie des nœuds* est une branche des mathématiques, plus particulièrement de la géométrie et topologie algébrique. Un nœud mathématique est le plongement d'un cercle dans l'espace euclidien de dimension trois, considéré à des déformations continues près. Il est donc obligatoirement fermé, formant une boucle. Il est dénoué en coupant la boucle. Un entrelacs brunnien est un assemblage de boucles en nombre variable tel que l'ouverture d'une boucle libère toutes les autres. L'entrelacs brunnien le plus connu est le nœud borroméen, composé de trois boucles. Le concept du nœud borroméen nous permet ainsi de construire une première représentation de l'organisation, illustrée par la carte [*oc*]. L'entrelacs traduit la non séparabilité. Principe de la quantique elle s'applique également au vivant à travers les théories de l'autopoïèse – cf. encadré E25 – et de l'énaction de Francisco Varela et Humberto Maturana (1992). L'unité autopoïétique qui traduit un couplage avec l'environnement se modélise avec les trois attracteurs : l'entité et son environnement sont dans le rapport de l'unique au multiple, le couplage est organisationnel, comme l'illustre la carte [*una*]. Le niveau d'ordre attribué au couplage structurel par Varela dépend du niveau de complexité de l'entité considérée. Un couplage structurel de premier ordre traduit simplement la relation entre l'organisation et son environnement. Le couplage de deuxième ordre correspond au couplage entre l'organisation et son système nerveux. Le

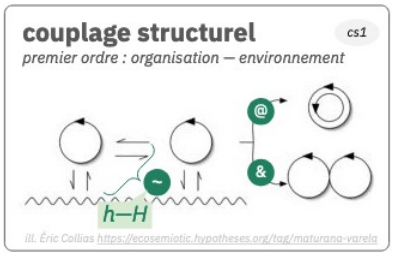


C76 — [oc] — couplage, organisation

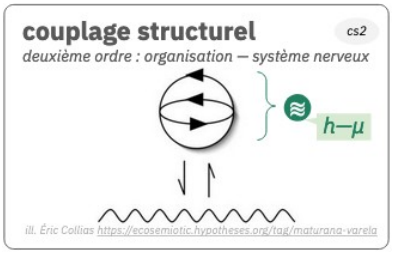


C77 — [una] — unité autopoïétique

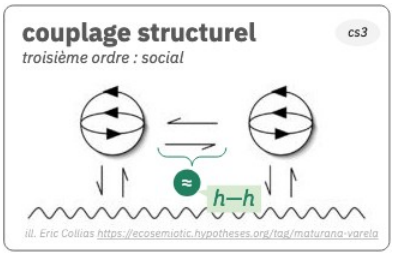
couplage de troisième ordre y ajoute l'interaction sociale. Ces trois formes sont illustrées par les cartes [*cs1*], [*cs2*] et [*cs3*].[181]



C78 — [cs1] — premier ordre



C79 — [cs1] — deuxième ordre



C80 — [cs1] — troisième ordre

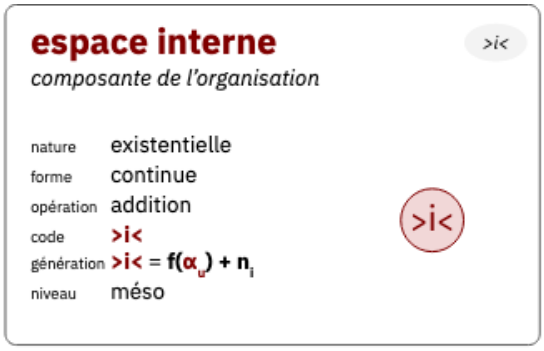
Le rapport entre le sujet et l'objet artefactuel est également de l'ordre de l'autopoïèse « *car l'un et l'autre se co-construisent ensemble par autopoïèse au sein d'un milieu où les boucles récursives et les couplages structurels sont incessants : l'interaction est permanente et inextricable.* » (Leleu-Merviel et al., 2018:2) Le couplage est aussi à l'origine du phénomène de résonance, que nous développerons dans le § 3.1.2.4. Les assemblages de boucles en entrelacs sont ainsi d'une grande variété. En considérant l'influence omniprésente des attracteurs, nous distinguons trois configurations, modélisation de trois composantes de l'organisation.

181. Ces cartes illustrent également un degré de résonance, qui est fonction du rapport d'échelle des entités couplées

2.2.4. Composantes de l'organisation : deux espaces et un centre

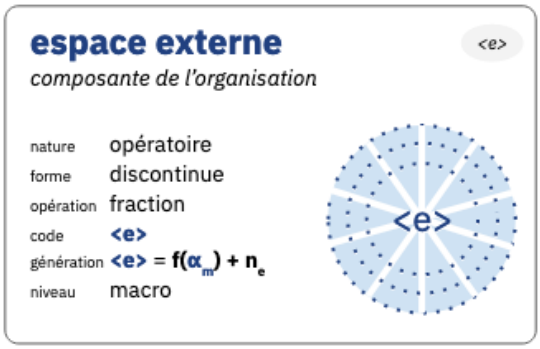
Nous appelons les trois composantes de l'organisation, *espace interne*, *espace externe* et *centre organisateur*, en leur attribuant les mêmes couleurs que celles des attracteurs auxquels ils font directement référence. Comme les attracteurs, ces trois composantes sont indissociables couplées en un nœud borroméen. Les deux premières sont de nature matérielle, contrairement à la troisième. Nous les modélisons cependant avec des caractéristiques communes en distinguant leur forme, leur effet qui est également leur fondement, leur mode de génération et l'opération associée. Nous leur attribuons également un code et un niveau.

L'**espace interne** est de forme *continue*, ce qui facilite sa perception. Sa nature est *existentielle*, qu'elle soit matérielle ou immatérielle. Dans le premier cas, il est assimilé à un objet ou un corps, qui délimite un *milieu interne*. Il est associé aux *boucles u*. Son processus d'engendrement est l'*addition*. Nous le situons au niveau *méso*, et lui attribuons le code **>i<**, lui associant la formule **>i<** = f(α_u)+ n_i, la variable n_i désignant les termes de la relation avec les autres composantes de l'organisation. Le choix des chevrons resserrés exprime la contrainte fixée par les limites de l'objet. La carte [>*i*<] résume ses propriétés.



C81 — [>i<] — espace interne

L'**espace externe** est de forme *discontinue*. Sa nature est *opératoire*, qu'elle soit matérielle ou immatérielle. Il est assimilé à l'environnement de l'objet, son espace d'interaction. Il est associé aux *boucles m*. Son processus d'engendrement est le *fractionnement.* Nous le situons au niveau *macro*, car il est de taille supérieure à celle de l'espace interne, et lui attribuons le code **<e>**.

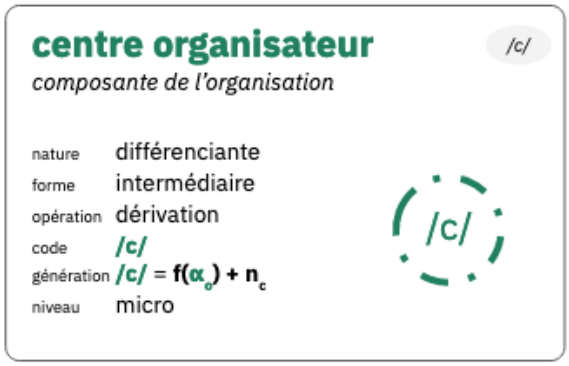


C82 — [<e>] — espace externe

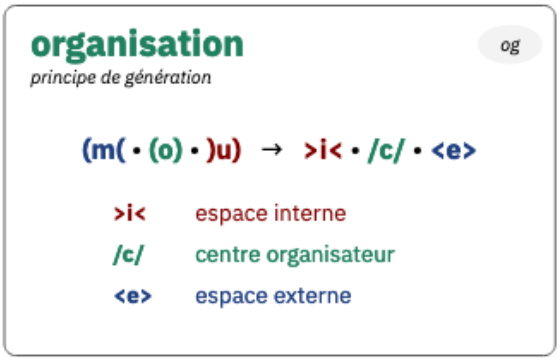
La formule associée est **<e>** = f(α_m) + n_e, la variable n_e désignant les termes de la

relation avec les autres composantes de l'organisation. Le choix des chevrons dans le sens classique évoque le langage de balisage et le cadre d'interactions, également fixé par les limites de l'objet. La carte [*<e>*] résume ses propriétés.

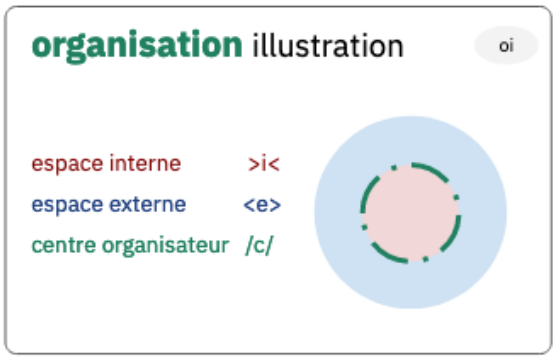
Le **centre organisateur** est une construction abstraite. A l'image du *centre de gravité*, point d'application de la résultante des forces de gravité, il est le point d'application de la résultant des forces organisationnelles. Il est de forme *médiane*. entre l'espace interne qui définit l'existence de l'objet et l'espace externe qui délimite son champ opératoire. Son effet est différenciant. De l'observation de la nature nous constatons qu'il n'existe pas deux formes organisationnelles identiques, quelles que soient les échelles. Son processus d'engendrement est la *dérivation.* Il est associé aux *boucles o*. Nous le situons au niveau *micro*, et lui attribuons le code **/c/**. La formule associée est **/c/** = f(**α_o**) + **n_o**, la variable n_o désignant les termes de la relation avec les autres composantes de l'organisation. Le choix des obliques exprime l'alternative, dont nous allons préciser les variantes, que nous appelons *régime*. Ce symbole est utilisé dans des expressions telles que « et/ou ». La carte [*/c/*] résume ces propriétés, sur le modèle des deux précédentes. L'organisation est ainsi modélisée comme la résultante de l'interaction des trois attracteurs de transformation. La carte [*og*] récapitule ce processus de génération et



C83 — [/c/] — centre organisateur



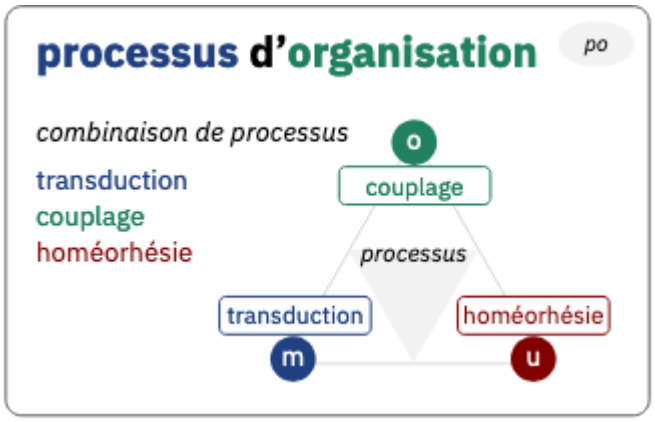
C84 — [og] — organisation



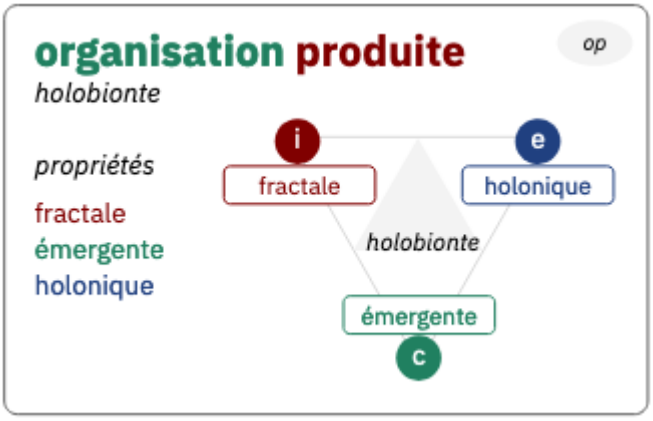
C85 — [oi] — organisation, illustration

la carte [*oi*] en propose une illustration simplifiée. Cette dernière illustration nous amène à établir, dans l'encadré E31, un parallèle avec le concept de *proxémie* de l'anthropologue américain Edward T. Hall. Ce spécialiste de l'interculturel a participé à l'école de Palo Alto, fondée par Gregory Bateson. Réunissant des auteurs de disciplines différentes, ce courant de pensée a contribué à l'origine des sciences de l'information et de la communication.

Les trois processus d'organisation qui résultent des attracteurs de transformation sont illustrés par la carte [*po*]. L'organisation est modélisée par trois composants. Sur le même principe, nous relions ces trois composantes à trois propriétés de l'organisation. Nous les illustrons par un triangle inversée, sur sa pointe, comme l'illustre la carte [*op*]. Nous présentons chacune de ces propriétés.



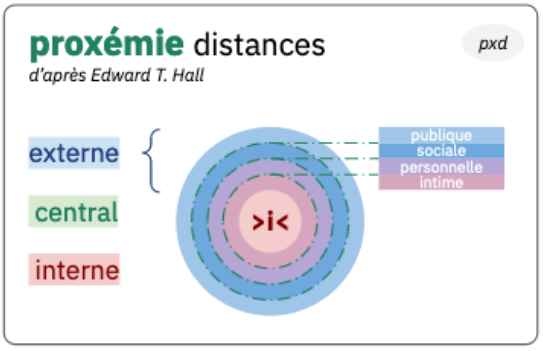
C86 — [po] — processus d'organisation



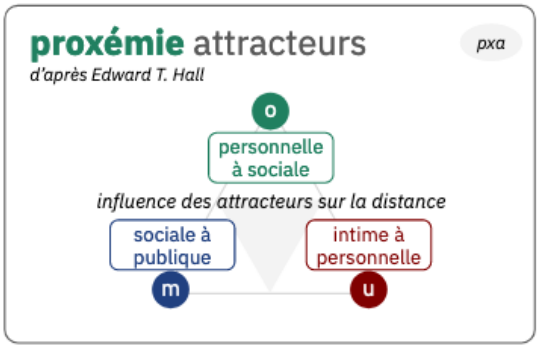
C87 — [op] — organisation produite

E31 — La proxémie, d'après Edward T. Hall

La **proxémie** désigne « *l'ensemble des observations et théories concernant l'usage que l'homme fait de l'espace en tant que produit culturel spécifique.* » (Hall, 1971:13). L'anthropologue distingue quatre distances proxémiques : la *distance intime* (*ibid.*, p.148), la *distance personnelle* (*ibid.*, p.150), la *distance sociale* (*ibid.*, p.152) et la *distance publique* (*ibid.*, p.155). Ces distances sont variables en fonction des cultures. Dans notre modélisation ces quatre distances s'interprètent comme la structuration de l'*espace externe* par le *centre organisateur* qui découpe ce dernier en quatre zones de largeur variable en fonction des individus et de leur culture. La carte [*pxd*] illustre cette répartition. Ces divisions en quatre zones délimitent 3 frontières, entre la *distance intime* et la *distance personnelle*, entre la *distance personnelle* et la *distance sociale* et entre *distance sociale* et la *distance publique*. Nous proposons une interprétation de ces trois frontières à partir de l'influence des trois attracteurs de transformation comme illustré par la carte [*pxa*].



C88 — [pxd] — proxémie, distances

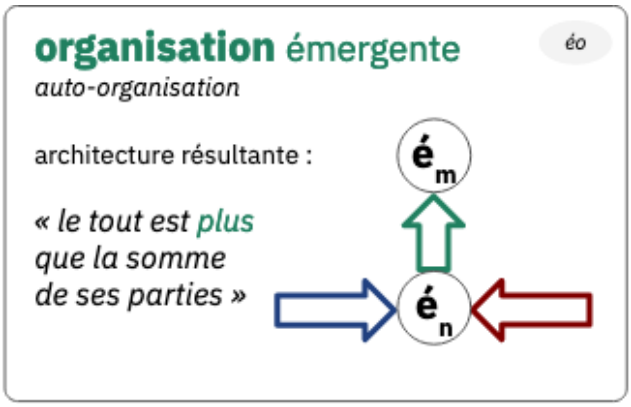


C89 — [pxa] — proxémie, attracteurs

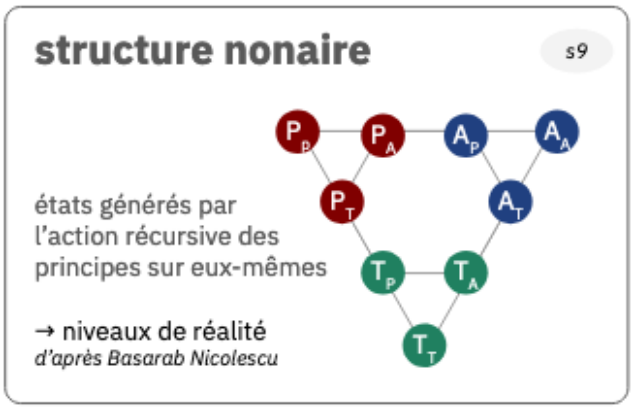
2.2.5. Propriétés de l'organisation

Si l'action d'organiser est parfois déclenchée par une organisation externe à celle qui la produit, les organisations vivantes répondent également à un principe d'auto-organisation, qui est scientifiquement expliquée par le phénomène d'émergence. C'est la première propriété que nous attribuons à l'organisation. Selon notre interprétation de l'architecture, cf. encadré E1. Cette propriété peut s'exprimer ainsi : « *le tout est plus que la somme de ses parties*. »

Cette propriété est illustrée par la carte [*éo*] à rapprocher des carte [*én*] et [*ém*], cf. § 2.1.1., en s'appuyant sur la logique de l'énergie de Lupasco. Or, comme le signalait le physicien Basarab Nicolescu en s'appuyant sur les travaux de son compatriote, tous deux étant d'origine roumaine, « *la structure logique ternaire de la réalité entraîne donc une structure nonaire de tout processus de la réalité : le trois manifeste sa puissance plénière en se manifestant en neuf* ». Il précisait juste avant « *à partir de ces neuf termes, on peut définir une infinité d'autres termes, correspondant à un principe donné qui se trouve dans un état complexe, résultant d'un enchaînement quelconque d'états T, A et P.* » (Nicolescu, 2009:129). La carte [*s9*] illustre le principe nonaire.



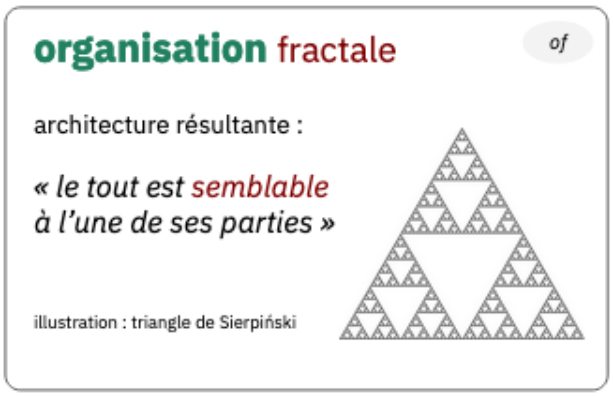
C90 — [éo] — organisation émergente



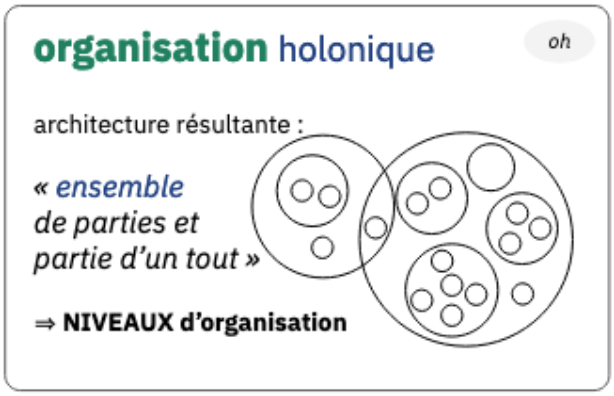
C91 — [s9] — structure nonaire

Du fait de la répétition de ces mêmes processus, nous qualifions l'organisation de nature *fractale* (Mandelbrot, 1975), terme créé à partir de la racine latine *fractus*, qui signifie « brisé », « irrégulier ». La fractalité définit une architecture qui présente la caractéristique suivante : « *le tout est semblable à l'une de ses parties* ».

La carte [*of*] illustre le principe de fractalité. La troisième propriété traduit le rapport *méréologique* — la **méréologie** décrit la relation entre le tout et ses parties — qui se modélise avec la figure du *holon* (Koestler, 1967). Le holon (du grec ὅλον, « en entier ») désigne une entité qui est à la fois « *ensemble de parties et partie d'un tout.* ». La fractalité de l'organisation nous amène ainsi à considérer, à partir d'un niveau donné, un niveau inférieur, les constituants qui la composent, et un niveau supérieur, les organisations dont elle fait elle-même partie. Le premier se situe dans l'espace interne, le second dans l'espace externe. La carte [*oh*] illustre cette modélisation.



C92 — [of] — organisation fractale



C93 — [oh] — organisation holonique

Dans l'architecture du holon, le *centre organisateur* n'est pas modélisé. Nous enrichissons cette représentation biface du holon en ajoutant à l'ensemble des parties, et la partie de l'ensemble, une troisième perspective, de l'organisation en temps qu'unité. Nous exprimons ce point de vue par la formule suivante :

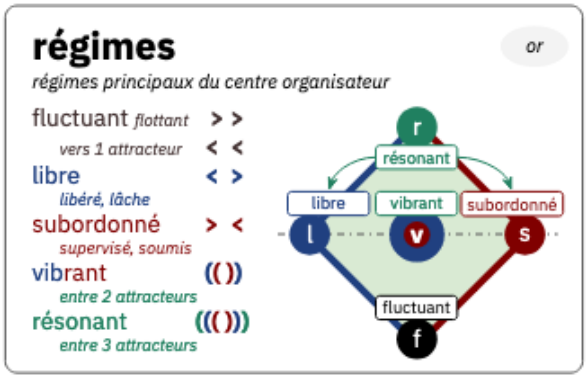
$$\alpha = (n\backslash 1) \,.\, (1) \,.\, (1\backslash n)$$

Selon les contextes, nous analyserons donc l'organisation selon trois points de vue complémentaires. Le point de vue central, celui du *tiers-inclus*, à l'intersection des deux autres définit la dimension identitaire de l'organisation.

Approfondissons maintenant le concept de *centre organisateur*, en introduisant celui de *régime*.

2.2.6. Régimes du centre organisateur

A l'instar du *centre de gravité* qui permet de modéliser la trajectoire d'un objet, le *centre organisateur* permet de modéliser la façon dont l'organisation se transforme. Le centre organisateur est assimilable à un curseur qui se déplace en fonction de l'influence des attracteurs. Nous abordons cette abstraction par le concept de **régime**, « *ensemble de règles, de facteurs qui caractérisent le fonctionnement, le cours de quelque chose* » (CNRTL). Posant que le *régime* du *centre organisateur* relève de l'influence des attracteurs, il est donc variable. Nous le considérons par défaut comme *fluctuant*, utilisant le symbole **f**. La dominance de l'*attracteur unique* exprime un processus d'organisation dirigé vers l'*espace interne*, alors que la dominance de l'*attracteur multiple* exprime un processus d'organisation dirigé vers l'*espace externe*. Ces deux régimes sont qualifiés de *subordonné* pour le premier et *libre* pour le second. La contrainte de subordination est fixée par l'environnement ou la forme de l'objet considéré, l'objet pouvant être un corps matériel mais pas obligatoirement, un mot est un objet du langage. La liberté correspond aux possibilités d'interaction dans son environnement, permises par cet objet. Nous utilisons respectivement les symboles **s** et **l** reprenant la symbolique des chevrons précédemment introduits. L'influence simultanée des deux attracteurs génère un régime vibratoire. Le centre organisateur est alors *vibrant*. Nous le symbolisons par un double parenthésage, qui évoque la vibration et le codons avec la lettre **v**. L'influence de l'*attracteur organisationnel* peut conduire à un autre état d'équilibre dynamique intermédiaire entre l'*espace interne* et l'*espace externe*. Nous qualifions ce régime de *résonant*. Nous le symbolisons par un triple parenthésage, et le codons avec la lettre **r**. La résonance traduit le double effet excitateur-résonateur entre le l'objet et son milieu; une fois cet état initié, il est entretenu indifféremment par l'un ou l'autre. La carte [*or*] illustre ces cinq régimes, constituant

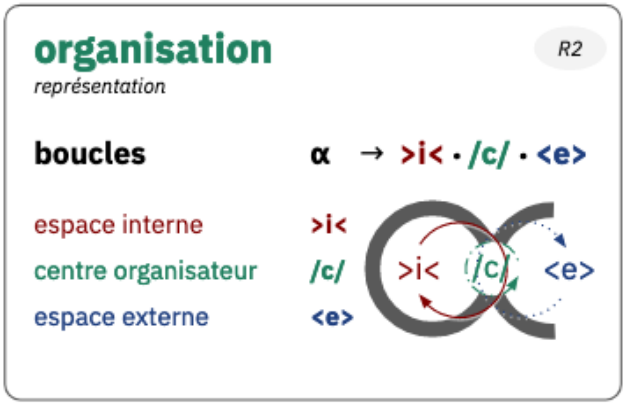


C94 — [or] — régimes

une première représentation de la dynamique du processus organisationnel. À partir du concept de boucle, dans une démarche similaire à celle engagée sur la transformation, nous avons désigné un *modèle de représentation de l'organisation*. Pour donner un premier degré d'opérabilité à ce second modèle de notre construction, nous lui avons également attribué un nom et associé un visuel, pour aider à le mémoriser. Nous présentons ce design ci-après.

2.2.7. Modèle de représentation de l'organisation

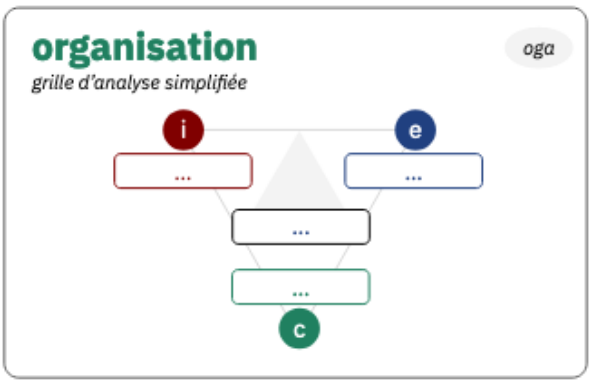
Nous appelons *modèle R2* ce second modèle, centré sur la représentation des organisations. Comme nous l'avons vu précédemment, il repose avant tout sur le concept de *boucles*, au nombre de trois, entrelacées, et aux effets locaux et intermittents. Ces boucles, générées par les trois attracteurs de transformation, génèrent elles-mêmes les trois composantes de l'organisation : l'*espace interne*, l'*espace externe* et le *centre organisateur*. Dans l'esprit du concept d'infini associé à la transformation, nous utilisons la lettre *alpha* pour représenter ce modèle, et utilisons le symbole associé **α**. Ce symbole est proche du précédent. C'est un infini ouvert. La *boucle* représente l'*espace interne*, les deux branches les échanges avec l'*espace externe*, en entrée et en sortie. Le point de croisement symbolise le *centre organisateur*, rappelant le point de croisement central de l'infini qui représentait l'*attracteur organisationnel*. La carte [*R2*] illustre cette représentation. Sur le même principe que pour la transformation, nous proposons une *grille d'analyse de l'organisation*.



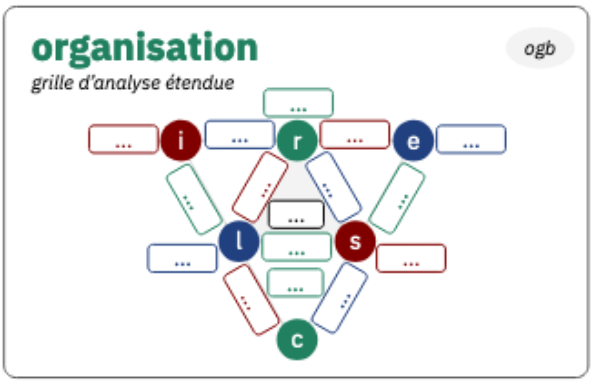
C95 — [R2] — organisation, représentation

2.2.8. Grille d'analyse de l'organisation

La grille d'analyse de l'organisation est construite selon le principe de fractalité en augmentant et retournant la grille de la transformation, qui se retrouve en réduction en son centre. Le triangle est sur sa pointe, cette position traduit graphiquement l'instabilité de l'organisation. Aux sommets du triangle nous positionnons les trois composantes de l'organisation, *espace interne*, *espace externe* et *centre organisateur*. Nous proposons deux versions de cette grille, selon la prise en compte ou non des *régimes* du *centre organisateur*. La première traduit plutôt une *vision extérieure* de l'organisation ; la seconde, plus détaillée que la première, y ajoute la *vision intérieure* en intégrant l'ensemble des *régimes* positionnés dans le triangle central. A l'inverse de la transformation, considérée comme permanente, l'organisation est temporaire, marquée par la discontinuité et sensible à des effets de seuils. Elle émerge, évolue et se dissout. Tout au long de son existence, elle est le siège de tensions primaires, engendrées par les attracteurs. Pour un sujet donné (indiqué au centre), les deux grilles [*oga*] et [*ogb*] permettent de positionner les principaux termes schématisant l'organisation, avec les principaux processus de transformation associés pour la seconde. Elles servent ainsi de support au nommage des composants ou des phénomènes liés à ces composants ; la seconde y ajoute la dimension opératoire, avec les *régimes*, les relations entre les composants et les transitions entre *régimes.* Nous présentons un premier usage de la grille simplifiée, en considérant trois formes de tensions globales à l'organisation.



C96 — [oga] — organisation, grille simplifiée

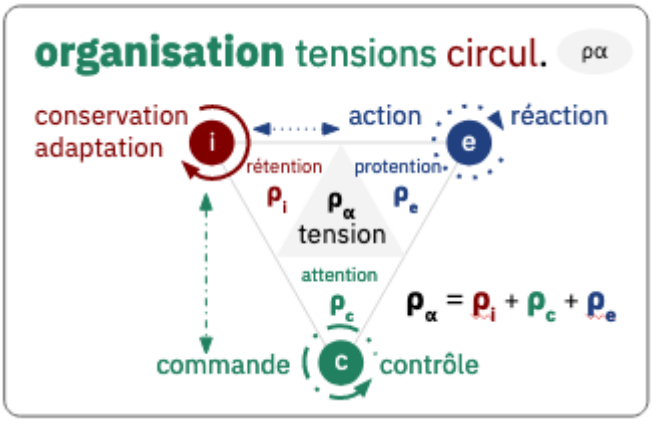


C97 — [ogb] — organisation, grille étendue

2.2.9. Tensions motrices de l'organisation

Pour qualifier les tensions motrices de l'organisation, nous empruntons trois termes à la phénoménologie : *rétention*, *protention*, *attention*. Si ces trois termes « *forment la vie de la conscience* »[182], nous étendons leur usage à la description du fonctionnement intrinsèque de l'organisation. Nous distinguons en particulier ces concepts des actes intentionnels, comme la *remémoration*, la *projection* ou l'*attente*. Les trois termes retenus se rattachent à trois temporalités mais également aux trois disciplines centrales du *Pentachore* présenté dans la partie cadrage. La **rétention** construit une image du passé. Elle est à l'origine du principe de conservation, donc à l'origine de la mémoire, qui prend sa source dans l'espace externe, perçu comme étant le réel. Elle est la condition de l'émergence du vivant, délimité par une *membrane*, dont les rôles sont précisés dans l'encadré E32.

Le domaine du vivant ajoute à la notion de *rétention* une notion opposée, qui prend sa source dans l'espace interne, la **protention**. Associée à l'anticipation, au futur, elle conduit à l'action. Dans la continuité des travaux de Bailly et Longo, un modèle mathématique est aujourd'hui proposé pour ces deux concepts (Longo & Montévil, 2011). Sur cette ligne d'opposition entre passé et futur, le vivant va non seulement agir mais réagir. De même, il ne va pas simplement conserver mais également adapter. A l'intersection des deux autres temporalités, le troisième concept, de l'**attention**, est relatif au domaine du conscient, du présent. En raison de leur rattachement aux espaces et centre précédemment définis, nous utilisons la codification **ρi**, **ρe** et **ρc** pour désigner ces trois tensions que nous qualifions de circulaires, pour les distinguer des tensions linéaires issues des attracteurs. Nous désignons également par $\boldsymbol{\rho_\alpha}$ la tension résultante de l'organisation



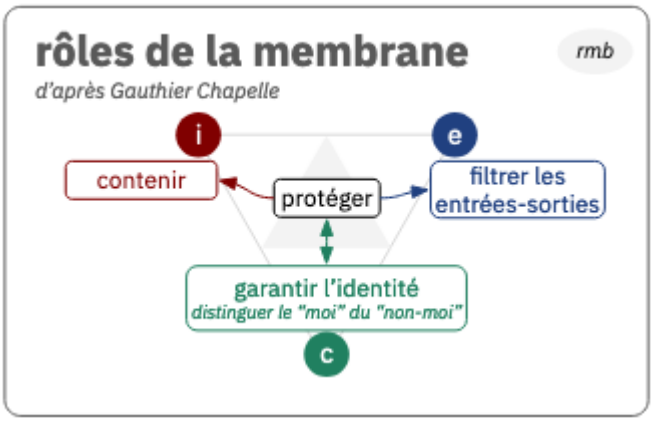
C98 — [ρα] — organisation, tensions circulaires

182. Source Ars Industrialis : http://arsindustrialis.org/vocabulaire-attention-retention-protention

qui s'obtient par la somme des trois précédentes. La carte [*pα*] illustre ce design. Une fois cette base de la dynamique de transformation de l'organisation posée, il nous reste à présent à décrypter son fonctionnement.

E32 — Rôles de la membrane

Une **membrane** a quatre fonctions principales : « *Le premier rôle de la membrane, c'est de contenir.* [...] *S'en déduit un second rôle difficile à dissocier du premier, la membrane protège. D'où découle un troisième, garantir l'identité.* » Le quatrième rôle primordial est de filtrer les entrées et les sorties (Chapelle, 2015:262). Nous utilisons le modèle simplifié d'analyse de l'organisation pour les représenter, en associant chacun de ces rôles aux composantes de l'organisation. *Contenir* consiste à préserver l'espace interne, alors que *filtrer les entrées et les sorties* relève de la communication avec l'*espace externe*. Garantir l'identité consiste à distinguer le *moi* du *non-moi*. Ce rôle est intermédiaire entre les deux autres. La fonction de protection est en relation avec chacun des trois autres rôles, nous la positionnons donc centralement, comme illustrée sur la carte [*rmb*].

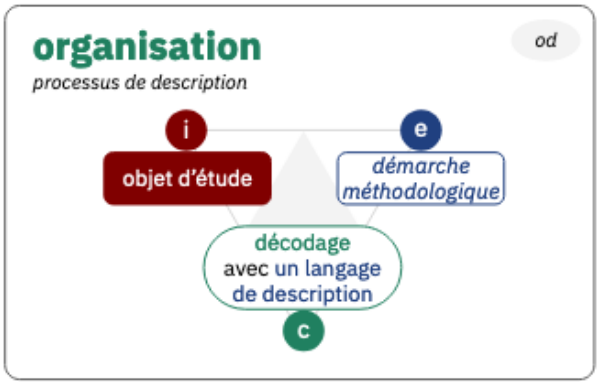


C99 — [rmb] — rôle de la membrane

2.2.10. Décoder le fonctionnement de l'organisation

La modélisation de l'organisation nécessite en effet un décodage. Par décoder, nous entendons « *Transcrire un message, une information, en rétablissant un texte clair (ou celui d'origine) à partir des signes conventionnels d'un texte codé* » (CNRTL). Le code étant défini comme un « *ensemble de règles ou contraintes qui assurent le fonctionnement du langage* » (CNRTL). La question du langage de description est ainsi centrale, positionnée entre notre *objet d'étude*, unique, l'organisation abordée

en de multiples étapes par une *démarche méthodologique*. Ce rapport entre *interne-externe* et le *tiers-inclus* s'inscrit également dans notre modélisation de l'organisation. Nous pouvons ainsi représenter ces trois composantes dans le décodage de l'organisation dans la grille d'analyse simplifiée, comme schématisé sur la carte [*od*]. Nous avons précédemment modélisé l'organisation à l'aide de trois composantes, deux concrètes et une abstraite. Les deux composantes concrètes correspondent à la *structure* et son *terrain d'intervention*, c'est-à-dire son *environnement*. L'interaction entre les deux consiste à gérer des *tensions*. Cette gestion des tensions se traduit par un comportement, qui conduit à un observable son état, défini comme une « *manière d'être (soit stable, soit sujette à des variations) d'une personne ou d'une chose* » (CNRTL). Précisons que la stabilité est toujours temporaire. Notre *démarche méthodologique* est traditionnelle en sciences : *observer*, *décrire*, *interpréter*. Cette troisième étape se décompose elle-même en deux, *analyser* et *construire une représentation*. La linéarité de leur enchaînement est toute relative, puisque le processus est itératif. Chaque étape étant répétée, les dernières influencent sur les premières. Pour suivre cette démarche, nous avons besoin d'outils. Nous en avons ainsi défini trois : un *instrument d'observation*, un *langage de description* qui permet de construire et partager des représentations, une *méthode d'analyse*. Ces trois outils sont présentés dans les sections suivantes.



C100 — [od] — organisation, description

Le *langage de description* s'appuie sur les concepts fondamentaux, au cœur de l'organisation. Les deux notions précédemment introduites, la *tension* et l'*opérateur*, traduisent une dynamique. Il nous manque donc une modélisation des *phases* observables de l'organisation. Nous en proposons donc ci-après un modèle générique, qui nous conduit à introduire le concept de *champ organisationnel*, en tant que sous-partie du *champ de transformation*. C'est dans ce champ que se

construit le *cycle de vie* de l'organisation, dernier concept de notre représentation.

2.2.11. Phases de l'organisation

Les **phases** de l'organisation sont modélisées à partir de l'activité des *attracteurs de transformation*. Nous généralisons aux trois attracteurs la modélisation introduite dans la présentation du *cycle de transformation*. En considérant l'attracteur *actif* ou *inactif*, auquel nous faisons correspondre les deux valeurs 1 ou 0, nous obtenons donc huit phases primaires (2^3). A chacune de ces phases est associé un *coefficient énergétique*, noté **e**. Pour obtenir un coefficient entre 0 et 1, nous le calculons simplement en faisant la somme des trois valeurs, somme divisée par le nombre d'attracteurs. Nous obtenons ainsi quatre valeurs progressant par pas de 1/3. Nous leur associons également un nom et un symbole, présentés dans le tableau T24.

T24 — Phases de l'organisation

activité des attracteurs **)u) (o) (m(** *unique organisationnel multiple*	*coefficient énergétique* ***e***	*phase de l'organisation*	*symbole associé*
1 1 1	1	équilibration	**~**
1 1 0	2/3	conservation	**°**
1 0 1	2/3	contradiction	**◊**
0 1 1	2/3	manifestation	*****
0 0 1	1/3	atténuation	**<**
1 0 0	1/3	amplification	**>**
0 1 0	1/3	éclosion	**^**
0 0 0	0	décohésion	**...**

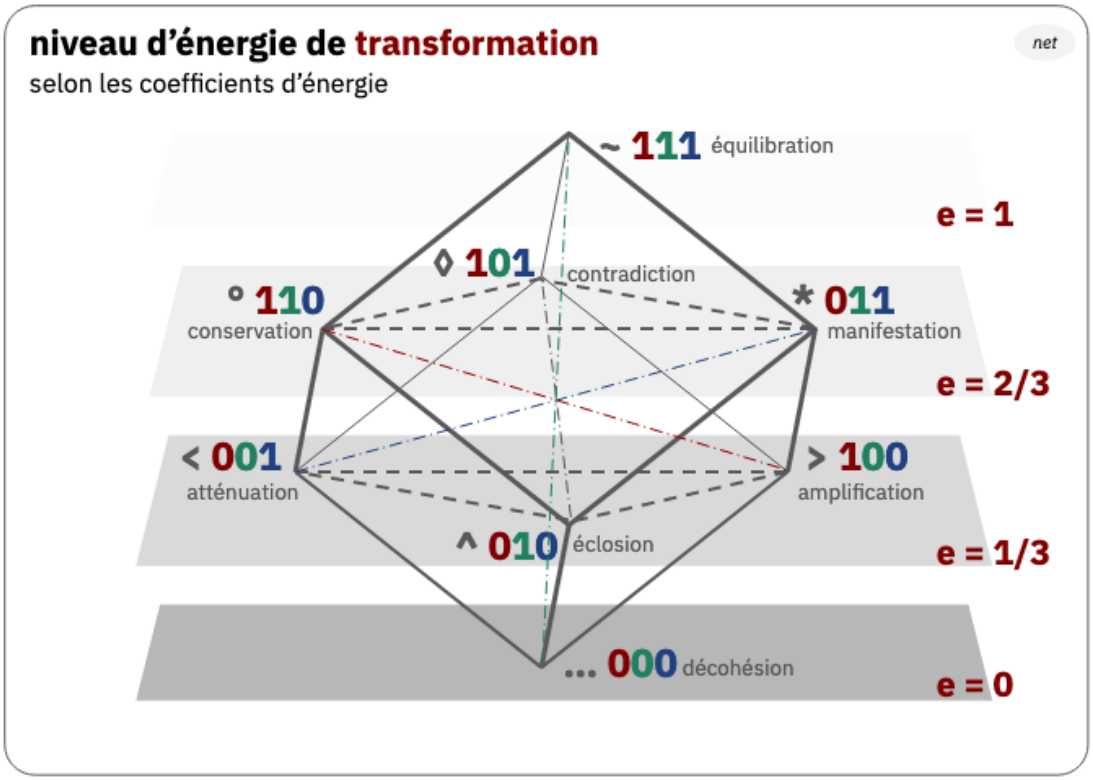
Les huit phases sont classées par valeur décroissante du coefficient **e**. Ces huit phases expriment une dynamique de transformation de l'organisation. Le choix des noms et des symboles a fait l'objet d'une recherche approfondie afin de les rendre les plus signifiants possible. Les noms retenus sont des noms génériques. Nous précisons donc la signification du concept choisi et indiquons des variantes utilisables selon les contextes. Le tableau T25 résume ces précisions.

T25 — Précisions sur les phases de l'organisation

phase	*signification du concept*	*variantes*
équilibration	agencer harmonieusement une composition, en répartir heureusement les proportions	harmonisation, accord, stabilisation, cohérence...
conservation[183]	action de maintenir hors de toute altération, dans le même état ou en bon état	intégration, assimilation, unification, appropriation, digestion, révélation, concentration ...
contradiction	action de s'opposer à soi-même	ambiguïté, incohérence, dissonance, paradoxe, contraire, contraste, division, non-sens, antilogie...
manifestation	action, fait d'exprimer ouvertement	déploiement, expression, affirmation, expansion, extension, exposition...
atténuation	action d'amoindrir, de rendre plus ténu, plus mince, moins dense	diminution, allégement, baisse, décroissance, affaiblissement, réduction, dépression, contraction, détente...
amplification	action d'augmenter les proportions de quelque chose	augmentation, hausse, accroissement, croissance, grossissement, gonflement, pression, développement, renforcement...
éclosion	fait de commencer à exister	émergence, apparition, création, commencement, démarrage, gestation, bourgeonnement, nouveauté, début, naissance
décohésion	disparition du lien qui unit entre eux des arguments, les parties d'un ensemble logiquement organisé	désagrégation, déconstruction, annihilation, anéantissement, déstructuration, fragmentation, disparition, décomposition, suppression, destruction, extinction, mort...

183. Notons que l'opération associée est l'intégration : action d'assembler des éléments divers afin d'en constituer un tout organique, passage d'un état diffus à un état concentré

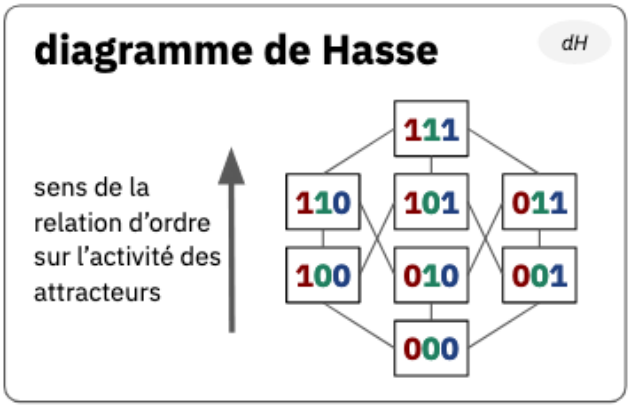
Nous présentons également une représentation de ces phases en fonction de leur coefficient énergétique. Ils forment les sommets d'un cube reposant sur un sommet et traversé par quatre plans. Chaque segment représente un changement de niveau d'énergie. Les sommets sur un même plan représentent des primitives de même niveau énergétique. La carte [*net*] représente ce cube.



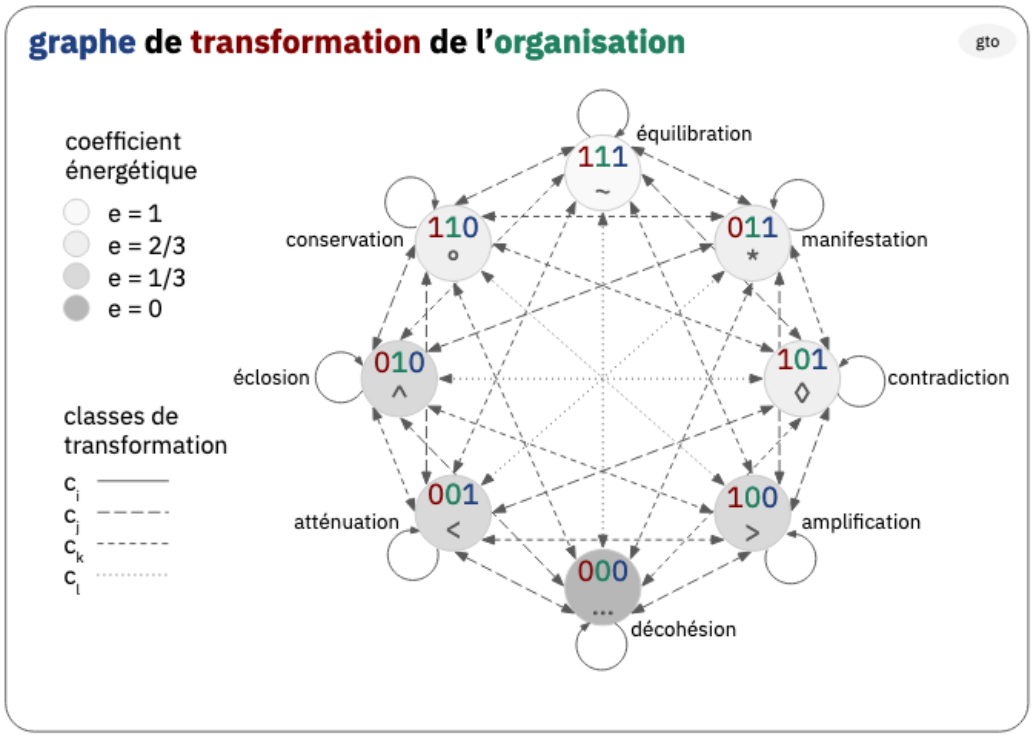
C101 — [net] — niveau d'énergie de transformation

Ce formalisme définit une relation d'ordre sur l'énergie de transformation. Mathématiquement, nous obtenons un treillis, c'est-à-dire « *un ensemble ordonné E tel que toute partie {x,y} de E à deux éléments admette une borne inférieur (noté x Λ y) et une borne supérieure (notée x V y).* » (Bouvier et al., 2013:921). Pour en faciliter la lecture, nous pouvons le représenter sous la forme d'un *diagramme de Hasse*, comme illustré par la carte [*dH*]. Nous pouvons également considérer l'ensemble des changements de phase. Ils sont au nombre de vingt-huit (7x8/2).

En tenant compte du double sens et de la variation au sein d'une même phase nous obtenons 64 transitions (8x8). Ce modèle de transformation reste approximatif puisque nous raisonnons par palier, sans tenir compte de variations autour des paliers. Le saut énergétique diffère selon les transitions. Nous distinguons ainsi 4 *classes de transformation* en fonction du nombre de changements de phase des attracteurs. La carte [*gto*] présente le graphe des transformations de l'organisation.



C102 — [dh] — diagramme de Hasse



C103 — [gto] — graphe de transformation de l'organisation

Nous précisons ce concept de *classe de transformation* en qualifiant et quantifiant chacune de ces classes dans le tableau T26.

T26 — Classes de transformation

classe	*qualification*	*nombre de changements de phase des attracteurs*	*nombre d'items dans la classe*
c_i	invisible	**0** indétectable	8, identitaires
c_j	faible	**1**	24, soit 12 et leurs réciproques
c_k	forte	**2**	24, soit 12 et leurs réciproques
c_l	totale	**3**	8, soit 4 et leurs réciproques

Nous résumons ce formalisme mathématique lié aux phases de l'organisation et aux transformations associées dans l'encadré E33.

Cette analyse mathématique des phases et transformations de l'organisation est complétée par un modèle graphique.

E33 — Formalisation mathématique

Soit A l'ensemble des 3 attracteurs de transformation :

$$A = \{ (m(, (o),)u) \}$$

Soit E l'ensemble des 4 écarts entre les attracteurs de transformation :

$$E = \{ ø,)(,)n(, \}$$

Soit O l'ensemble des 8 phases de l'organisation :

$$O = \{ \sim , °, *, \Diamond, <,>,\wedge, \ldots \}$$

Soit G l'ensemble des 4 niveaux d'énergie de transformation des phases :

$$G = \{ 0, 1/3, 2/3, 1 \}$$

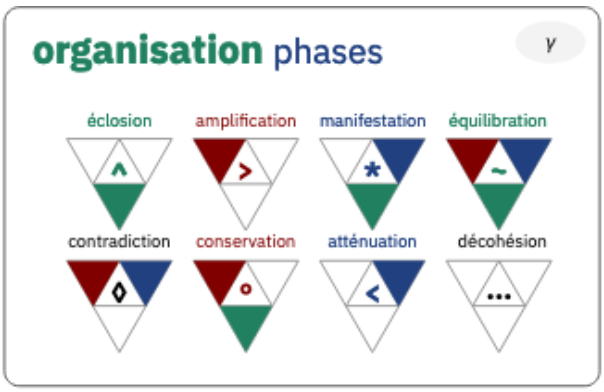
Soit T l'ensemble des 64 transformations :

$$T = O \times O$$

Soit C l'ensemble des 4 classes de transformation :

$$C = \{ c_i, c_j, c_k, c_l \}$$

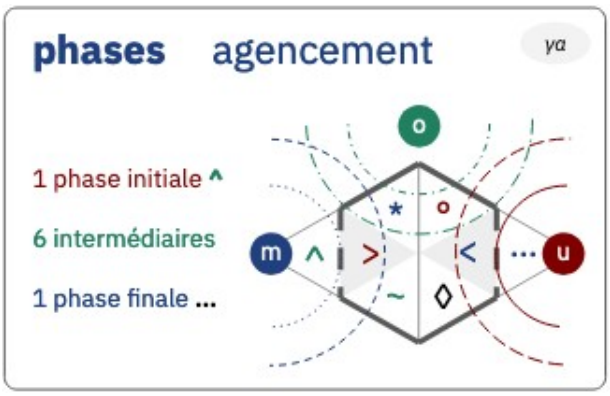
Nous reprenons la forme du triangle inversé en coloriant les angles correspondant aux attracteurs activés avec le code couleur précédemment défini. La carte [γ] illustre les huit combinaisons ainsi obtenues. Cette représentation présente plusieurs avantages. Lisible[184], elle permet d'envisager des circuits de transformation, en intercalant un opérateur entre chaque phase. En utilisant un triangle sur sa base pour représenter l'opérateur nous obtenons alors des lignes graphiques continues. Nous présenterons cette approche après avoir introduit le concept de *champ organisationnel*.



C104 — [γ] — organisation, phases

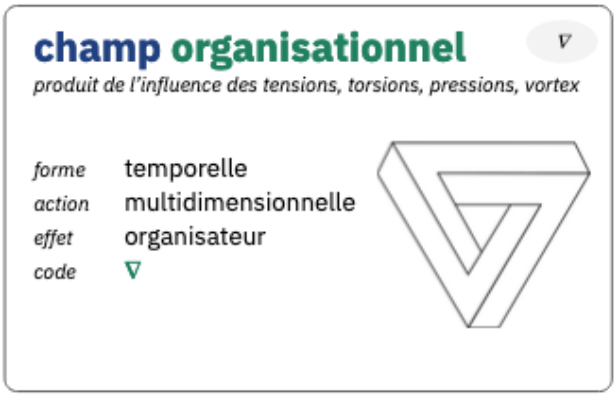
2.2.12. Champ organisationnel

Les transformations s'effectuent dans le *champ de transformation* précédemment défini. Nous affinons cette notion avec le concept de **champ organisationnel**, dont les effets vont agencer les transitions de phase. La carte [γa] illustre cette idée.



C105 — [γa] — phases, agencement

Deux phases sont particulières, celle d'*éclosion* et celle de *décohésion*. Nous les considérons comme les phases initiales et finales de l'organisation et appelons *champ organisationnel* le champ qui permet l'ensemble des transformations entre ces deux phases. La carte [∇] en donne une illustration. Signalons que notre concept de *champ*



C106 — [∇] – champ organisationnel

184. Elle évoquera peut être à certains le code international des pavillons maritimes...

organisationnel rejoint celui proposé par le professeur Alain Cardon. Il en donne la définition suivante dans son ouvrage sur la complexité organisée :

« *Champ organisationnel*

> *Nous appelons champ organisationnel l'ensemble des contraintes exercées localement mais à toutes les échelles sur les mouvements des éléments matériels de la structure de tout objet organisationnellement complexe limité par une membrane, et tendant à maintenir cet objet dans un état d'action cohérente et pérenne. Cet ensemble de contraintes d'action permet à l'objet d'exister tel qu'il existe, comme ensemble identifié de processus, avec une autonomie et une certaine régularité comportementale interne et externe. » (Cardon, 2005:132)*

Il précise : *« Le champ organisationnel sera concrètement représenté par l'état organisateur et organisé de processus de régulation, en certaines régions de l'objet, processus actif à tout moment. »* (Cardon, 2005:133)

La membrane est précédemment définie : « *La membrane d'un objet organisationnellement complexe est sa structure limitative et structurante. Elle est filtrante et communicante, constituée de processus fonctionnels permettant l'ouverture de l'objet sur son environnement et, par cela, l'apport, le rejet et l'échange continus d'énergie et d'informations, avec l'intérieur de l'objet qui se voit ainsi fonctionnellement situé. La membrane engage à la réalisation de l'adaptation nécessaire de l'objet dans son environnement , en le distinguant comme entité autonome* » (Cardon, 2005:94). Notons que ces définitions du champ et de la membrane sont cohérentes avec celles que nous avons retenues. Il est à noter également que dans la modélisation que nous proposons, le *champ organisationnel* se manifeste aux différents niveaux de l'organisation, précédemment considérée comme holonique.

Nous envisageons à présent un codage mathématique des effets du *champ organisationnel* sur les *états* de l'organisation. Le concept mathématique de *champ*

tensoriel nous semble adapté. Très utilisé en physique et en ingénierie, il traduit une quantité géométrique variable, généralisant l'idée de *champ vectoriel*. Il est donc adapté à coder les tensions. Le *champ tensoriel* s'exprime avec le concept de *tenseur*, et sa représentation matricielle. Notons que les opérations entre matrices ne sont pas commutatives par défaut, ce qui est une condition de base de la représentation des transformations. Nous appuyant sur le concept générique d'opérateur de transformation précédemment défini, nous l'affinons pour décrire le passage d'un état à l'autre, c'est-à-dire un *cycle de vie*.

2.2.13. Cycle de vie

Nous appelons **cycle de vie** l'ensemble des états par lesquels passe l'organisation entre l'*état d'éclosion* et l'*état de décohésion*. Les cycles de vie sont de durée variable. Le plus court étant le passage direct sans intermédiaire entre les deux états précités. A l'inverse, nous pouvons concevoir entre ces deux états un cycle oscillant de longue durée, par exemple entre les états d'amplification et d'atténuation. Nous traduisons ces deux exemples par les formules suivantes :

$$cycle_{minimal} = \text{\^{}}\ldots$$

$$cycle_{oscillant} = \text{\^{}}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\text{><}\ldots$$

Un des intérêts du concept de *cycle de vie* serait de pouvoir identifier des *patterns* et *anti-patterns.* Nous appelons **pattern** une forme vertueuse d'organisation, autrement dit une « *bonne pratique* », et **anti-pattern** une forme pathologique, résultat de déviances par rapport aux patterns. Notons que cet objectif pose deux questions : celle du point de vue, une organisation avantageuse pour l'un pourrait être désavantageuse pour l'autre, et de l'éthique, celle de l'interventionnisme sur le développement de l'organisation. Ces points sont essentiels, ils seront abordés dans la partie 4, Perspectives. D'un point de vue simplement technique, le concept de *cycle de vie* nous conduit à deux autres questions : celle des *transformations privilégiées* et celle de la *limite* au développement de l'organisation. Pour aborder le premier point, nous avons déjà défini deux indicateurs, notés **e** le *coefficient*

énergétique et $\mathbf{c_t}$ la *classe de transformation*. Ils sont tous deux relatifs à l'activité des attracteurs et au transfert d'énergie induit par leur variation. Nous nous attendons à ce que les transformations soient progressives, qu'elles se fassent par paliers. Dans le langage mathématique des probabilités, cela se traduira alors par la formulation suivante :

$$\mathbf{P(c_i) > P(c_j) > P(c_k) > P(c_l)}$$

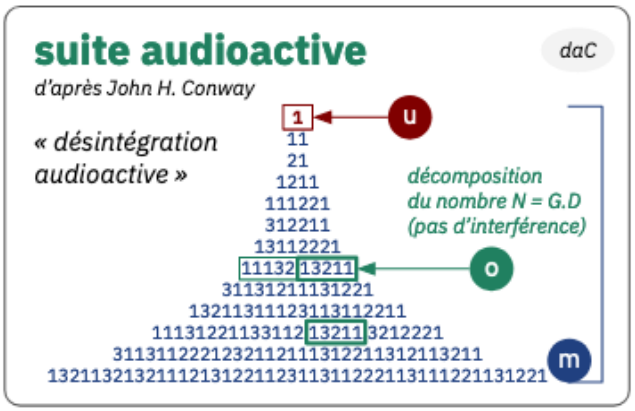
Malgré cette hypothèse, les combinaisons d'enchaînement des transformations restent très élevées. Des confrontations à des cas pratiques s'avèrent nécessaires pour aller plus loin dans le développement du modèle. Concernant les *limites*, nous avons posé que l'influence de l'attracteur organisationnel sur les deux autres se faisait à perte d'information. Cette perte d'information ou plutôt cette information non mesurable est analogue à une perte d'énergie, autrement dit une augmentation de l'entropie. Le lien entre entropie et information a déjà été fait suite à l'isomorphie des formules des formules de Shannon et de Boltzmann. Mais « *le rêve idéaliste de l'équivalence de la néguentropie et de l'information* » (Parrochia, 1994:29), théorie proposée par Szilard et Brillouin, s'est vu réfuté par les objections épistémologiques de Popper et Tonnelat (*ibid.,* p.36), puis par les calculs de Landauer et Bennett (*ibid.*, p.40). Ce débat détaillé dans l'ouvrage de Parrochia le conduit à proposer une autre forme de néguentropie liée à la compression de l'information, établissant une équivalence à la force gravitationnelle, pour proposer une *cosmologie de l'information*. Notons qu'une relation formelle entre information et matière avait déjà été établie par le mathématicien John Horton Conway comme nous le rappelons dans l'encadré E34 qui illustre la transformation organisationnelle de la *suite de Conway*. La question des limites se décompose elle-même en deux questions, celle des *seuils* et celle des *effets d'échelle*. Ces questions restent à l'étude dans notre modélisation, elles seront abordées dans la partie 4, Perspectives.

Ce second modèle esquisse une *allagmatique*. Nous présentons ce concept dans la conclusion de cette deuxième représentation. Nous illustrons également la

transformation des organisations par une vue synoptique et une projection en trois dimensions, qui combinent les deux premières modélisations.

E34 — Suite de Conway et transformation organisationnelle

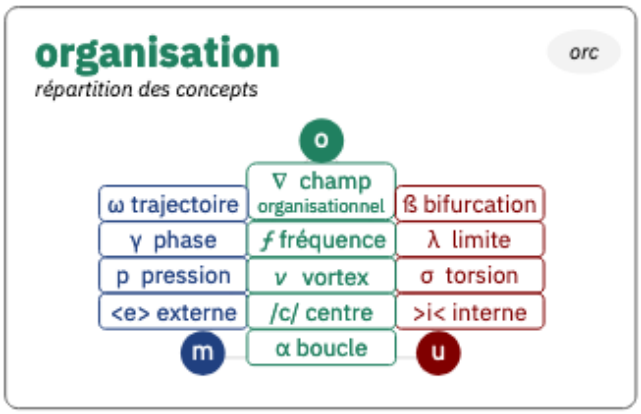
Initialement qualifiée de « désintégration audioactive » (Conway, 1986) la **suite de Conway** est également dénommée *Look and Say* ou *suite audioactive*. Cette suite illustre la génération de la complexité à partir d'un principe simple que nous modélisons avec les deux attracteurs unique et multiple. En partant du chiffre 1 (unique), la suite infinie (multiple) se construit en écrivant sur la ligne suivante ce qui est lu sur la ligne précédente. Les premiers termes se déclinent ainsi "un un" (11) puis "deux un", puis "un deux un un" (1211)... Dans son développement, Conway a remarqué que certains nombres se décomposent en éléments qui n'interfèrent plus entre eux, traduisant l'émergence d'une organisation. Par exemple à la huitième ligne le nombre N se décompose en deux : la partie gauche, qui se termine par 2, n'interfère plus avec la partie droite qui réapparaît trois lignes plus bas. Faits étonnants, la suite ne comporte jamais de chiffre supérieur à trois[185] et Conway a établi une relation analogique entre *presque tous* les termes de la suite, décomposés en 92 sous-termes, et les 92 éléments chimiques. La carte [*daC*] illustre cette série.



C107 — [daC] — suite audioactive

185. Cette particularité mérite d'être rapprochée du Théorème de Fermat (1630) « quel que soit l'entier n supérieur ou égal à 3, il n'existe pas d'entiers positifs a, b et c vérifiant l'équation $c^n = a^n + b^n$ », à rapprocher lui-même du théorème de Pythagore « $c^2 = a^2 + b^2$ dans un triangle rectangle, c désignant l'hypoténuse, a et b les autres côtés »

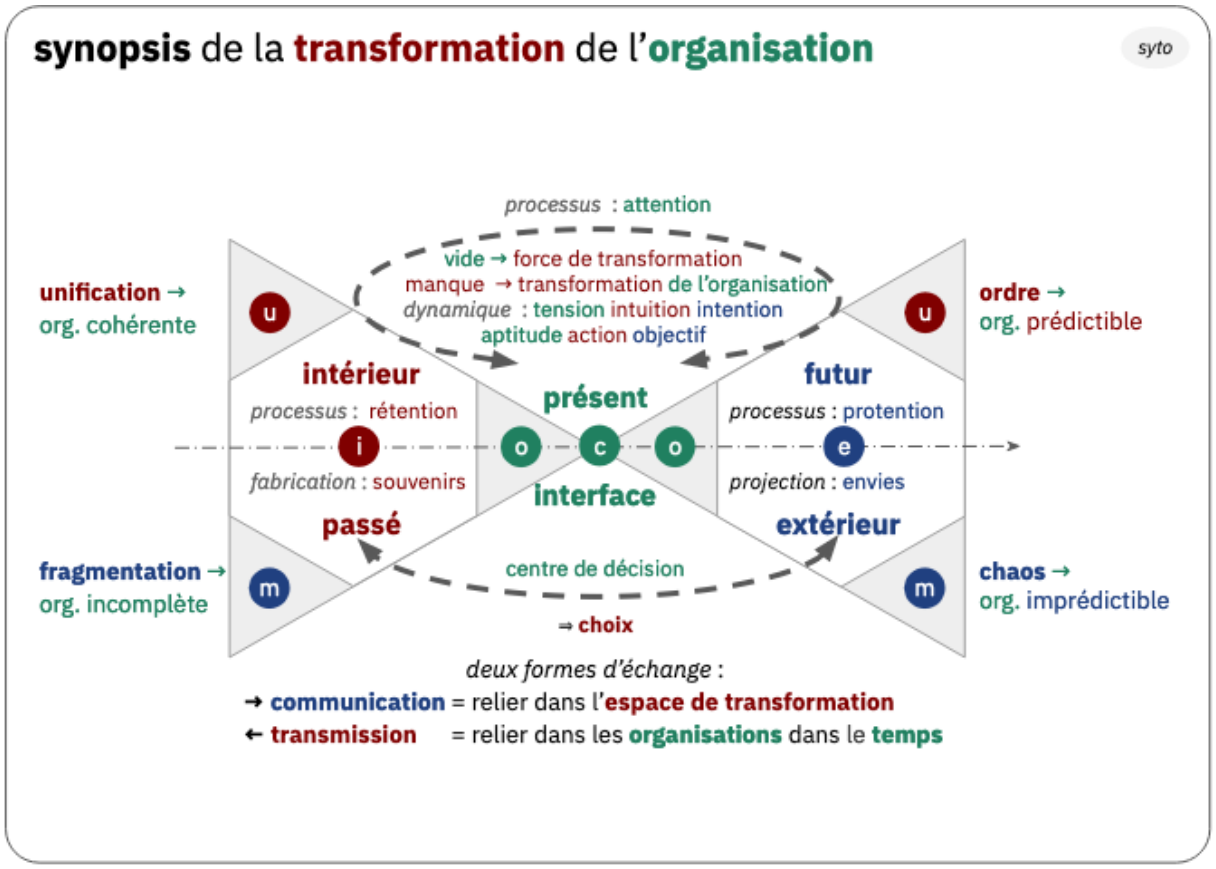
2.2.14. Conclusion illustrée (R2)



C108 — [orc] — organisation, concepts

Comme le premier modèle R1, ce modèle de représentation de l'organisation, que nous appelons R2, s'est construit progressivement par confrontation à la réalité mais également en convergence avec différentes théories. C'est ainsi que nous avons exploré certaines voies, mais également abandonné d'autres qui se sont révélées infructueuses, parce que inutilisables voire erronées. Cette recherche exploratoire a produit un ensemble de concepts[186] répartis autour des trois attracteurs comme l'illustre la carte [*orc*]. A visée opérationnelle, elle esquisse une **allagmatique** — *allagma* signifie « changement » en grec — c'est-à-dire une « théorie des opérations » selon Simondon. Dans le texte ALLAGMATIQUE ajouté en annexe de son ouvrage *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information* Simondon suggère ainsi : « *Peut-être conviendrait mieux de définir les grandes catégories d'opérations, les différents types de dynamisme transformateurs que l'étude objective révèle, et d'essayer de les classer d'après leurs caractéristiques intrinsèques.* » (Simondon, 2005:530). C'est à cet exercice que nous nous sommes attachés. Dans un essai de synthèse de nos premier résultats, nous présentons ci-après un synopsis de la transformation de l'organisation. La carte [*syto*] schématise l'organisation avec ses trois composantes, *espace interne*, *espace externe* et *centre organisateur*, soumis aux trois attracteurs. L'espace interne produit par le processus de rétention est le siège de la mémoire, de la fabrication de souvenirs. L'espace externe appréhendé par le processus de *protention*, est un espace de projection des envies. Le centre organisateur est à l'intersection de ces deux espaces, dans le présent, entre passé et futur.

186. Le concept de *limite*, noté **λ**, est juste posé, il sera évoqué au § 3.3.1.5. Celui de *bifurcation*, noté **ß**, juste évoqué au niveau des *torsions*, est développé au § 2.5.1. Il en est de même pour celui de *trajectoire*, noté **ω**.

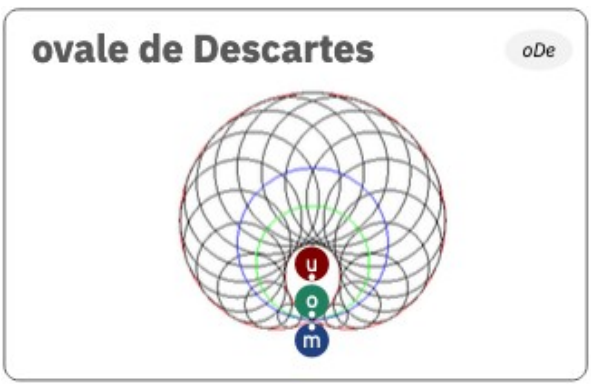


C109 — [syto] — synopsis de la transformation de l'organisation

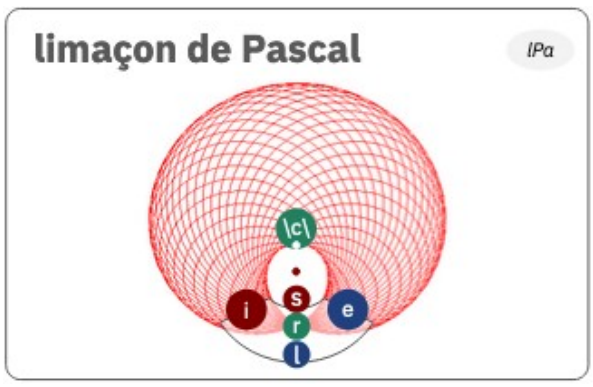
Espace et temps sont intimement liés, dans une boucle de communication et transmission. A la fois *unifiée* et *fragmentée*, l'organisation cherche un équilibre entre *ordre* et *chaos*. L'unification apporte la cohérence et l'ordre permet la prédiction. Mais la perception de l'espace externe restera toujours incomplète, et l'externe imprédictible, selon la *théorie du chaos*. Les choix d'évolution proviennent à la fois de l'intérieur, en référence au passé, mais aussi de l'extérieur, en fonction des tensions. Ce schéma ne présente bien entendu qu'une vue très partielle de l'ensemble des processus qui font évoluer l'organisation. On notera qu'il présente une symétrie entre l'*espace interne* et l'*espace externe*. Les deux sont soumis aux trois attracteurs. L'*espace interne* se construit et se structure à partir de l'*espace externe*, qu'il aménage en fonction de ses besoins, portés par ses manques, cherchant à relâcher des tensions trop fortes. L'*espace interne* contient donc une image de l'*espace externe*, sur le principe projectif de la boîte noire.

A partir de cette représentation, nous pouvons également établir une relation entre

les deux espaces par un bouclage entre les deux extrémités gauche et droite de ce dessin. Nous obtenons alors une courbe apparentée au *limaçon de Pascal*. Cette quadratique, courbe de degré quatre, est un cas particulier de l'*ovale de Descartes* : l'*ovale de Descartes* est une courbe à trois foyers, le *limaçon* s'obtient lorsque deux des trois foyers sont superposés. Ces courbes sont nées de la recherche de courbes de stigmatisme parfait, c'est-à-dire d'égalité des chemins optiques suivis par la lumière pour aller d'un point A à son image A' dans deux milieux d'indices différents; tous les rayons issus d'un point A du premier milieu convergent par réfraction sur un point A' du second milieu. Sur la carte [*oDe*] nous avons représenté l'ovale de Descartes et ses trois foyers que nous nommons **u**, **o** et **m** en référence à nos trois attracteurs. Le foyer central **o** est mobile, entre **u** et **m** qui sont tous les deux fixes. Lorsque **o** rejoint **m**, nous obtenons le *limaçon de Pascal*. Sur la seconde carte [*lPa*] qui le représente nous avons indiqué la position du synopsis à l'aide d'une fenêtre courbe, avec les deux espaces, interne et externe. Le foyer **u** est simplement marqué avec un point rouge, les foyers **o** et **m** superposés sous le *centre organisateur* ne sont pas visibles. Nous faisons en revanche apparaître les 3 régimes du *centre organisateur*. Nous avons relevé qu'il existe un autre point remarquable sur le limaçon, au-dessus du point rouge. Ce point n'est pas un foyer mais l'origine du repère à partir duquel la courbe est dessinée. Simple construction géométrique située à l'extérieur du segment **mu**, nous le notons avec des barres obliques inversées, soit **\c** et l'appelons *anti centre organisationnel*, sans lui donner de signification particulière pour l'instant.

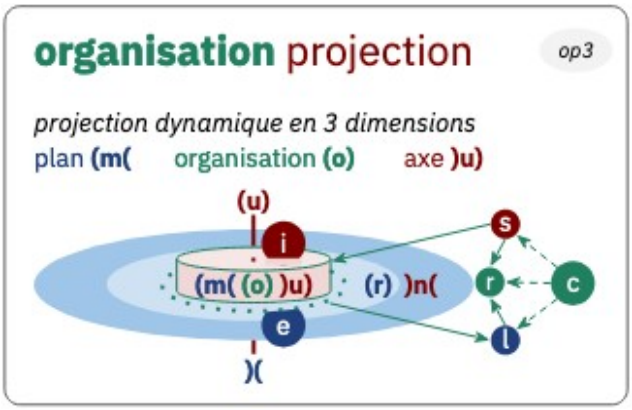


C110 — [oDe] — ovale de Descartes



C111 — [lPa] — limaçon de Pascal

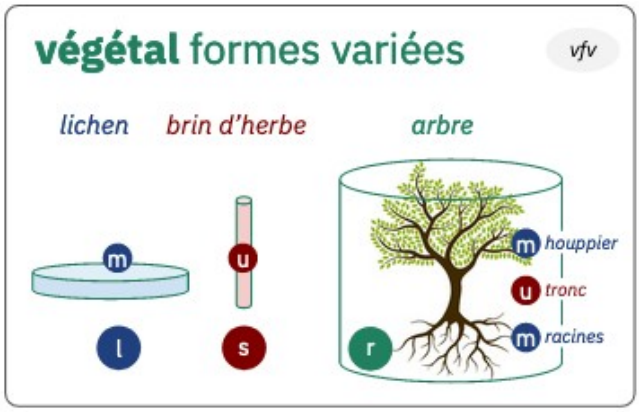
Cette représentation n'est qu'une construction abstraite. Elle répond d'abord à notre objectif de recherche d'illustrations évocatrices de notre modélisation de la transformation des organisations. Elle permet également d'ouvrir des pistes de recherche. Enfin, elle exemplifie une de nos stratégies de recherche, qui s'appuie sur les deux systèmes de signes monosémiques que sont la *graphique* et les mathématiques (Bertin, 2005:6). Dans la *graphique* le système de signes permet de traduire graphiquement de façon univoque une information. « *La perception consiste à définir les relations qui s'établissent dans l'image ou entre images, ou entre images et nature. Le travail de lecture se situe* entre les significations. » (*ibid*., p.6)



C112 — [op3] — organisation, projection

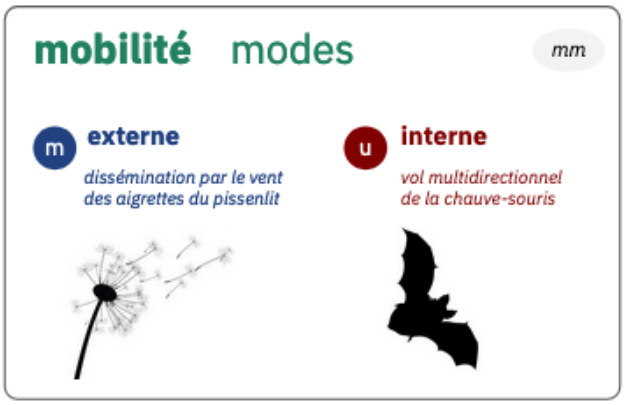
Pour une application plus concrète de cette modélisation nous utilisons une projection en trois dimensions, qu'illustre la carte [*op3*], de l'effet des trois attracteurs en intégrant les notions de *plein* et de *rien* associées à l'*attracteur unique* ainsi que celles de *quantifiable* et de *manque* associées à l'*attracteur multiple.* Le premier attracteur est représenté sur un axe vertical, le second sur un plan horizontal, tandis que l'*organisation* résultant de l'*attracteur organisationnel* est schématisée au centre, avec ses trois composantes : l'*espaces interne*, cylindrique, l'*espace externe*, ovale dans la zone quantifiable, les deux étant respectivement délimités par une ligne verte continue et pointillée, pour représenter le *centre organisateur*. Trois des cinq régimes sont représentés sur la carte, les régimes fluctuant et vibrant se situeraient dans le parallélogramme csrl. Du point de vue de l'organisation, l'*espace externe* correspond au *réel* et au *manque*. Cherchant à combler ce *manque*, le *centre organisateur* s'oriente vers le régime *résonant*, qui correspond au *couplage* entre les trois attracteurs.

Nous appliquons cette représentation pour l'analyse de la variété des formes végétales en comparant celles du lichen, du brin d'herbe et de l'arbre. Le développement du lichen est surfacique, celui du brin d'herbe axial, celui de l'arbre volumique. Les trois régimes du *centre organisateur* sont ainsi illustrés sur la carte [*vfv*]. Régime *libre* du fait de l'effet prédominant de l'*attracteur multiple* pour le lichen, régime *contraint* du fait de l'effet prédominant de l'*attracteur unique* pour le brin d'herbe et une combinaison des deux pour l'arbre, l'*attracteur unique* central pour le tronc, l'*attracteur multiple* pour le houppier et le système racinaire.



C113 — [vfv] — végétal, formes variées

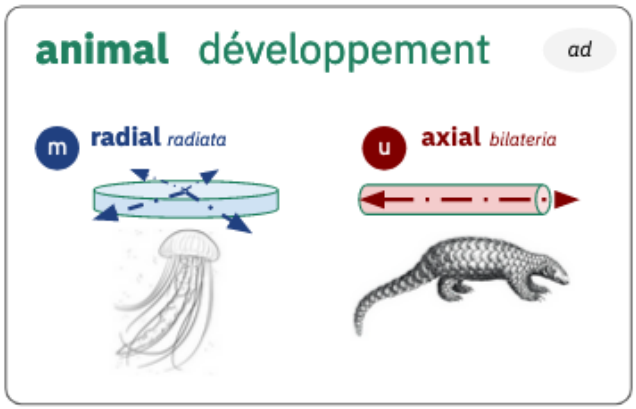
De même, pour étendre son rayon d'action le vivant met en œuvre plusieurs stratégies de mobilité comme l'illustre la carte [*mm*]. Ancré au sol, le végétal s'appuie sur son environnement, et donc l'*attracteur externe*. Par exemple, les aigrettes du pissenlit sont disséminées par le vent.



C114 — [mm] — mobilités, modes

A l'inverse, dans le même environnement, la chauve-souris dirige son vol dans de multiples directions, mettant en jeu l'*attracteur interne* : la mobilité animale est internalisée, dans un appareil locomoteur, qui présente également une structure ternaire : les os et articulation qui forment un tout, le *squelette*, les *muscles squelettiques* attachés au squelette par des tendons, et les éléments du *système nerveux* qui vont commander le mouvement. Nous retrouvons donc l'influence des trois attracteurs, *unique*, *multiple* et *organisationnel*.

Comme pour les végétaux, différentes stratégies de développement sont constatées dans les espèces animales, comme l'illustre la carte [*ad*]. Par exemple, le groupe des Radiata, dont la méduse est un des représentants, a développé une *symétrie rayonnant* autour d'un point alors que le groupe des Bilateria est caractérisé par un *axe principal* de polarité, avec un côté droit et un côté gauche, comme par exemple le pangolin. Ce point de vue est bien entendu à nuancer car les deux attracteurs interviennent aux différents niveaux d'organisation des organismes en proportions variables[187].



C115 — [ad] — animal, développement

Dans le raisonnement humain, nous pouvons également noter l'influence variable des attracteurs. Pour l'illustrer nous nous appuyons sur la modélisation des politiques développée par Bruno Latour, dans son essai *Où atterrir ?* (Latour, 2017) Le sociologue emploie également le concept d'attracteur. Dans le schéma canonique du repérage des modernes (*ibid.*, p.43), il distingue dans un premier temps une opposition entre deux attracteurs surfaciques *local-à-moderniser* et *global-de-la-modernisation*. A l'interface, un front de modernisation théâtre du traditionnel clivage droite-gauche. Il présente ensuite une évolution de ce schéma suite à l'accroissement de la tension, qui sollicite la troisième dimension. Le sociologue suppose l'irruption d'un troisième *attracteur de reconfiguration* (*ibid.*, p.45). Il distingue au final 4 attracteurs opposés deux à deux (*ibid.*, p.136), comme l'illustre la carte [*hoa*]. Ce pivotement définit de



C116 — [hoa] — humain, où atterrir ?

187. Des bilatériens développent également des symétries radiales, comme l'étoile de mer

nouveaux jeux d'alliances. Sur ces deux axes nous retrouvons une double opposition *unique* (recentrage) et *multiple* (expansion) sur laquelle s'*organisent* nos sociétés.

Pour rendre opérationnel ces résultats de recherche, nous avons également produit des outils qui constituent les trois autres facettes de notre modèle de représentation. Nous les présentons ci-après.

2.3. Design d'un instrument d'observation (R3)

2.3.0 Introduction (R3)

Le premier outil que nous présentons pour appréhender la transformation de l'organisation est un **instrument d'observation**. Cet outil a une histoire qui s'étale sur plusieurs décennies. En effet, il a émergé progressivement après une douzaine d'années de pratique dans la conception de systèmes d'information éditoriaux entre 1990 et 2002. Comme introduit dans la partie cadrage, notre activité en architecture de l'information nous a conduit à identifier des invariants dans l'accès à l'information, quel que soit le corpus et le domaine considérés : corpus lexicographique et encyclopédique de langue française (dictionnaire électronique Hachette, Larousse, Encyclopædia Universalis) et anglaise (dictionnaires Longman, Oxford English Dictionary), bases de données juridiques et fiscales françaises (éditions Lamy) et marocaines (Artémis), bases de données génétiques (Genatlas du professeur Frézal), information médicale (Le Quotidien du médecin), guide touristiques (Le Routard, Michelin), actualités (brèves de l'AFP) et historique (Le Monde), annuaires (Inserm), séries animées (Alphanim-Gaumont) et 3d (studio IETIS). Ce constat nous a conduit à analyser l'information autour de trois axes principaux. Nous précisons cette première version ci-après dénommée le s*émioscope*, puis la production qui en résulte, les graines d'information.

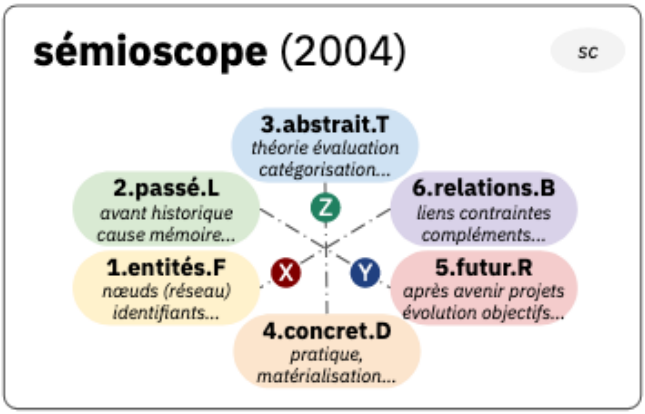
2.3.1. Du « sémioscope » aux « graines d'information »

En 2004, nous avons posé la définition suivante : « *Le* **sémioscope** *est un instrument d'observation qui permet d'identifier et analyser des signes et informations liés aux choses afin de les comprendre et les organiser. C'est à la fois un outil de découverte des dimensions multiples des choses mais aussi un outil d'analyse des relations entre ces choses. Révélant leurs traits caractéristiques, il permet de "créer des liens" dont la perception varie en fonction du contexte, des individus et du temps.* »[188]

188. Texte issu de l'*enveloppe Soleau* que nous avons déposée à l'INPI en 2004. « *L'enveloppe Soleau, du nom de son créateur, est un moyen de preuve simple et peu coûteux.* » Source, INPI : https://www.inpi.fr/fr/proteger-vos-creations/lenveloppe-soleau/enveloppe-soleau

L'analyse s'appuie sur trois axes orthogonaux portant, pour le premier, une dimension à la fois spatiale/ontologique/existentielle/identitaire, qui relie deux pôles entités et relations, pour le second, une dimension temporelle/causale, qui relie deux pôles passé et futur, pour le troisième, une dimension qualifiée de structurelle/organisationnelle/hiérarchique, qui relie deux pôles abstrait et concret. Ainsi la découverte d'un corpus appartenant à un nouveau domaine de connaissances se faisait en abordant trois chapitres complémentaires avec quelques recoupements inévitables qui permettaient de s'assurer de la bonne compréhension. Leur enchaînement n'était pas imposé, et leur traitement était ad'hoc, généralement sur un mode itératif. L'essentiel était dans notre modélisation actuelle d'identifier les pleins et les vides. Les pleins sont des centres autour desquels l'information s'architecture. Les vides à l'inverse sont des non-dits, des évidences ou des refoulés, dont l'importance est cruciale car leur oubli fragilise l'édifice. Le premier chapitre a pour objectif d'appréhender le sujet à traiter et son contexte, c'est-à-dire d'identifier son cœur et son périmètre, défini par les relations à son environnement. Cette première investigation est loin d'être évidente car les fondamentaux sont souvent des connaissances implicites. Pratiquement, il s'agit de répondre aux questions « qui/quoi » et « où », articulant les deux pôles de l'axe ontologique. La finalité du deuxième chapitre est de comprendre la genèse des entités considérées, leurs évolutions dans le temps, et celles de leurs interactions. Cet axe du changement est soutenu par la question « quand », déclinée en « depuis quand » et « jusqu'à quand », soit deux deux pôles passé et futur. La causalité est également traitée sur cet axe temporel. Le troisième chapitre traite de la structure, de ses niveaux et de sa modularité. L'investigation s'appuie sur la question « comment », qui appelle également le « pourquoi ». Cet axe organisationnel fait ressortir les hiérarchies et identifie les priorités. Ce modèle a fait l'objet d'un dépôt d'une *enveloppe Soleau* à l'INPI, et d'un module d'un cours sur l'ergonomie numérique en master 2 Pro en Sciences du langage, Gestion des connaissances, formation ouverte et à distance à l'Université Paul Valéry (Ingénierie pédagogique en multimédia). Nous l'avons également utilisé systématiquement durant une

douzaine d'années dans le cadre de notre activité de conseil pour aborder toute problématique d'organisation de l'information. Prémisse au travail graphique engagé sur nos modèles de représentations, nous avons formalisé, produit et testé un ensemble de formes, schémas et objets, utilisés dans des supports pédagogiques. Les conventions étaient choisies pour faciliter la mémorisation du modèle : pôles positionnés dans les trois dimensions de l'espace sur trois axes orthogonaux X, Y, Z – en utilisant une codification anglo-saxonne, *F* pour *Front*, *B* pour *Back*, *L* pour *Left*, *R* pour *Right*, *T* pour *Top* et *D* pour *Down* – numérotés de 1 à 6, avec attribution d'un signe et d'une couleur spécifique comme illustré par la carte [*sc*].



C117 — [sc] — sémioscope

Relativement abstrait, cet outil d'observation et d'analyse nous a conduit à traduire ou réinterpréter d'autres représentations, méthodes et théories dans ce formalisme. Citons par exemple *La Pyramide de Maslow*, étendu avec suppression de la hiérarchie, le *cycle de Norman*, qui fournit un cadre de référence pour analyser et raisonner sur les phénomènes cognitifs intervenant sur les interfaces entre l'homme et la machine, la méthode de gestion *D.P.P.O (Direction Participative Par Objectifs)* ou la *théorie constructale* d'Adrian Bejean. Dans le domaine des système d'information, qui relevait de notre domaine d'intervention, nous avons utilisé le *sémioscope* pour définir un modèle de navigation au sein d'un CD-ROM, structurer un rapport imprimé, structurer un appel d'offre, ou spécifier l'organisation d'un studio d'animation 3D. La flexibilité de ce modèle relationnel s'exprimait par l'analyse des relations entre les pôles. En reliant les six pôles nous obtenons un graphes de 15 arêtes (5+4+3+2+1), établissons 36 relations (6x6) entre les sommets et définissons 64 états (2^6) à partir d'une codification binaire. Cet outil est au centre de notre modélisation : il a conduit dans un premier temps à découper

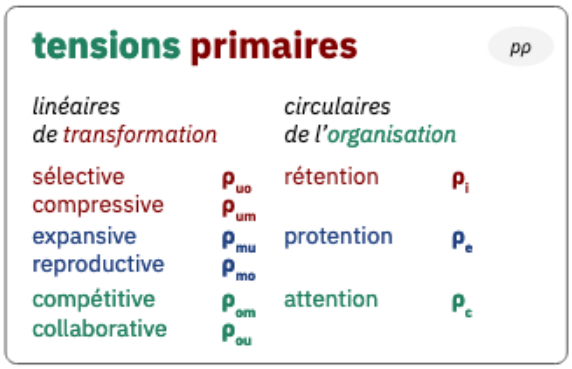
l'information selon une logique que l'on pourrait qualifier de nonaire, en additionnant les 3 axes aux 6 pôles. La recherche de termes génériques pour qualifier ce découpage, nous a ainsi conduit à définir en 2014 une unité élémentaire de sens appelée *graine d'information* (Lacombe, 2015). La mise en relation de ces graines nous a mené au concept de *schéma de transformation*, la transformation étant celle de la représentation. L'étude du potentiel d'une schématisation dynamique de l'information nous a ensuite conduit à engager cette thèse en 2017. La réutilisation de ce modèle dans une recherche amont nous a guidé dans la modélisation des principes de transformation et d'organisation. En repartant de ces principes amont, nous avons métamorphosé le s*émioscope* en un instrument d'observation désigné dans un premier temps comme *compas sémiotique*, que nous présentons ci-après.

2.3.2. Un « compas sémiotique »

Le choix du terme compas a été guidé par une intention : trouver un terme du langage courant qui permette de se repérer dans le *monde numérique*. Le numérique étant fluide, le terme compas s'est imposé[189] : dans son sens commun le compas désigne un « instrument servant à prendre ou à reporter des mesures » (CNRTL). En termes de marine et d'aéronautique, un compas est une « boussole de navigation » (CNRTL), un objet qui sert à s'orienter. Le *compas sémiotique* est donc défini comme un instrument d'observation de la relation dynamique entre les boucles de l'organisation et les attracteurs de transformation. Il s'appuie sur trois axes de mise en perspective. Chaque axe sert de support de projection des tensions sur l'organisation que nous récapitulons avant de préciser les axes. En effet, nous avons précédemment identifié deux formes de tensions primaires. Les 3 tensions de transformation entre les attracteurs et les trois tensions autour des composantes de l'organisation. A ces tensions primaires s'ajoutent des tensions composites déduites des précédentes. La carte [*pp*] récapitule ces neufs tensions.

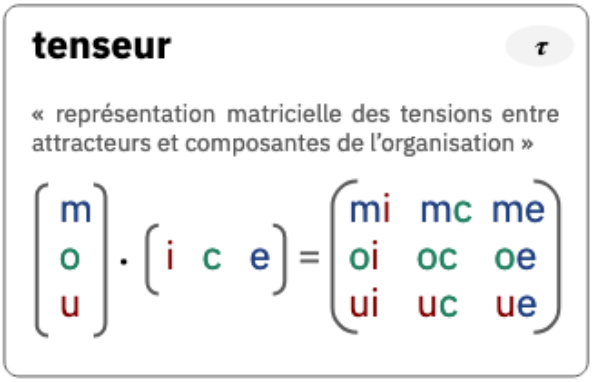
189. Il présente également l'avantage de faciliter la mémorisation de la suite des concepts, selon l'ordre alphabétique ABCD, pour Attracteur, Boucle, Compas, Descripteurs

Nous définissons maintenant l'axe X comme le support de projection des tensions de l'organisation entre l'*espace interne* **>i<** et l'*attracteur unique* **)u)**. Cet axe est de nature ontologique. Nous l'appelons **axe existentiel**. C'est également celui de la communication, celui du *DIRE* car chaque élément de langage concrétise une unité extraite d'un milieu. Il potentialise, à l'inverse de l'axe Y qui actualise. L'axe Y est défini comme le support de projection des tensions de l'organisation entre l'*espace externe* **<e>** et l'*attracteur multiple* **(m(**. C'est l'**axe opérationnel**, celui du *FAIRE*. Tout action provoque des effets multiples du fait du phénomène de transduction vu précédemment. Le troisième axe Z est le support de projection des tensions de l'organisation entre le *centre organisateur* **/c/** et l'*attracteur organisationnel* **(o)**. C'est autour de cet axe que se structure le milieu interne et s'aménage l'environnement externe. Nous l'appelons **axe architectural**.

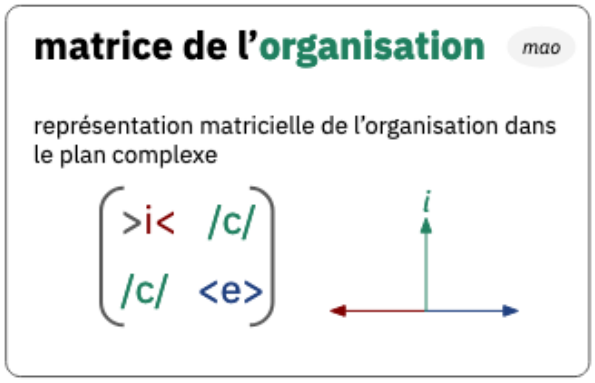


C118 — [pp] — tensions primaires

Nos recherches sur ce troisième modèle de représentation nous conduisent à proposer une modélisation mathématique des différentes tensions à l'aide d'un *tenseur*. Rappelons qu'un tenseur est défini comme une « *entité géométrique qui possède 3^n composantes dans un système de coordonnées à trois dimensions (n étant le rang ou ordre du tenseur) et qui a été imaginée à propos du calcul des tensions dans un milieu élastique* » (Mathieu et al., 1983). Nous définissons donc un nouvel objet auquel nous attribuons le symbole **τ**. Cette partie reste prospective. Nous avons ébauché à un premier niveau une représentation matricielle de la transformation des organisations selon deux modèles. Le premier considère un vecteur colonne associé aux attracteurs et un vecteur ligne associé aux composantes de l'organisation. Leur produit compose une matrice à neuf termes. Dans le second, nous codons l'état de l'organisation en utilisant le plan complexe. Nous définissons ainsi une matrice carrée, représentative de l'état de l'organisation. Les cartes [**τ**] et [*mao*] illustrent ces deux stratégies.



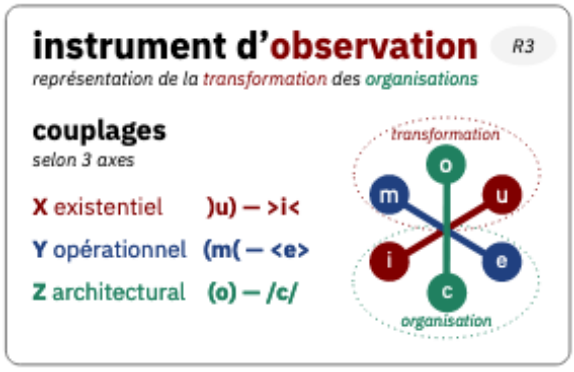
C119 — [τ] — tenseur



C120 — [mao] — matrice de l'organisation

Cette deuxième représentation invite à coder également l'opérateur de transformation sur le même principe, c'est-à-dire avec une matrice carrée, afin de formuler un changement d'état par un produit vectoriel. Rappelons que la multiplication des matrices n'est pas commutative par défaut, ce qui est conforme à la réalité de la transformation des organisations. Dans un premier essai nous avons ainsi représenté les 8 états de l'organisation, ainsi que les 4 opérateurs de transformation, déclinés en deux modes majeur et mineur.

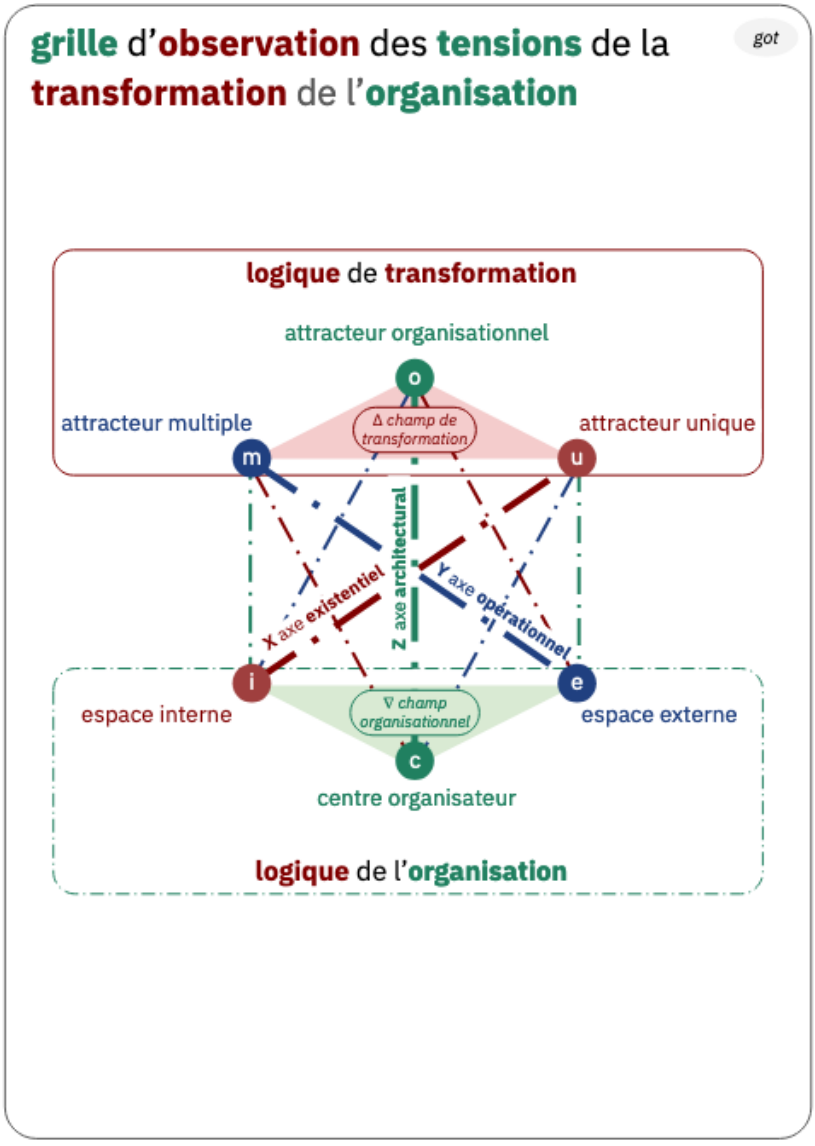
Sur le principe des représentations *R1* de la transformation et *R2* de l'organisation, nous proposons la représentation *R3* de cet instrument d'observation, illustrée par la carte [*R3*]. Elle synthétise la grille d'observation des tensions que nous présentons ci-après.



C121 — [R3] — instrument d'observation

2.3.3. Grille d'observation des tensions

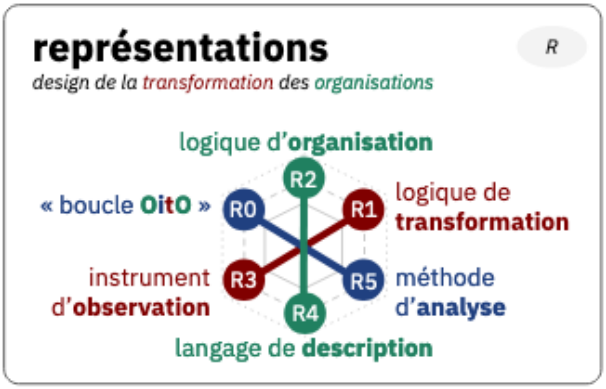
La grille d'observation des tensions présentée sur la carte [*got*] s'articule autour des trois axes précédemment définis, l'*axe X existentiel*, l'*axe Y opérationnel* et l'*axe Z architectural*. Elle positionne les six *tensions primaires* de notre modélisation. Les trois tensions relatives à la transformation sont situées dans le *champ de transformation* entre les trois attracteurs, *unique*, *multiple* et *organisationnel*. Les trois boucles de tension primaires de l'organisation — *attention*, *protention*, *rétention* — forment un entrelacs dans le *champ organisationnel*. L'espace vide entre les deux champs, de transformation et organisationnel, est un espace informationnel dans lequel s'inscrit le *langage de description*, que nous présentons dans la section suivante.



C122 — [got] — grille d'observation des tensions transformant l'organisation

2.3.4. Conclusion (R3)

A l'origine de nos travaux de recherche, cet instrument d'observation de la transformation des organisations reste central. Il a évolué pour devenir dans sa version actuelle le pivot entre une production aval, un *langage de description*, et une production amont, nos recherches sur le *principe de transformation* et le *principe d'organisation*. Il nous sert de boussole pour identifier les facteurs clés de l'organisation et des transformations qui l'affectent et qu'elle effectue. Les deux intérêts principaux sont sa dimension heuristique qui nous oriente dans les espaces à investiguer et sa dimension architecturale qui nous permet d'organiser l'information. Sa particularité est de ne pas imposer de sens dans l'observation des objets et phénomènes. Malgré son ancienneté, cet outil reste en chantier : la codification matricielle reste à l'état d'ébauche.



C123 — [R] — représentations

Pour illustrer un usage des trois axes, nous avons cartographié l'ensemble de notre modèle de représentation comme l'illustre la carte [*R*]. Notre point de départ est la représentation *R0*, « *boucle OitO* », formalisée par un *multiple* constat sur la transformation de l'organisation. Nous avons focalisé nos recherches sur la transformation, pour produire à partir de la logique de l'énergie, d'une part une *logique de transformation*, *R1*, d'autre part une *logique d'organisation*, *R2*. Au cœur de notre production, l'*instrument d'observation* de la transformation des organisations, *R3*, nous permet d'instancier un *langage de description* de la transformation des organisations, *R4*, que nous présentons ci-après. Nous terminerons par une *méthode d'analyse* de la transformation des organisations, *R5*, outil de repérage des *multiples* trajectoires.

2.4. Design d'un langage de description (R4)

2.4.0. Introduction (R4)

Le deuxième outil de notre modélisation est un **langage de description** de la transformation de l'organisation. S'appliquant aux organisations tant individuelles que collectives, il dérive d'un concept proposé en 2015, la *graine d'information*, à partir du s*émioscope* précédemment présenté. Nous en rappelons la genèse. Les travaux de recherche sur la transformation de l'organisation nous ont conduits à ajuster la formalisation du modèle des graines et à le relier aux deux premières représentations, dont il émerge. Par étapes, nous avons rendu ce modèle opérationnel en développant un langage de description dont nous présentons la sémantique et la grammaire, étude systématique des éléments qui le constitue. La syntaxe est en cours de développement, en relation avec le concept de *schéma de transformation de l'organisation*, et celui de *pattern* ou modèle d'organisation.

2.4.1. Genèse des graines d'information

Pour resituer le contexte d'apparition du concept de graine d'information, nous revenons sur notre parcours professionnel pour préciser notre positionnement. En effet l'informatique réunit un ensemble de spécialités, qui parfois s'opposent — matériel versus logiciel, application vs contenu, monoposte versus réseau, local versus online, propriétaire vs open source, données versus document … — avec des spécialités comme l'interface utilisateur ou la sécurité. Notre activité se situait d'une part à l'interface entre les utilisateurs et les développeurs, d'autre part entre deux univers, celui des bases documentaires et celui des bases de données. En effet, rendre disponible une encyclopédie sur un CD-ROM ou sur le Web suppose de traiter non seulement des documents éditoriaux sous une forme semi-structurée, décrit dans un langage de balisage comme vu précédemment (cf. encadré E29) mais également de produire les index d'accès à ces documents dans des bases de données. Durant cette activité de conception, et de veille technologique associée, nous avons ainsi abordé différents modèles logiques, *relationnel* pour gérer les

index, *documentaire* pour les articles*, orienté objet* pour le logiciel applicatif, puis plus succinctement les entrepôts de données du web sémantique (*RDF Store*), les séries temporelles (*Time Series*) et les bases de données *graphe* afin de dépasser les limites du modèle relationnel[190]. Nous en rappelons ci-après les enjeux.

2.4.2. Données versus Documents

La différence entre bases de données et bases documentaires est à rapprocher de l'opposition entre la machine et l'utilisateur. L'ordinateur traite des chiffres, l'utilisateur non informaticien raisonne historiquement sur des documents découpés en pages. La difficulté se trouve dans cette dichotomie. L'ordinateur est un calculateur qui manipule des chiffres en base 2 : tous les signes sont codés uniquement avec des 0 et 1. Par exemple, le caractère A vaut ainsi 65 en décimal dans le Code américain normalisé pour l'échange d'information (ASCII, American Standard Code for Information Interchange), codé sur 7 bits soit *1000001*. Un document texte, composé d'un ensemble de mots, composé d'un ensemble de lettres, n'est donc qu'une suite de bits, sans signification a priori.

A cette division extrême s'oppose un concept intégré, celui de la page, support de manipulation privilégié depuis la renaissance avec l'apparition du codex. Devenu un référentiel, il continue de s'imposer sur les réseaux avec la page web, le courrier électronique et un format dédié à l'impression, le PDF (*Printable Document Format*). Mais les technologies informatiques perturbent le document et vont :

- séparer le contenu de son support avec les bases de données[191] :
- multiplier les contenus : la copie numérique, la version,
- faire varier les formats : chaque éditeur de logiciel tentant d'imposer le sien, les instances de normalisation reconnaissant des *standards de fait*, en complément aux standards ouverts[192].

190. Pour un aperçu technique général : https://db-engines.com/
191. Cf. http://www.csszengarden.com/tr/francais/
192. Pour la bureautique, norme OpenDocument ISO 26300 de 2006 face à Office Open XML ISO/CEI 29500 en 2008

- concentrer le stockage : nécessite des traitements algorithmiques pour y accéder, une indexation et un filtrage
- mais surtout omettre l'ajout de repères : par exemple la référence au contexte (auteur, date, lieu) n'est pas dans le standard HTML, mais ajouté "à la carte" dans des métadonnées, données au delà des données, décrivant les données

Cette absence de sémantique intégrée au numérique a posé des difficultés au document traditionnel, qui s'est progressivement trouvé face à un nouvel enjeu résumé ainsi : « *Le projet de l'ingénierie documentaire - et de la littératie numérique - est d'instrumenter (inventer et comprendre) des constructions numériques qui se substituent au document pour remplir ses rôles.* » (Crozat, 2019)

Le traitement de la sémantique a rapidement été le projet d'intelligence artificielle, dont nous rappelons quelques initiatives clés :

- **FRL**, *Frame representation language*, de Marvin Minsky, qui repose sur une repose sur une structure globale standardisée appelée frame, pour contextualiser les actions réciproques entre règles et données
- les **primitives sémantiques** de Roger Schank qui définissent un jeu d'actions de base, de rôles conceptuels, de modalités, de causalités et de quantification des états
- **Cyc**, de Douglas Lenat, ontologie globale associée à une base de connaissance générale, pour permettre aux applications d'intelligence artificielle de suivre un raisonnement sous une forme similaire à celui de l'être humain.
- **Web sémantique**, initié par Tim Berners Lee, pour passer du W3 (World Wide Web) au G3 (Global Giant Graph), en connectant les triplets sujet, prédicat, objet du format RDF, *Resource Description Framework*.
- les initiatives sur les **micro-données**, pour améliorer les performances des

moteurs de recherche, en particulier avec le standard schema.org, pour permettre aux robots d'indexation de saisir plus précisément le sens des pages indexées

- l'**IEML**, *Information Economy Meta Language*, de Pierre Lévy, qui cherche à relier le langage courant à la combinaison de 6 opérateurs élémentaires de la réflexion, comme vu précédemment (cf §. 1.1.5.). Cette approche traduit une intention unificatrice avec un adressage universel des concepts dans la sphère sémantique, constituant le sommet de la pyramide algorithmique.

Mentionnons également l'AFC, *Analyse Formelle des Concepts* (Huchard, 2012), avec une définition des concepts par *intension* et *extension*, l'*extension* étant l'ensemble des objets qui appartiennent au concept tandis que l'*intension* est l'ensemble des attributs partagés par ces objets.

Les perturbations que le numérique fait subir à la page se répercutent sur le *document* dont l'étymologie mérite d'être rappelée : il est emprunté au terme latin classique *documentum* « enseignement », du bas latin « acte écrit qui sert de témoignage, preuve », dérivé de *docere* « enseigner, informer » selon le CNRTL. Le document ne se limite donc pas au texte. En plus de sa dimension langagière et symbolique — le symbole est originairement signe de reconnaissance et indice référentiel[193] — il intègre la dimension illustrative, visuelle et sonore, donc spatiale et temporelle, ainsi que la dimension générative, avec le code programmatique.

Ce qui fait dire à Stéphane Crozat que « *le document numérique n'existe pas, il faut l'inventer* » (Crozat, 2019). Pour l'inventer peut-être faut-il lui trouver un nouveau nom. Le document devient ainsi dynamique, un document pour l'action ou DOPA, « *supports à la coordination d'un collectif distribué engagé dans une activité commune finalisée* » (Zacklad, 2005). Fluctuant, il est à l'image de *l'homme, un document comme les autres* (Ertzscheid, 2009). Ces considérations amènent à reconsidérer les outils d'édition (Vitali-Rosati, 2015) d'autre part l'adaptation des systèmes d'information selon le « *constructivisme numérique* » (Verlaet, 2015)

193. https://www.persee.fr/doc/phlou_0035-3841_1959_num_57_54_4995

2.4.3. Qualifier le document numérique, un ondoyant

Nous reproduisons dans le tableau T27 l'évolution de la forme des documents, extrait d'un article de novembre 2001 sur *XML pour la production de documents multi-supports*, envisagé pour l'éditeur *Techniques de l'ingénieur*[194]. Nous y proposions un nouveau terme pour désigner la forme que prenait le document à l'ère numérique, le qualifiant d'**ondoyant**. Ce terme signifie « *qui est mobile et change aisément* » (Le Petit Robert). Cette caractéristique fondamentale traduit un changement de **noème**, « *unité minimum de sens, inanalysable, constituant un primitif sémantique, du code qui construit le sémantisme d'une langue* » (CNRTL) : le *noème de la photographie* — « *ça a été* » – (Barthes, 1980) faisait désormais place au *noème du numérique* — « *ça a été manipulé* » (Bachimont, 2007:33). Rappelons cependant que la manipulation n'a pas attendu le numérique pour se manifester : elle était déjà au cœur des images fixes et animées, comme par exemple celles de la propagande ou des créations de l'art vidéo.

T27 — Evolution de la forme des documents

seuil		mi XVe s.		mi XXe s.	
technologie		caractères mobiles		réseau numérique	
forme	*manuscrite*	*imprimée*		*ondoyante*	
(re)production	écrit à la main	reproduit par l'imprimerie		diffusé par le réseau	
dispositif technique	outil	machine		appareil	
support	papier	papier		papier + écrans	
énergie	musculaire	mécanique		électr(on)ique	
quantité	unique	multiple (1)		in(dé)finie (2)	
diffusion	confidentielle	étendue		illimitée (3)	
contexte	transmission	communication		individuation	
centre	temps	espace		espace-temps	

Notes associées au tableau T27 :

194. Cf. https://www.techniques-ingenieur.fr/

(1) de quelques exemplaires à plusieurs millions[195]

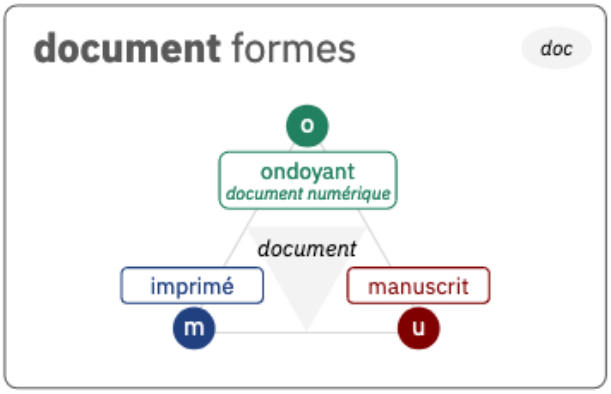
(2) la source numérique permet une reproduction *à l'identique* et *à la demande*.

(3) dans le temps et l'espace.

Ce tableau répertorie trois périodes délimitées par deux seuils correspondants à des changements de technologie. La transition entre les trois périodes a été progressive et les items mentionnés ne cherchent qu'à faire émerger des points de saillance. Nous désignons par *caractères mobiles* le procédé d'impression mis au point par Gutenberg et dérivé d'une invention chinoise. Les procédés d'imprimerie se sont enrichis, diversifiés (lithographie, héliogravure, offset…) et continuent d'évoluer (impression 3D). De même l'énergie utilisée pour la fabrication et le transport est progressivement passée de l'usage de la force musculaire — principalement humaine pour la fabrication et animale pour le transport — à une énergie mécanique suite à la révolution industrielle. Elle s'appuie aujourd'hui sur les propriétés liées à l'électron tant pour la gravure, que pour la transmission ou l'affichage. L'effet multiplicateur de ces technologies ont eu un effet sur la diffusion et les contextes d'usages. Nous relevons que d'une activité centrée sur le temps, dans un contexte de transmission, la perspective change au moment de la Renaissance, entraînant l'humanité dans une nouvelle ère. Nous ne détaillerons pas ici les facteurs liés à ce point de bascule mais signalons simplement quelques changements de représentations : l'homme découvre qu'il n'est plus au centre du système solaire, parallèlement il lance de grandes explorations comme pour retrouver une place, légitime, raisonnable et supportable. Les activités se centrent alors sur l'espace, initiant une première mondialisation économique. Ce brassage fait évoluer les théories scientifiques aboutissant à la fusion des concepts d'espace et de temps avec Einstein et la relativité générale. Une nouvelle représentation émerge, cherchant à unifier cette théorie avec celle de la quantique. La forme du document semble suivre ce parcours : au manuscrit *unique*, succède l'imprimé *multiple*, puis

195. Le numérique renforce cette multiplication par le processus de fragmentation évoqué en partie 1. Les fragments sont produits et assemblés par la machine, et l'humain aidé de la machine, ce qui fait dire en 2009 à Benjamin Bayart, ingénieur et défenseur des libertés sur internet, « *L'imprimerie a permis au peuple de lire, Internet va lui permettre d'écrire* » - cf. https://www.laquadrature.net/2009/10/16/ecransfr-l-imprimerie-a-permis-au-peuple-de-lire-internet-va-lui-permettre-d-ecrire-benjamin-bayart/

l'*ondoyant*, document numérique *fluctuant*. Nous retrouvons la trace des trois attracteurs de transformation, comme illustré sur la carte [*doc*]. Notons une autre terminologie proposée par le pionnier de l'internet Jean-François Morfin, le **perférent**, « *un texte dynamique en cours d'évolution, ou tel qu'actuellement parvenu à son destinataire* » (Morfin, 2019).



C124 — [doc] — document, formes

Cette vision est à mettre en perspective avec la chaîne de production du document. Si l'on considère l'histoire des modes de fabrication « *on peut y distinguer grosso modo les périodes suivantes : celles de la main, de l'outil, de la machine, des appareils* » (Flusser, 2002:70) Le philosophe considère l'arrivée de l'outil comme la première révolution industrielle et date la seconde d'environ deux cent ans en précisant : « *les machines ce sont des outils qui ont été conçus et fabriqués d'après des théories scientifiques, ce qui les rend plus performantes et plus fiables, plus rapides et aussi plus coûteuses* » (*ibid.*, p.72). La troisième révolution est toujours en train de se faire selon l'auteur, qui établit la distinction entre la machine et l'appareil : « *les machines sont des outils qui furent conçus d'après des théories scientifiques au temps ou la science, c'était avant tout de la physique et de la chimie ; quant aux "appareils", ils peuvent mettre en application, en même temps, des théories et des hypothèses biologiques et neurophysiologiques.* » Appliquant cette théorie au document, nous établissons un parallèle entre le manuscrit et l'outil, l'imprimé et la machine, le document numérique et l'appareil. Nos systèmes éducatifs et nos schèmes mentaux évoluent à un rythme différent de celui des découvertes. Nous précisons dans l'encadré E35 la logique du système éducatif, héritage de la deuxième révolution industrielle. Ce point de vue retranscrit le rôle dominant de l'outil technique dans les systèmes sociotechniques.

E35 — Le système éducatif, d'après Vilém Flusser

Sur les systèmes éducatifs Vilém Flusser (2002) explique leur organisation : « *Pour utiliser les outils, le fabricant [...] devait acquérir par expérience l'information nécessaire. Les machines, elles, requéraient la maîtrise d'informations non seulement empiriques mais aussi théoriques, ce qui explique la scolarisation obligatoire : il fallait des écoles élémentaires pour apprendre à servir les machines, des écoles de niveau moyen pour apprendre à les entretenir, des écoles supérieures pour apprendre à en construire de nouvelles.* » (*ibid.*, p.76)

Le big data s'inscrit dans cette continuité. Pour conserver un contrôle humain sur l'information, autre que la vision du programmeur ou financeur du programme, apparaît le besoin d'un découpage intermédiaire, entre la page et la data. C'est ainsi que pour structurer le document numérique, nous sommes arrivés à définir une unité sémantique élémentaire, la « graine d'information ».

2.4.4. Structurer le document numérique : la « graine d'information »

La « **graine d'information** », unité sémantique élémentaire, constitue une proposition de modélisation de l'information pour en faciliter l'organisation et en optimiser la gestion tant à titre personnel que collectif, quelle que soit la nature de l'information à gérer. Le terme de *graine* exprime à la fois un concentré, l'objet graine, et un potentiel combinatoire, qui s'actualise par son champ relationnel. Les représentations construites s'expriment à l'aide de graphes, appelés *schémas d'organisation*, qui combinent des *descripteurs*, les *graines d'information* qui potentialisent les nœuds des graphes, et des *constructeurs*, arêtes du graphe qui actualisent les relations entre ces graines.

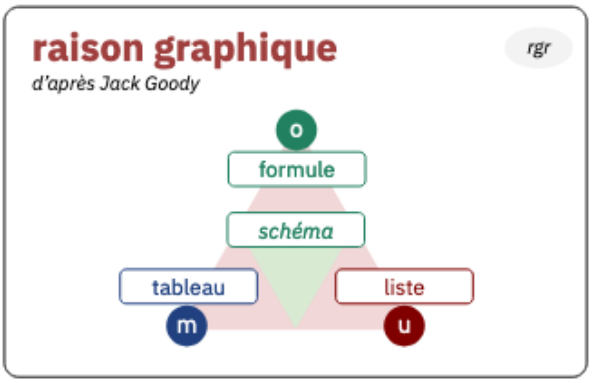
Cette unité répond aux deux contraintes suivantes : un usage direct par l'être humain sans passer par la machine mais une utilisation possible de la machine pour la gestion du calcul et du volume, du point de vue des stocks et des flux; un affichage multi-support, en particulier les interfaces mobiles, comme les smartphones et montres connectées.

La *graine* est également adaptée à la **raison computationnelle** (Bachimont, 2004). La *raison computationnelle* s'inscrit dans la *théorie du support* que propose Bruno Bachimont, dans la continuité des travaux de l'anthropologue Jack Goody sur la **raison graphique** (Goody, 1979). Repris des travaux de l'auteur, et complété par le processus associé, le tableau T28 établit la correspondance entre ces deux raisons.

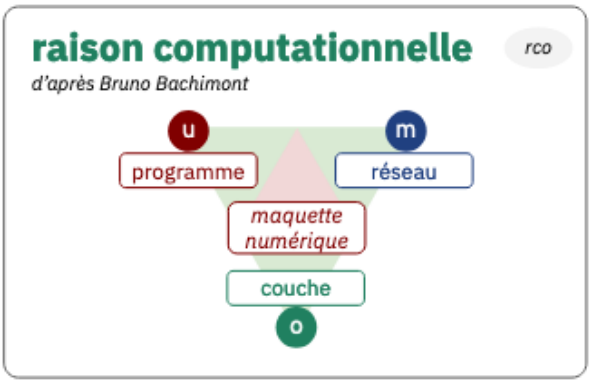
T28 — Raison graphique, computationnelle et processus

Raison graphique	*Raison computationnelle*	*processus*
Liste	*Programme*	*potentialisation*
Tableau	*Réseau*	*actualisation*
Formule	*Couche*	*intégration*
Schéma	*Maquette numérique*	*représentation*

Précisons notre interprétation de ces deux représentations dans le cadre de notre modélisation, telles qu'illustrées par les cartes [*rgr*] et [*rco*].



C125 — [rgr] — raison graphique



C126 — [rco] — raison computationnelle

Dans la *raison graphique*, la *liste* augmente la mémoire immédiate humaine. Elle appelle l'ordonnancement et définit une priorité : la *tête de liste* est unique. Le *tableau* a une fonction à la fois complémentaire et opposée. Il réunit de multiples valeurs, qu'il permet de comparer, induisant des classifications[196]. La *formule* intègre les résultats des *observations scientifiques* donnant naissance à l'équation. Ce processus d'abstraction conduit au *schéma*, représentation de l'*organisation*. La *formule*, qui incarne la *connaissance*, ouvre à la *commande*[197]. Nous pouvons ainsi dire que la *raison graphique* a conduit à une maîtrise de la *transformation*.

La *raison computationnelle* présente une symétrie par rapport à la *raison graphique*. A la liste succède le *programme*, liste d'instructions, qui s'appuie sur un code : *code génétique*, *code informatique*, *codes sociaux*... Des deux dimensions du *tableau*, nous passons à la multi-dimensionnalité du *réseau*, qui s'incarne dans les réseaux de transport, les réseau de communication, *les réseaux du sens*. (Chazal, 2000). L'homme étant devenu « *un « réseau pensant », il restait à « penser les réseaux »* » (Parrochia, 2001). Comme la *formule*, la *couche* est intégrative. Mais elle est multi-dimensionnelle, chaque *couche*[198] proposant un *point de vue*. Comme les points de

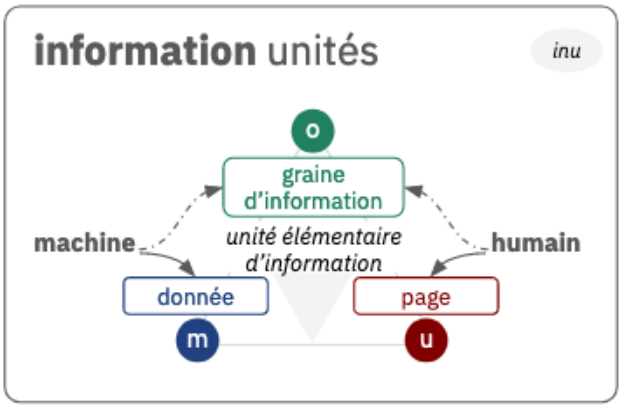
196. Par exemple en sciences naturelles, du système de classification d'Aristote au système de Linné. Toutes les disciplines sont concernées — paléontologie, botanique, astronomie, minéralogie, chimie (tableau périodique des éléments), médecine... — la classification s'applique ensuite aux fonds documentaires : classification décimale de Dewey...

197. Nous retrouvons deux des boucles au cœur du Pentachore des disciplines.

198. Pour donner des exemples d'usages de *couches* : le Modèle OSI (cf. T38), les calques des

vues, les couches se superposent, offrant une vision collaborative. Enfin au *schéma*, statique, succède la *maquette numérique*, dynamique, qui permet la simulation. De la *commande*, nous passons à la *création*. Nous pouvons alors dire que la *raison computationnelle* conduit à une maîtrise de l'*organisation*[199].

Adaptée à la *raison computationnelle*, nous considérons donc la *graine d'information* comme l'une des trois unités élémentaires d'information traitée aujourd'hui : la page, la donnée et la *graine d'information*. La carte [*inu*] positionne ces unités d'information non seulement par rapport aux attracteurs, mais également dans leur relation à l'humain et la machine.



C127 — [inu] — information, unités

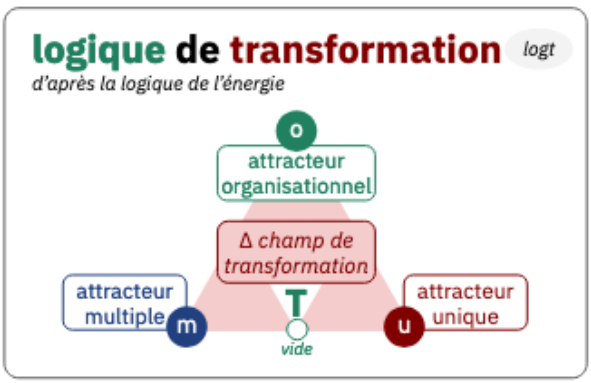
Si le modèle des graines d'information s'est inscrit dans la continuité de nos travaux de recherche issus du terrain, nous en proposons aujourd'hui une approche logique déduite de la transformation de l'organisation.

logiciels de dessins (Photoshop, Gimp), les couches des Systèmes d'Information Géographique, la méthodologie de Garrett (cf. 0.1.3.). En associant la couche à un point de vue individuel, la superposition des couches aide à comprendre l'intérêt de faire émerger un point de vue commun.

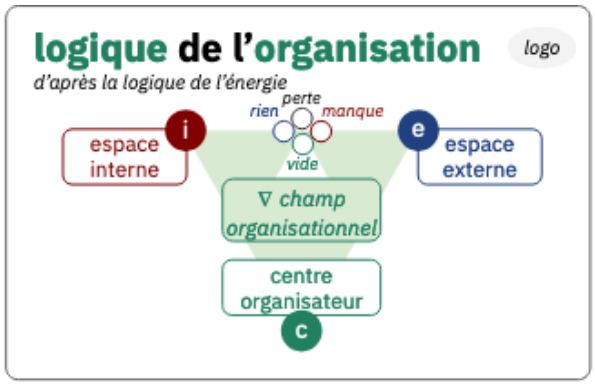
199. Si cela est loin d'être le cas aujourd'hui, nous constatons cependant une tendance dans diverses disciplines comme la biologie avec par exempe le « ciseau génétique » (Crispr/Cas9) ou la robotique avec les systèmes adaptatifs et autonomes.

2.4.5. Modèle logique des graines d'information

Le modèle logique des graines d'information est directement issu de nos essais de représentation des primitives de la transformation et de l'organisation, respectivement les attracteurs et les composantes. Les cartes [*logt*], [*logo*] illustrent ainsi deux premières logiques.



C128 — [logt] — logique de transformation



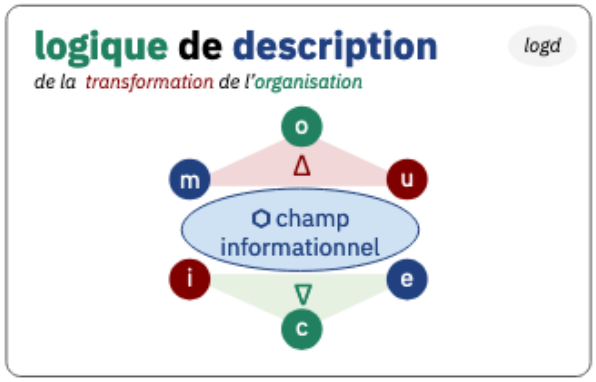
C129 — [logo] — logique de l'organisation

Nous proposons de transposer le premier des écarts entre les attracteurs antagonistes, le *vide*, dans une combinatoire associant l'ensemble des *écarts* de la logique de transformation, c'est-à-dire le *vide*, le *rien*, le *manque* et la *perte* dans la logique de l'organisation. Provoquant des *tensions*, ces *écarts* vont animer l'organisme.

La grille d'observation des tensions entre les composantes de l'organisation et les attracteurs de transformation laisse apparaître un nouvel *état T* entre l'état homogénéisant de l'*organisation* et l'état hétérogénéisant de la *transformation*. Ce tiers-inclus délimite ainsi un *champ informationnel*, codé ⬡, s'inscrivant dans une logique de description — troisième application de la logique de l'énergie — complémentaire à celle de transformation et d'organisation. Les cartes [*loto*] et [*logd*] illustrent cette combinaison entre la *logique de transformation et d'organisation*, qui donne naissance à la *logique de description*.



C130 — [loto] — logique de transformation de l'organisation



C131 — [logd] — logique de description

Le *champ de transformation* est un espace de *tensions* entre les trois attracteurs. Le *champ organisationnel* mesure l'*intensité* des composantes de l'organisation. Produit des deux, le *champ informationnel* permet d'*actualiser* un *potentiel de transformation*[200]. Le tableau *T29* répertorie ces différentes logiques, avec les champs, codes et mesures associés.

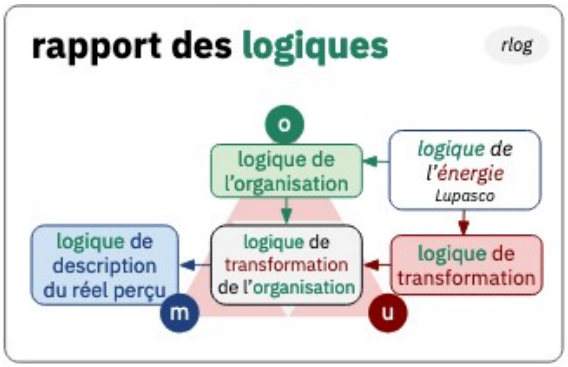
T29 — Logiques et champs

logique	*champ associé*	*code*	*mesure*
logique de transformation	*champ de transformation*	Δ	*énergie* *puissance* *durée* $e = p.\partial t$
logique de l'organisation	*champ organisationnel*	∇	*tension* *résistance* *intensité* $u = r.i$
logique de description	*champ informationnel*	⬡	*distance* *durée* *vitesse* $d = v.\partial t$

La mesure associée à ces différents champs appelle une précision. Dans le *champ de transformation*, c'est la *tension* qui apparait comme les premier facteur de

200. Ce concept mériterait d'être rapproché de l'hypothèse du *champ d'information* ou « *champ akashique* » proposé par Ervin László dans *Science and the Akashic Field: An Integral Theory of Everything*, Inner Traditions International, 2004

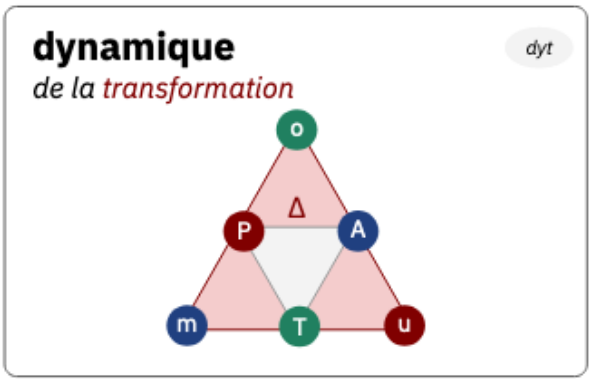
transformation, résultat de l'influence des attracteurs. La *pression* et la *puissance* sont également des indicateurs de mesure courants. La mesure de la *torsion* et du *vortex* semblent actuellement moins développés. Concernant l'organisation, c'est une grandeur intensive, en l'occurrence l'*intensité*, qui nous semble être l'indicateur à privilégier, elle est liée à la *tension* et la *résistance*. Étant donné que la logique de description est au croisement des deux logiques précédentes, c'est naturellement la puissance qui s'impose, en relation directe avec la boucle de commande. Rappelons que l'électronique de puissance permet la conversion sous forme non électronique des signaux[201]. Les paramètres de *distance* et de *vitesse* sont également mesurable dans l'*espace externe*. Le rapport entre ces trois logiques se positionne lui-même dans le *champ de transformation*, comme illustré par la carte [*rlog*].



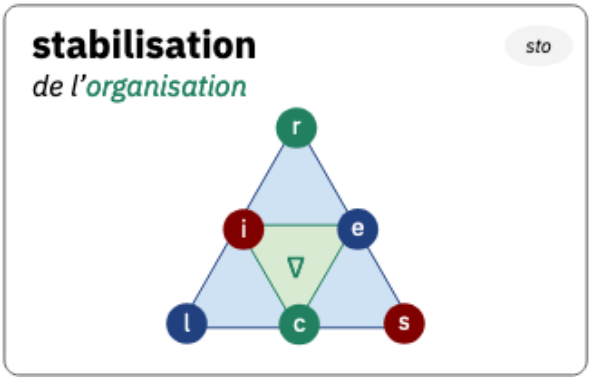
C132 — [rlog] — rapport des logiques

Cette représentation illustre la place centrale de la logique de l'énergie. Nous proposons deux représentations complémentaires, illustrées par les cartes [*dyt*] et [*sto*], qui traduisent respectivement la dynamique de la transformation et la recherche de stabilité de l'organisation, avec ses trois régimes principaux. L'emboîtement de ces différents concepts est illustré par la carte [dto], qui illustre la fractalité du processus de description, à l'image de la fractalité de l'organisation, vue précédemment.

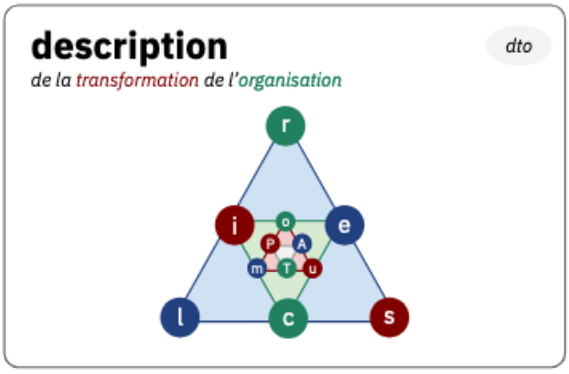
201. Sur ce sujet, on pourra consulter l'encyclopédie *Techniques de l'Ingénieur*, disponible en ligne : https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/outils-d-analyse-en-electronique-de-puissance-et-metrologie-42278210/electronique-de-puissance-bases-perspectives-guide-de-lecture-d3060/ [consulté le 2020-11-30]



C133 — [dyt] — dynamique de a transformation



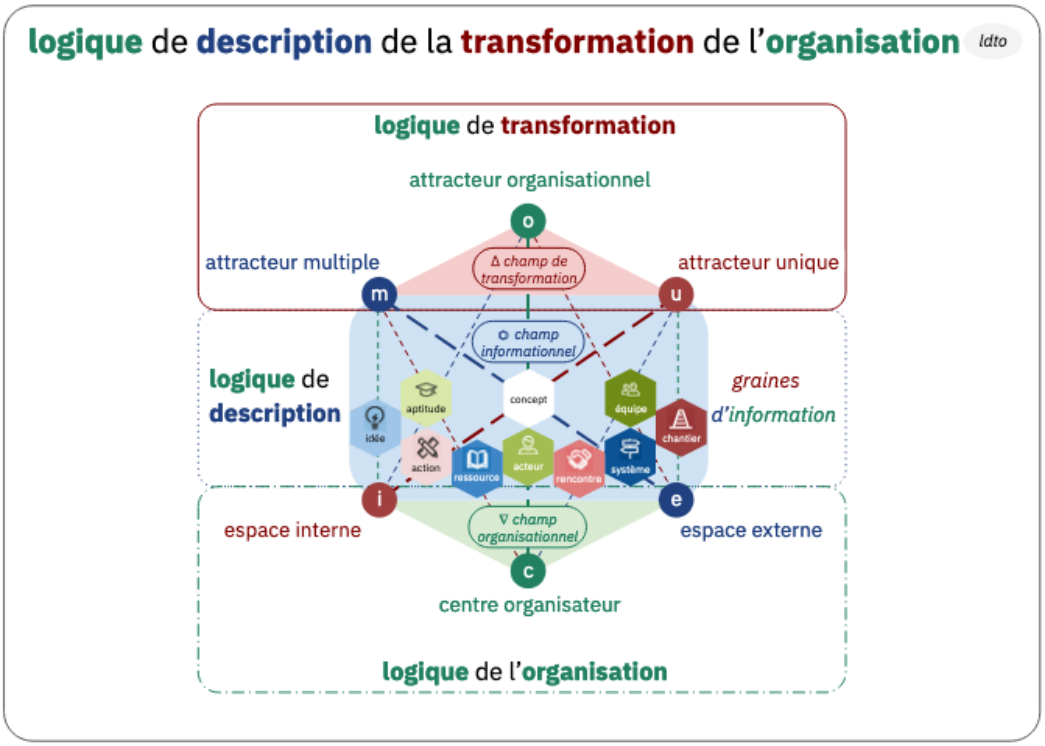
C134 — [sto] — stabilisation de l'organisation



C135 — [dto] — description de la transformation de l'organisation

Au cœur de la *logique de description* nous avons défini un *langage de description de la transformation des organisations* qui s'appuie sur 10 entités primaires qui correspondent aux couplages entre les *attracteurs de transformation* et les *composantes de l'organisation*, comme illustré par le tableau T30 et la carte [*ldto*]. On notera la double symétrie entre la transformation et l'organisation d'une part et entre l'interne et l'externe d'autre part. Le premier axe de symétrie est l'axe architectural de cette modélisation, le deuxième l'espace de description. Ces dix entités, les *graines d'information*[202], se répartissent en plusieurs groupes. Trois graines sont directement reliées aux axes primaires[203] précédemment définis. Six sont à l'intersection de deux axes primaires, nous les décrirons en les projetant sur les trois axes principaux. Une dixième entité, de nature différente, est à l'intersection des trois axes principaux.

202. Le nom indiqué sur chacune de ces entités est secondaire. Nous précisons la raison plus bas.
203. Plus épais sur le schéma



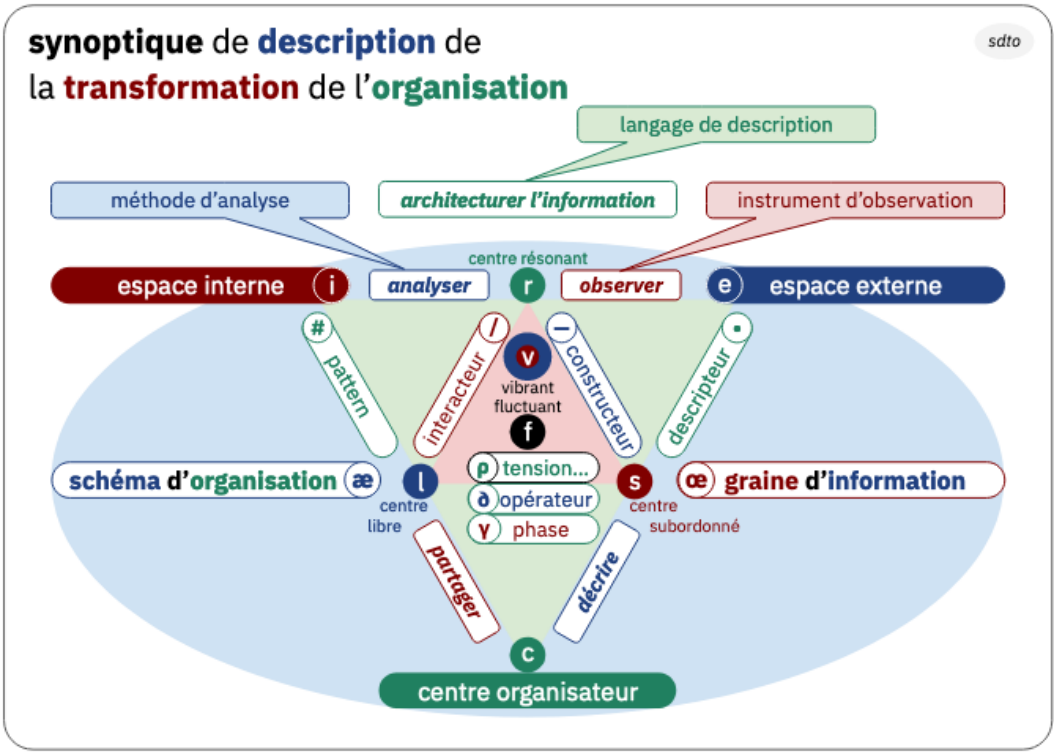
C136 — [ldto] — logique de description de la transformation de l'organisation

Le tableau T30 récapitule les dix natures de graines.

T30 — Logique de description avec des graines d'information

n°	T	O	*désignation des graines d'information*	Δ	∇
1	o	c	acteur	∫	ð
2	u	c	rencontre d'acteurs → interactions	–	ð
3	m	c	ressources utiles à l'action	x	ð
4	m	e	système d'acteurs et d'actions → processus	x	/
5	u	e	projet d'acteurs → fabrication	–	/
6	o	e	groupe d'acteurs → équipes	∫	/
7	o	i	intention d'action → motivation → rôle → capacité	∫	+
8	u	i	action → tâche → instruction → commande	–	+
9	m	i	projet d'action → but, objectif	x	+
0	mixte		abstraction → concept → thématique	mixte	

Elles seront détaillées dans la section suivante, en précisant l'attracteur de transformation et la composante de l'organisation entre lesquels elles se situent. Les termes associés aux descripteurs sont centrés sur l'acteur, l'action et le système d'action, positionnés sur les trois axes principaux. Cette représentation s'inscrit dans la théorie de l'action d'Alain Berthoz, en particulier dans ses deux premiers ouvrages, *Le sens du mouvement* (Berthoz, 1997) et *La décision* (Berthoz, 2003). Ces termes sont complétés par des termes associés[204], certains ayant été retenus par défaut pour nommer les graines d'information. La polysémie des mots nous incite cependant à la plus grande prudence dans leur usage. Les attracteurs agissant de façon combinée on comprend une difficulté d'usage de ce vocabulaire, du fait des glissements de sens possibles. En fin de ligne, nous avons indiqué le couple d'opérateurs mathématiques associé à chacune des graines, pour aider à comprendre les enjeux associés aux descripteurs. Cette interprétation mathématique est développée au § 4.2.1.3. Une vue synoptique de la *description* de la transformation de l'organisation est illustrée par la carte [*sdto*] et le tableau T31.



C137 — [sdto] — synoptique de description de la transformation de l'organisation

204. Ou qui en sont la conséquence directe comme intention et motivation pour le descripteur n°7

Les différents concepts illustrés dans ce schéma sont récapitulés tableau T31 avec leurs composantes et les dynamiques associés, ainsi que leur code. Les concepts

T31 — Éléments de la logique de description

concepts	*relatifs à l'organisation*	*et à la dynamique de transformation*
organisation *R2*	champ organisationnel ∇ espaces interne *i* centre organisateur *c* espace externe *e*	champ de transformation Δ attracteur, écart, tension *∞ δ ρ* torsion, pression, vortex *ψ σ v* opérateur de résolution des tensions *∂* régime du centre organisateur *f l s v r* phase de l'organisation *γ*
outils *R3* *R4* *R5*	instrument d'observation *pour observer l'espace externe* langage de description *pour décrire l'organisation* méthode d'analyse *pour analyser l'espace interne*	
langage *R4*	graine d'information *œ pour décrire, représenter l'organisation* schéma d'organisation *æ pour partager les représentations*	
graines *œ*	descripteur •	constructeurs —
schémas *æ*	pattern #	interacteurs /

Les deux composantes principales sont les *graines d'information* et les *schémas d'organisation*, codés respectivement *œ* et *æ*[205]. Les graines d'information sont des descripteurs de l'espace externe, du point de vue d'un centre organisateur. Assemblés à l'aide de *constructeurs*, ils forment des *schémas*. Le **schéma** est une représentation individuelle statique analysée par Robert Estivals dans la *Théorie générale de la schématisation* (Estivals, 2002;2003), résumée dans l'encadré E36. Robert Estivals met en relation schème et schéma qu'il définit ainsi (*vol.1*, p.47) :

« - *Le* schème *est un état de conscience situé entre la perception et l'image mentale d'une part, et la conceptualisation qui permet la réduction et l'organisation d'informations, d'autre part. Le schème est une synthèse intuitive de compréhension. Elle est porteuse de sens.*

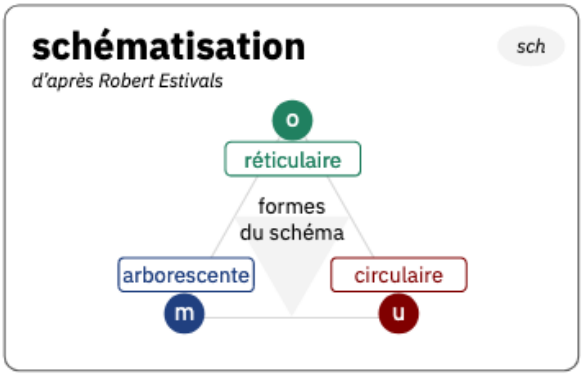
- *Le* schéma *est un système symbolique qui concerne tous les langages. Il peut être verbal, phonétique , analytique comme les schémas linguistiques, phrastiques,*

205. Nous utilisons également le symbole • pour désigner la graine et le symbole :: pour le schéma

textuels, narratifs, méta-textuels. Il peut être écrit, graphique, visuel, synthétique, idéographique comme les schémas graphiques, écrits, iconiques et géométriques. Il exprime synthétiquement la compréhension acquise. Il est manifestement au niveau du langage du schème mental et de la structure cognitive. »

E36 — Théorie générale de la schématisation, de Robert Estivals

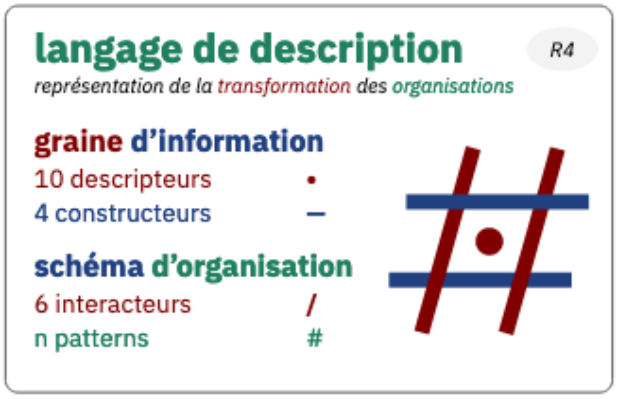
La *Théorie générale de la schématisation* est publiée en trois volumes, dédiés respectivement à la pensée, au langage et à la communication : le premier concerne « *le fonctionnement de la pensée et le rôle central du schème.* » Le second volume « *propose une interprétation du langage, parlé, écrit et graphique, fondée sur le schéma.* ». Le troisième « *offre une théorie de la communication humaine fondée sur la théorie de la schématisation.* » Nous proposons une représentation des formes du schéma en utilisant la grille d'analyse des transformations, comme illustré par la carte [*sch*]. Robert Estivals en considère deux archétypes, l'arbre (vol. 1, p.53) et le réseau (vol. 1, p.89). Il mentionne également la ligne, qualifiée de « *schéma graphique géométrique élémentaire linéaire* » (vol. 3, p.169) qui sert entre autre de support au schéma narratif, et la boucle qui suppose deux éléments, un point et un segment de ligne et dont l'originalité « tient au fait que le point est à la fois le lieu de départ et le lieu d'arrivée du segment de ligne » (vol. 3, p.131). En considérant la forme linéaire comme l'unité, elle représente aussi bien une branche de l'arbre qu'un arc d'un réseau, c'est la connexion entre les extrémités de cette unité qui définit la forme du schéma. La connexion avec elle-même nous donne le schéma circulaire, avec de multiples autres, nous obtenons le schéma arborescent. La forme réticulaire traduit l'opposition de ces deux formes élémentaires.



C138 — [sch] — schématisation

Nos *schémas d'organisation* s'inscrivent dans cette définition. Ce sont des représentations individuelles qui s'appuient sur des briques sémantiques élémentaires typées donc comparables, permettant ainsi une construction collective. Le processus de comparaison est décrit par des *interacteurs*, et les *patterns* identifient des schémas correspondant à de *bonnes pratiques*.

Cette logique est rendue opérationnelle grâce à trois outils mentionnés en haut du schéma *lod*. Le langage de description qui permet d'architecturer l'information est ainsi accompagné d'un *instrument d'observation* de l'espace externe qui permet d'identifier les graines et d'une *méthode d'analyse* des *schémas* produits. Au centre du schéma *lod*, nous rappelons que l'organisation est soumise à des tensions, dont la résolution via des opérateurs produira les différents états de l'organisation. Nous présentons plus en détail les éléments du langage de description, résumés sur la carte [*R4*].



C139 — [R4] — langage de description

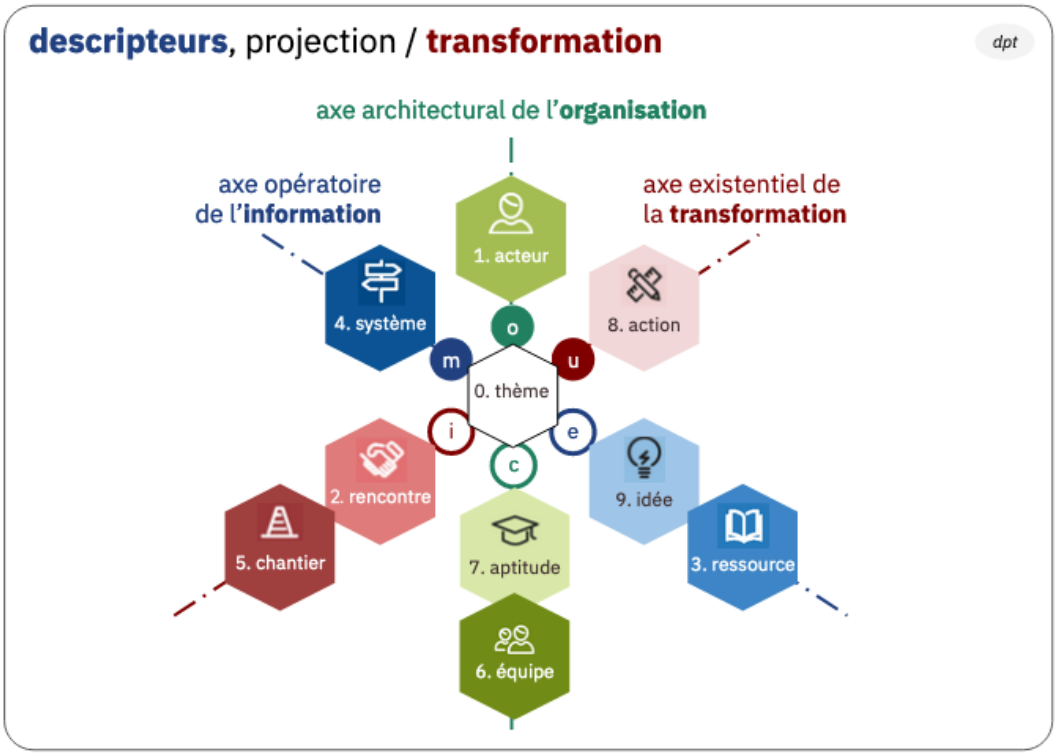
Nous commençons par présenter les graines d'information, en spécifiant les *descripteurs* qui modélisent des entités, puis les *constructeurs* qui modélisent des relations entre ces entités, avant d'aborder les schémas d'organisation, en précisant les *interacteurs* qui décrivent leur processus d'échange et les *patterns*, terme anglais ayant pour synonyme français courant *modèle* ou *patron*.

2.4.6. Eléments du langage de description

2.4.6.1. Modélisation des entités : les Descripteurs

Les descripteurs expriment une relation entre la transformation et l'organisation. Ils s'analysent avec l'instrument d'observation précédemment défini par la projection sur les trois axes principaux selon deux points de vue complémentaires, celui de la transformation et celui de l'organisation.

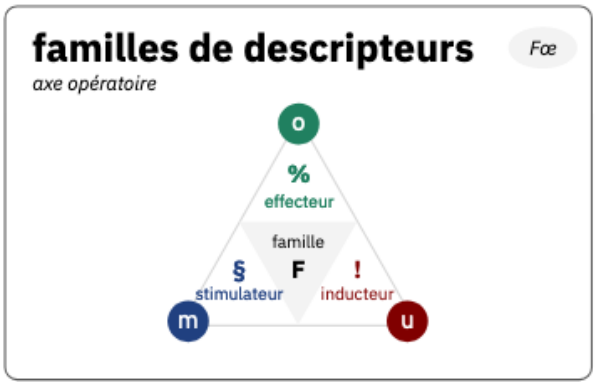
Ces deux projections mettent en avant l'*action* d'un *acteur* dans un *système*. Sur la première projection, illustrée par la carte [*dpt*], nous obtenons trois descripteurs sur chacun des trois axes. Cette vue transformationnelle traduit l'opérationnalité de l'organisation[206].



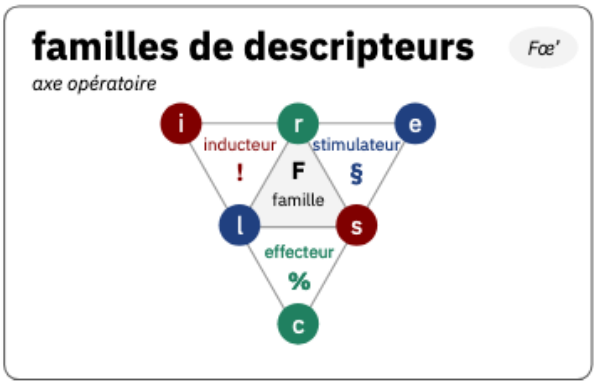
C140 — [dpt] — descripteurs, projection / transformation

206. Nous utilisons parfois l'expression "ki-fé-koi" pour désigner cette opérationnalité.

Nous appelons *familles* les trois groupes ainsi constitués et attribuons un nom à chacune des familles : *effecteurs*, *inducteurs* et *stimulateurs*. Le terme d'*effecteur* est employé en philosophie, pour désigner la cause effectrice, mais également en physiologie, signifiant « *qui répond à un stimulus reçu par un autre centre récepteur* » d'après le CNRTL[207] et repris par la cybernétique. Le terme d'*inducteur* faut référence à l'induction. Emprunté au latin *inductio*, *inductionis* « *action d'amener* » est utilisé dans trois domaines principaux : en logique et mathématique, en électricité en physique, et par analogie en biologie, chirurgie et psychologie pour désigner le « *déclenchement d'un phénomène, d'un processus* ». Le terme de *stimulateur* traduit la relation avec l'*effecteur*. Rappelons que stimuler signifie : « *mettre quelqu'un ou quelque chose dans les conditions propres à le faire agir ou réagir; susciter ou renforcer un mouvement*. » Le dixième descripteur est classé dans cette troisième famille. Ces trois termes, *effecteur*, *stimulateur* et *inducteur*, se répartissent sur les deux grilles d'analyse de la transformation et de l'organisation comme illustré par les cartes [*Fœ*] et [*Fœ'*]. Ces représentations montrent deux facettes complémentaires des mêmes concepts : l'unicité et l'internalité des *inducteurs*, la multiplicité et l'externalité des *stimulateurs*, le tempérament et la centralité des *effecteurs*. Nous attribuons un code à chacun de ces termes, choisi en fonction de son expressivité : le *%* pour l'*effecteur* illustre une alternative, le *!* de l'*inducteur* marque un fait, et le *§* du *stimulateur* évoque un entraînement.



C141 — [Fœ] — familles de descripteurs



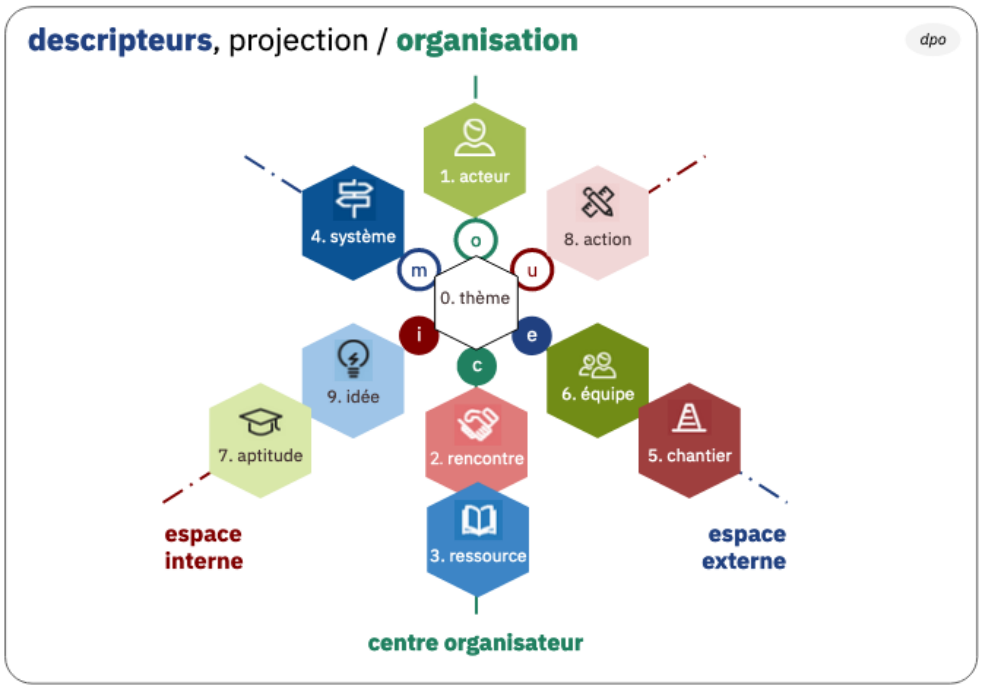
C142 — [Fœ'] — familles de descripteurs

Sur le même principe, chacune des familles de descripteurs peut être analysée à l'aide

207. https://www.cnrtl.fr/definition/ auquel nous empruntons les définitions à suivre

des deux grilles, produisant six nouvelles cartes. Signalons également que nous employons des synonymes pour désigner ces trois familles, respectivement : *flecteurs*, *facteurs* et *foncteurs*.

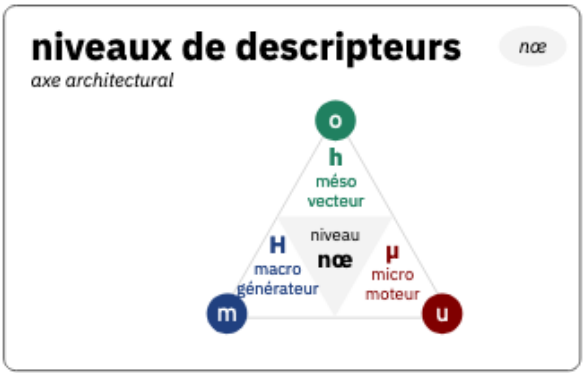
Sur la seconde projection, illustrée par la carte [*dpo*], la répartition des descripteurs est différente. Cette vue statique traduit l'architecture de l'organisation.



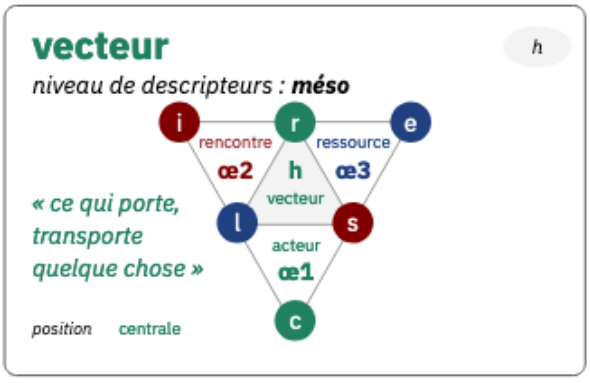
C143 — [dpo] — descripteurs, projection / organisation

Nous utilisons le terme de *niveau* pour qualifier ces nouveaux groupes. Nous distinguons cette fois-ci quatre niveaux : *méso*, *macro*, *micro* et *méta*. La position du niveau *méso* est centrale, puisqu'il est relatif au *centre organisateur*. Les niveaux *macro* et *micro* sont liés respectivement aux espaces *externes* et *internes* et traduisent une position *englobante* et *incarnée*. Le niveau *méta* est sur un autre plan, utilisé uniquement pour le dixième descripteur. Ces niveaux ne traduisent pas une hiérarchie puisque l'interaction se fait selon les cas dans les deux sens, de l'interne vers l'externe et de l'externe vers l'interne. Nous utilisons également une dénomination plus explicite pour désigner ces niveaux avec les termes *vecteur*, *moteur*, et *générateur*.

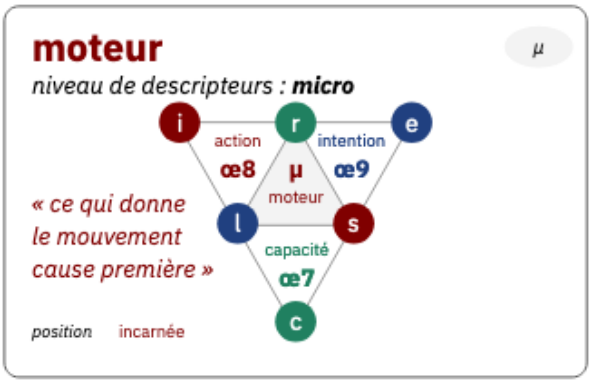
Associé à une abstraction, le centre organisateur, le *vecteur* est lui-même un concept abstrait, dans l'esprit d'un vecteur associé à un centre de gravité. Un vecteur désigne « *ce qui porte, transporte quelque chose* ». Dans notre cas, les vecteurs sont le support de la transformation : l'acteur en tant qu'entité communicante, rappelons que l'information est un vecteur de transformation selon notre hypothèse; la rencontre en tant que fait de transformation; la ressource en tant qu'objet de transformation. Un *moteur* est « *ce qui donne le mouvement, cause première* ». Si la cause première d'un changement peut être aussi bien externe qu'interne, notre représentation postule que la cause première de la transformation est interne. Le *générateur*, « *qui engendre, qui sert à la reproduction* » englobe les niveaux *macro* et *méta*. Nous utilisons également des codes pour désigner les niveaux, respectivement *h*, *μ*, *H* et *π* pour méta. Comme les précédents, ces groupes se représentent dans nos grilles d'analyse, tant au niveau des groupes que du contenu des groupes. A titre d'exemple, nous illustrons avec la carte [*nœ*], la répartition des niveaux dans la grille d'analyse des transformations, et avec les cartes [*h*] et [*μ*] la répartition des descripteurs associés aux niveaux *méso* et *micro*, c'est-à-dire les *vecteurs* et *moteurs*, dans la grille d'analyse de l'organisation.



C144 — [nœ] — niveaux de descripteurs



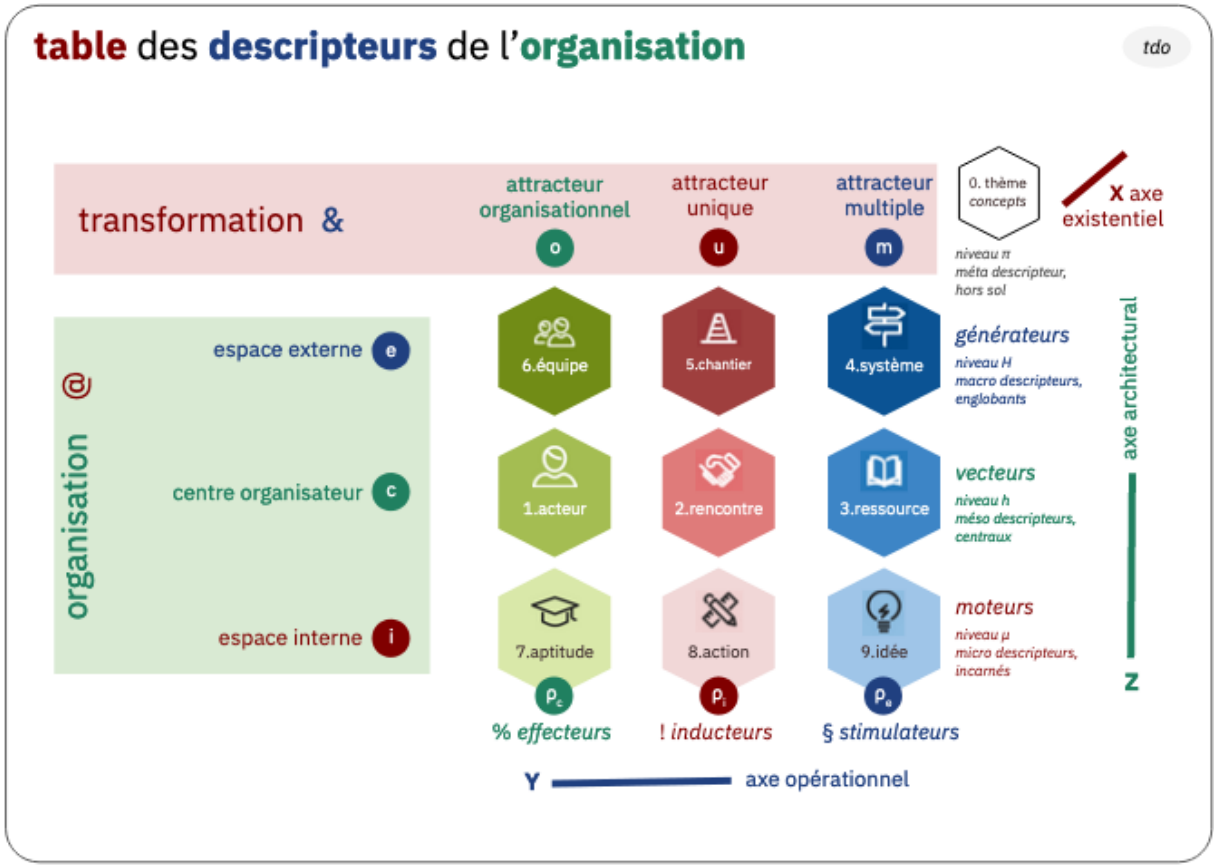
C145 — [h] — vecteur



C146 — [μ] — moteur

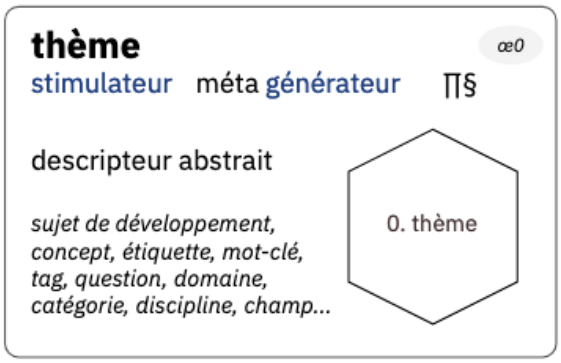
Les autres représentations sont disponibles dans les deux grilles d'analyse, dans le

catalogue mentionné en Ouverture. La double projection que nous avons présentée, du point de vue de la transformation et de l'organisation, se traduit par un tableau de référencement des descripteurs à double entrée, comme illustré par la carte [*tdo*]. Les neuf principaux *descripteurs* se positionnent ainsi au croisement de colonnes traduisant la transformation et de ligne pour l'organisation. Ce tableau rappelle également que les tensions primaires de l'organisation, respectivement ρ_c l'attention, ρ_i la rétention et ρ_e la protention, s'expriment à partir de l'espace interne. Il référence également les deux principaux *constructeurs*, notés & et @, qui servent à relier les descripteurs et que nous aborderons dans la continuité de la présentation individuelle de chaque nature de descripteur. Nous commençons par le cas particulier du descripteur *méta*.



C147 — [tdo] — table des descripteurs de l'organisation

Le descripteur méta se distingue des neuf autres : nous le qualifions également d'*abstracteur* par opposition aux *concrétiseurs*[208]. Chaque descripteur porte un nom par défaut mais ce terme est à interpréter dans un champ de synonymes. Par exemple, *thème* est à prendre comme « *sujet de développement* », mais peut tout aussi bien désigner : *concept, étiquette, mot-clé, tag, question, domaine, catégorie, discipline, champ...* La carte [*œ0*] récapitule les caractéristiques de ce descripteur. Ce travail de nommage est contextuel au domaine étudié. Il s'est progressivement enrichi en fonction des usages de ce langage mais reste toujours approximatif en raison de la polysémie du langage, et sa dépendance au contexte tant spatial que temporel. Les six cartes suivantes, [*œ1*] à [*œ6*], référencent ainsi les synonymes de *acteur*, *rencontre*, *ressource*, *système*, *chantier*, et *équipe*.



C148 — [œ0] - thème



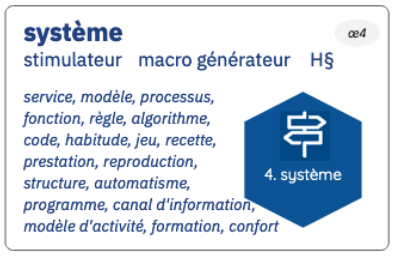
C149 — [œ1] — acteur



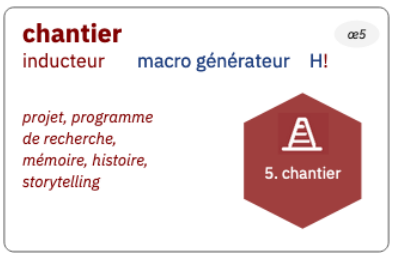
C150 — [œ2] — rencontre



C151 — [œ3] — ressource



C152 — [œ4] — système



C153 — [œ5] — chantier



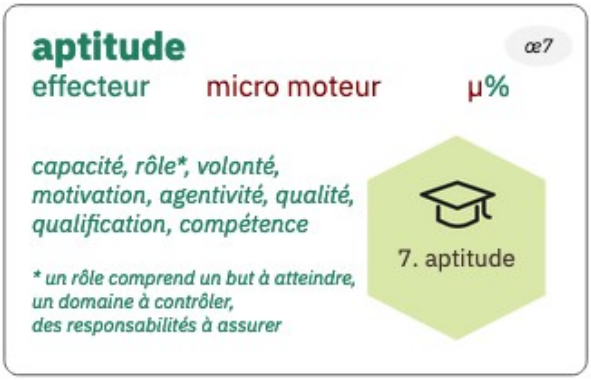
C154 — [œ6] — équipe

208. Néologisme, pour exprimer une description concrète, c'est-à-dire « *qui exprime quelque chose de réel, tangible, perceptible* »

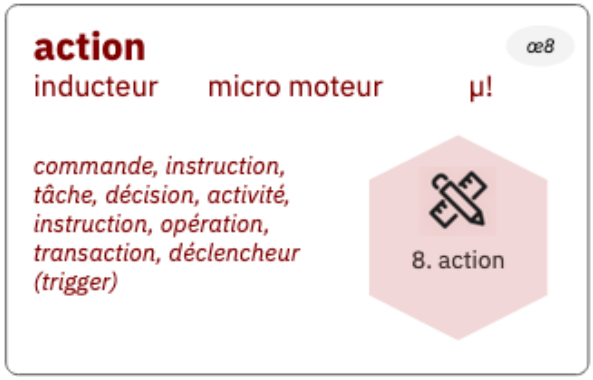
Précisons que pour ce dernier, le terme *équipe* est choisi pour la convivialité qu'il exprime, mais que sa taille reste complètement libre, à partir de deux *acteurs*, sans fixer de borne supérieure. Pour les trois descripteurs *moteur*, la qualification est encore plus délicate, puisqu'ils sont soumis à la subjectivité en raison de leur positionnement incarné. Nous les précisons donc.

Le premier moteur est désigné par le terme d'*aptitude*, tout autant que par le terme de *capacité* ou de *rôle*. Tous les trois expriment une intention d'action, et s'appuient sur une motivation. Le rôle formalise la capacité, exprimant une reconnaissance de celle-ci en lui donnant une légitimité. D'une étymologie apparemment éloignée[209] du fonctionnement des organisations, elle est ainsi devenue centrale dans certaines formes de gouvernance, relevant de l'holacratie[210]. Développée par Brian Robertson principalement entre 2001 et 2006, cette nouvelle forme d'organisation fractale du travail optimise la répartition des mécanismes de prise de décision au sein d'équipes auto-organisées : un rôle comprend un but à atteindre, un domaine à contrôler, des responsabilités à assurer. Selon les contextes d'utilisation, nous utilisons également des termes comme fonction, volonté, compétence, qualification, agent (au sens informatique). Le second moteur, l'action, est central dans la *Théorie motrice de la perception*, telle que la défend l'ingénieur, psychologue et neurophysiologiste Alain Berthoz . Dans *Le sens du mouvement* il précise que la perception est une action simulée : « *la perception n'est pas seulement une interprétation des messages sensoriels : elle est contrainte par l'action, elle est simulation interne de l'action, elle est jugement et prise de décision, elle est anticipation des conséquences de l'action.* » (Berthoz, 1997:15). Selon le contexte nous utilisons également les termes de commande, instruction, tâche, décision, activité, instruction, opération, transaction, déclencheur (*trigger*), dans leur rapport qu'ils entretiennent à l'action. Les cartes [*œ7*] et [*œ8*] illustrent ces deux concepts.

209. Rôle vient de rouleau selon le CNRTL
210. Cf. https://igipartners.com/constitution-holacracy pour la traduction française

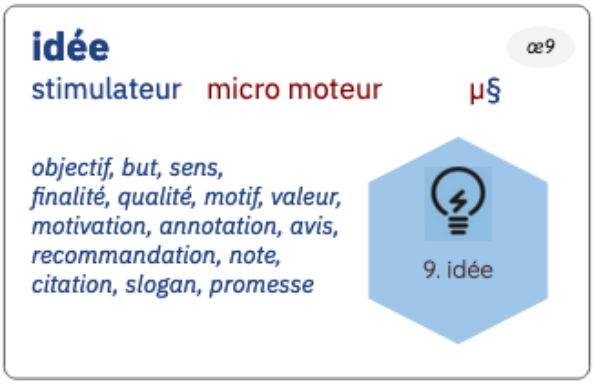


C155 — [œ7] — aptitude



C156 — [œ8] — action

Le dernier moteur n'en est pas moins fondamental. Désigné dans un premier temps par l'*idée*, nous utilisons également le terme d'*objectif*, qui ajoute une composante opérationnelle pour orienter l'action. Lors d'une présentation[211] de ces dix descripteurs à Karine Massonnie, ethno-reporter qui parcourt le monde en solitaire depuis plus de 25 ans pour rencontrer les peuples Indigènes et partager leur quotidien[212], nous cherchions à savoir si ces briques élémentaires étaient utilisables pour communiquer avec les peuples indigènes. De cet entretien est ressorti ce descripteur car avant développement de tout projet, l'idée au stade d'intention est testé trois fois : « *Est-elle bonne pour moi à long terme ? Est-elle acceptable pour ma communauté à long terme ? Est-elle supportable pour la nature à long terme ?* ». L'idée est rejetée si l'une de ses trois conditions n'est pas respectée. Une autre interview[213] a montré l'ambiguïté du terme *projet*. Nous utilisions le sens courant en management, « *ensemble finalisé d'activités et d'actions effectuées dans le cadre de l'entreprise* », et régi par la gestion de projet, similairement au terme de *chantier*, dans le domaine de la construction et du bâtiment, ou de *programme*, dans le domaine de l'éducation et la recherche. Or le terme *projet* relève avant tout de la projection,

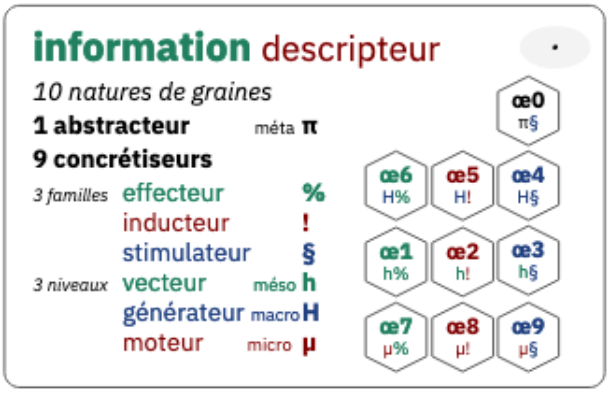


C157 — [œ9] — idée

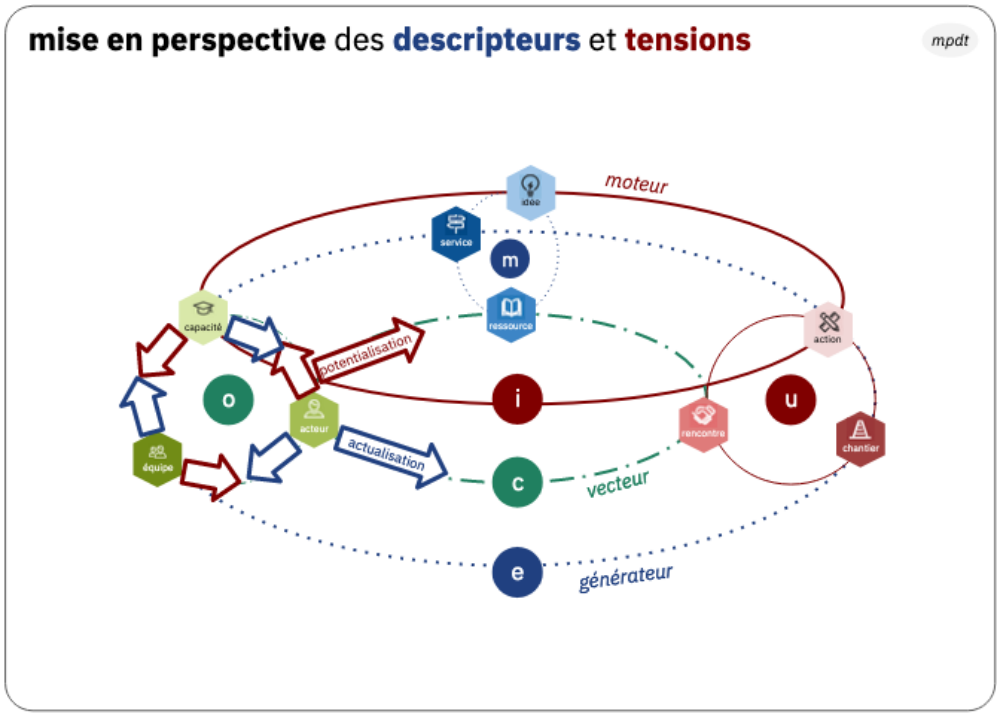
211. 7 mars 2018, Montpellier
212. Cf. https://www.terresindigenes.org/massonnie-karine/
213. Le 11 décembre 2018, avec Claire Noy, maître de conférence en sciences de l'information et de la communication à la *Maison des Sciences de l'Homme* de Montpellier (MSH-Sud)

synonyme d'*objectif* et d'*idée*. Nous en avons déduit une relation privilégiée entre ces deux descripteurs : dans la description du fonctionnement de l'organisation, le descripteur *œ5*, *chantier* ou *programme*, est à relier au minimum à un descripteur *œ9*, soit une *idée* ou un *objectif*. La carte [*œ9*] illustre ce dernier descripteurs auquel une grande variété de termes est associée en fonction des contextes : *idée, objectif, but, sens, finalité, qualité, motif, valeur, motivation, annotation, avis, recommandation, note, citation, slogan, promesse*.

La carte [·] présente une vue d'ensemble synthétique des dix descripteurs, codés par ce même symbole. Cette vue plane, proche de celle de la carte [*tdo*] masque la circularité de la représentation. Nous proposons donc, avec la carte [*mpdt*], une mise en perspective qui simule les trois dimensions de l'espace pour illustrer la circularité de la modélisation.



C158 — [·] — information, descripteur

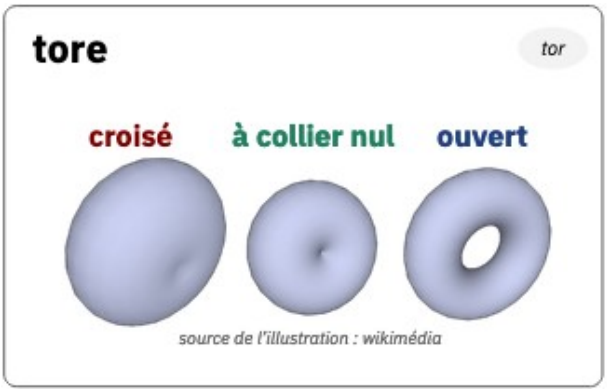


C159 — [mpdt] — mise en perspective des descripteurs et tensions

Les deux axes précédents, *transformationnel* et *organisationnel*, se retrouvent donc représentés dans les deux cercles qui définissent un **tore**. Nous précisons dans l'encadré E37 les propriétés du tore et ses interprétations mathématiques.

E37 — Propriétés du tore et interprétations mathématiques

La forme torique se retrouve dans une multitude d'objets aux fonctions différentes, comme l'anneau nuptial qui scelle une alliance, l'anneau gastrique qui diminue le volume de l'estomac, la bouée de sauvetage. C'est la forme idéale du circuit magnétique d'un transformateur dans lequel une première bobine parcourue par un courant, induit une force électromagnétique qui induit un courant dans la seconde bobine, le rapport des tensions étant proportionnel au rapport du nombre de spires entre les deux bobines. En recherche nucléaire, la chambre de forme torique permet de contenir le plasma, production d'énergie par fusion. Usuellement, le tore est définit en géométrie euclidienne comme « *une surface ∑ de* $\boldsymbol{R}^3$ *engendrée par la rotation d'un cercle Γ de centre O et de rayon R autour d'une droite Δ, située dans le plan de Γ et ne passant pas par son centre.* » (Bouvier et al., 2013:910). L'encyclopédie *Wikipédia* précise que « *Dans cette acception, certains auteurs désignent par tore plein le solide obtenu, réservant le terme tore pour la surface correspondante.* »



C160 — [tor] — tore

La carte [*tor*] illustre trois types de tore obtenus en faisant varier les rayons des deux cercles, en corrélation avec les trois attracteurs, *unique*, *organisationnel* et *multiple* : *croisé* (forme de citrouille), à *collier nul* et *ouvert* (forme de chambre à air). En **topologie**, « *branche des mathématiques née de l'étude sur les surfaces et dans l'espace usuel des propriétés conservées par une déformation continue et liées à la notion de voisinage* » (Bouvier et al., 2013:908), le terme tore est réservé pour désigner des espaces topologiques (ou des

variétés) — cf. l'encadré E16. Le tore en forme de bouée de sauvetage est de dimension 1, comme le cylindre ou la tasse, dont les fonctions différentes et complémentaires se retrouvent dans l'organisme vivant le plus élémentaire : *freiner*, rôle du système digestif, puis *contenir*, après *filtrage*. Les fonctions plus évoluées, liées aux différents organes sensoriels, ajoutent des dimensions. En mathématique, mentionnons également le *théorème de Ringel–Youngs,* qui d'après Wikipédia dans l'article *Conjecture de Heawood « donne un minorant pour le nombre de couleurs nécessaires pour colorer une surface de genre donné. »* Il est de 7 pour le tore à 1 trou, le tore classique en forme de *Donut* : chaque zone est entourée par les 6 autres. On pourra également faire un rapprochement entre la généralisation des *anneaux borroméens* — cf. § 2.2.3 et 2.2.4 — et le rôle que joue le tore dans la *fibration de Hopf* qui donne une partition de la sphère à 3 dimensions par des grands cercles.

On notera que les relations entre descripteurs forment au total neuf boucles, chacune matérialisant trois *états T* dans la logique de l'énergie entre l'*actualisation* et la *potentialisation*. Par exemple, en reprenant les flèches représentées sur la carte, une *capacité* est *actualisée* par un *acteur*, qui *potentialise* ses *aptitudes*, couramment appelées *compétences*. Du point de vue de l'*équipe*, les *capacités* sont *potentialisées* sous le terme de *rôle* et *actualisées* sous le terme de *fonction*. Le *potentiel* d'une *équipe* se retrouve dans ses *acteurs* qui s'*actualisent*, autrement dit *se réalisent*, dans l'*équipe*. Enfin, l'*acteur* s'*actualise* dans la *rencontre*, qui réciproquement se *potentialise* dans l'*acteur*, jouant le *rôle de participant*. Cet exemple illustre notre hypothèse H3, sous sa forme descriptive et explicative.

H3d. la compréhension de la *transformation* est complexifiée par le langage courant et l'usage réducteur de la logique binaire

H3e. un brouillage de la communication par la polysémie de ces termes, leur usage pluridisciplinaire, la difficulté à accepter *La loi des contraires* (Maillé, 2016)

Pour renforcer cette hypothèse, nous montrerons dans la partie 3 que de nombreux termes courants peuvent s'interpréter du point de vue des trois attracteurs de transformation et des 3 composantes de l'organisation. Toutes ces interfaces étant le siège du *tiers-inclus* dans la logique de l'énergie, elles représentent de ce fait des points de vigilance dans la modélisation de la transformation de l'organisation, puisqu'ils peuvent activer ou bloquer la transformation, en fonction d'interférence avec une organisation de niveau inférieure ou supérieure, dans la représentation holonique. Cet exemple illustre l'importance des relations entre descripteurs . Cette mise en relation est modélisée par le concept de *constructeur*, à la source des schémas d'organisation. Nous en présentons l'origine et la logique de fonctionnement.

2.4.6.2. Modélisation des relations : les Constructeurs

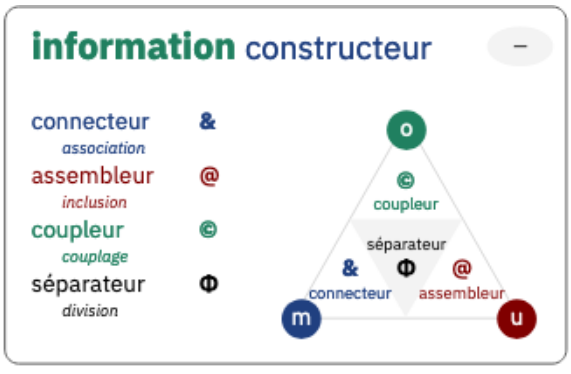
Le terme de **constructeur** a été choisi pour exprimer le travail de construction de la représentation sous forme d'un *schéma d'organisation*. Une graine d'information est ainsi composée d'un descripteur et de l'ensemble des constructeurs qui lui sont directement associés. Nous employons parfois, en tant que raccourci, le terme de *graine* pour désigner le seul descripteur, comme sur la carte précédente. La *graine d'information* est un potentiel, le *descripteur*, concentré, synthétique et compact, actualisé par ses *relations* de construction.

Dans la logique de transformation de l'organisation, l'effet des attracteurs énantiologiques, l'un centripète, l'autre centrifuge, sont symétriques dans toutes les directions de l'espace pour une entité isolée. La présence d'une autre entité va perturber le *champ de transformation*, créant une rupture de symétrie. Le champ de transformation devient *champ organisationnel*. Une relation de dépendance peut alors s'établir entre les deux entités pour générer une forme d'organisation. Nommons A la première et B la seconde. Selon l'influence des attracteurs et la nature des entités, trois cas principaux sont à considérer : A absorbe B, à l'inverse B absorbe A, A et B restent dans une relation équilibrée. Le tableau T32 résume ces trois cas et codifie la relation.

T32 — Relation entre deux entités : émergence de l'organisation

Attracteur dominant du point de vue de A	*Dépendance entre A et B*	*Codification de la relation*
(m(	A est absorbé par B	A @ B
)u)	A absorbe B	B @ A
(o)	A et B restent au même niveau	A & B

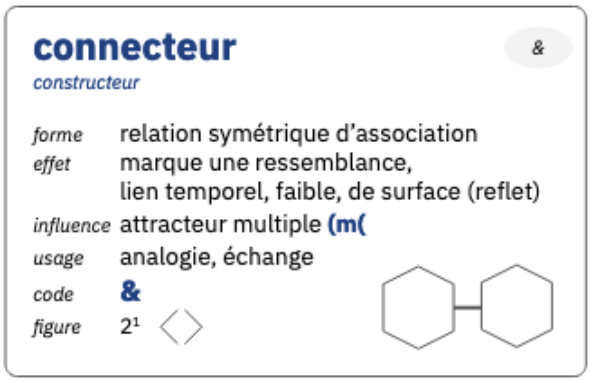
Par convention, nous appelons **connecteur** la *relation d'association* désignée par le symbole **&** et **assembleur** la *relation d'inclusion* désignée par le symbole **@**. On notera que spatialement la relation d'association est symétrique tandis que la relation d'inclusion est asymétrique. Cette relation de symétrie s'analyse également dans le temps. A et B sont transformés en A' et B', et les attracteurs antagonistes exercent continuellement leur influence. Nous introduisons le concept de *séparateur*, noté **Φ**, pour signifier une division de l'entité. Cette relation traduit également la réversibilité d'une construction précédente. Nous introduisons également le concept antagoniste de *coupleur*, noté **©**, pour signifier une relation sous l'influence de l'attracteur organisationnel.



C161 — [_] — constructeur

La carte [—] illustre le positionnement des quatre constructeurs dans la *grille d'analyse des transformations*. Les deux constructeurs principaux ont plusieurs significations, qui peuvent chacune paraître contradictoires. Le *connecteur*, relation d'association, est une relation qui exprime l'*être*; c'est également une relation de surface; elle marque une ressemblance; du domaine du visible, du reflet, elle exprime également *l'Analogie, Cœur de la pensée* (Hofstadter et Sander, 2013). L'*assembleur*, relation d'inclusion, exprime l'*avoir*; c'est aussi une relation de

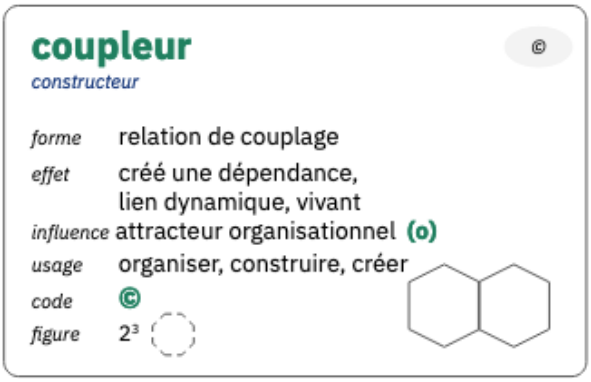
profondeur; elle marque une différence; du domaine de l'invisible, elle génère de l'opacité; elle permet également de classer et d'abstraire. Le *coupleur* s'est imposé suite à notre recherche mais n'a pas été mis en œuvre dans la première application numérique qui utilise les graines d'information (cf. § 3.2.1.). Le *séparateur* est implicitement mis en œuvre lorsqu'une des deux relations est coupée. Les quatre constructeurs sont illustrées par les cartes [*&*], [@], [©] et [*Φ*].



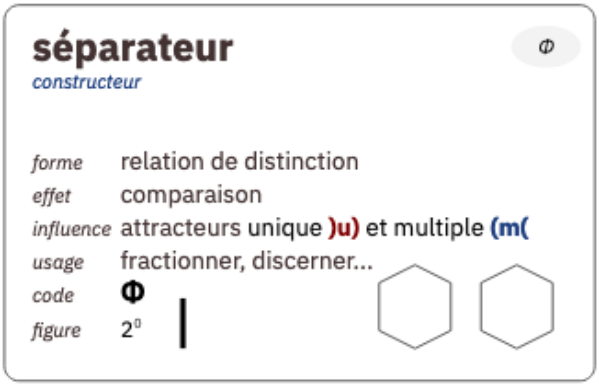
C162 — [&] — connecteur



C163 — [@] — assembleur



C164 — [©] — coupleur



C165 — [Φ] — séparateur

Les quatre constructeurs peuvent s'appliquer non seulement aux graines mais également aux schémas, lors de leur confrontation. Ainsi, au niveau des graines, nous proposons un usage du *coupleur* pour regrouper des éventuels doublons et du *séparateur* pour dissocier les éventuels homonymes. Par exemple, une *graine d'information* référençant Google pourra être dupliquée en deux, l'une référençant la société, l'autre son moteur de recherche.

Signalons qu'avec le connecteur et l'assembleur, nous retrouvons le formalisme

d'un **L-système** — grammaire formelle du biologiste Aristid Lindenmayer — utilisé pour modéliser le processus de développement et de prolifération de plantes ou de bactéries (Lindenmayer, 1968). L'encadré E38 présente cette analogie de formalisme tout en précisant deux différences d'interprétation.

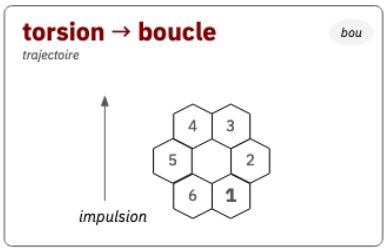
E38 — Analogie entre Interacteurs et L-Systèmes

Le concept central des *L-systèmes*, la *réécriture*, est clairement expliqué dans l'encyclopédie Wikipédia[214] : « *La réécriture est une technique pour construire des objets complexes en remplaçant des parties d'un objet initial simple en utilisant des règles de réécriture. Dans l'interprétation biologique, les cellules sont modélisées à l'aide de symboles. À chaque génération, les cellules se divisent, ce qui est modélisé par l'opération consistant à remplacer un symbole par un ou plusieurs autres symboles consécutifs.* » Formellement, en utilisant la notation « *Algue { Axiom A ; A=AB ; B=AB }* », Lindenmayer décrit les différentes générations successives : « *n=0, A ; n=1, AB ; n=2, AB A; n=3, AB A AB ; n=4, AB A AB AB A ;n = 5, AB A AB AB A AB A AB ; n = 6, AB A AB AB A AB A AB AB A AB AB A ;...* ».

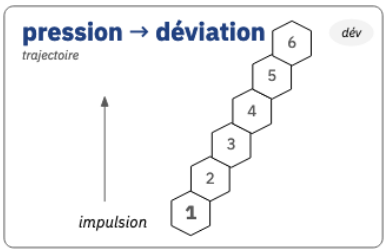
Dans notre interprétation, quand A rencontre B, la relation symétrique & produit l'association A&B, et la relation asymétrique @, produit deux alternatives A@B ou B@A, qui peut se traduire par B ou A. Les trois interactions s'écrivent alors : A=AB, A=B, A=A. Il s'agit d'une description d'un mécanismes de *coopération* (AB) et de *compétition* (A ou B), et non plus de reproduction. Notons que la relation de couplage A©B, qui exprime le *tiers-inclus*, traduit une *bifurcation*. En interprétant graphiquement (par exemple en deux dimensions) la chaîne de caractères obtenue, on obtient une *interprétation en tortue*, ce nom venant du langage de programmation *Logo* (Papert, 1993) qui fonctionne sur le principe des *L-Systèmes*. Nous retrouvons l'*interprétation en tortue* par l'usage d'un descripteur de forme hexagonale, qui nous permet ainsi d'illustrer l'évolution temporelle d'une organisation. Le processus de *complexion*, l'un des trois modes de résolution des tensions (cf. § 2.1.4.), qui s'exprime par la *torsion*, la *pression* et le *vortex*, produit

214. Cf. https://fr.wikipedia.org/wiki/L-Syst%C3%A8me [consulté le 2021-03-14]

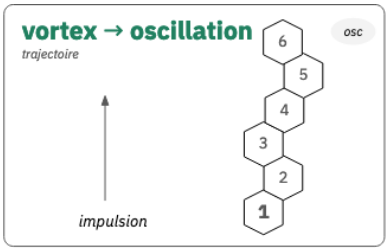
sous l'influence des trois attracteurs, *unique*, *multiple* et *organisationnel*, respectivement les trois trajectoires suivantes : une *boucle*, une *déviation*, et une *oscillation*. Les cartes [*bou*], [*dév*] et [*osc*] illustrent graphiquement ces trois trajectoires, les chiffres indiquant les états successifs d'une même organisation.



C166 — [bou] — boucle



C167 — [dév] — dérivation



C168 — [osc] — oscillation

Les constructeurs servent en premier lieu à construire des représentations de l'organisation, mais ils sont également utilisables pour décrire l'évolution de l'organisation, avec des liens qui se font et se défont, dans des schémas évolutifs que nous abordons à présent.

2.4.7. Schémas d'organisation

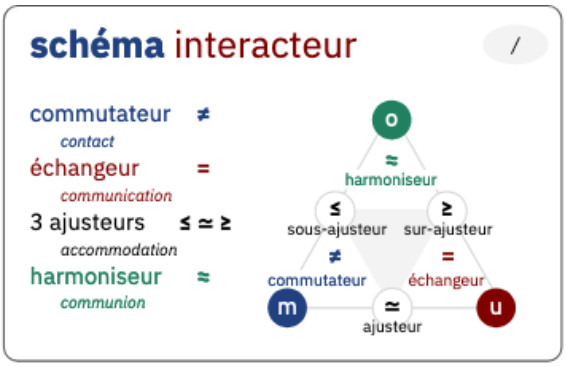
Nous introduisons la notion de **schéma d'organisation**[215] comme outil de gestion de la connaissance et de la communication. Il se construit simplement par la mise en relation des *descripteurs* avec les *constructeurs*. Un schéma correspond donc à un point de vue. C'est donc un *schéma d'interprétation*. Il permet d'outiller la *théorie de l'agir communicationnel* (Habermas, 1983) afin d'obtenir une décision par consensus, dans une éthique de la discussion, la dialectique pouvant s'opérer aux deux niveaux, logique et pratique, avec des arguments légitimes et selon une procédure légitime[216]. Le schéma permet de décrire une facette de l'organisation mais également de simuler une évolution envisagée. Un schéma peut être esquissé indépendamment d'outils numériques, comme nous l'avons expérimenté sur les trois cas d'usage. Les schémas créent des réservoirs de connaissance. Le schéma d'organisation permet de convertir une connaissance tacite en une connaissance

215. Que nous nommions précédemment *schéma de transformation* (Lacombe, 2015).
216. Ces usages prévus n'ont pas encore été mis en pratique.

explicite, en reprenant la typologie de Nonaka et Takeuchi (1997). Deux usages des schémas d'organisation sont envisagés, personnel et collectif, respectivement sous l'influence des attracteurs *unique* et *multiple*. Le second cas peut se traiter par construction synchrone d'un schéma collectif, ou par confrontation de deux schémas existants, qu'ils soient eux-mêmes des productions individuelles ou collectives. Le mode de collaboration est donc fractal. Pour la confrontation de deux schémas existants nous avons défini le concept d'interacteurs.

2.4.7.1. Interacteurs

L'**interacteur** sert à décrire le processus d'ajustement entre les schémas. Ce processus est modélisé par le concept de **stade**. Nous en distinguons quatre, décrits par six interacteurs. Le premier stade est celui de la *mise en contact*, le second de l'*échange*, le troisième de l'*ajustement* et le quatrième de l'*harmonisation*. A chaque stade correspond un interacteur, mais trois sont associés à l'ajustement. Cette modélisation est embryonnaire, nous en décrivons donc sommairement les principes. Ce modèle est illustré par la carte [/]. La mise en contact caractérise la phase de reconnaissance et d'acceptation de deux acteurs ou équipes souhaitant partager une représentation. Cet accord et les modalités étant établis commence la phase deux d'échange. L'échange porte sur les *descripteurs* alors que l'ajustement est centré sur les *constructeurs*. L'*ajustement* consiste à aligner les deux représentations. Il est la traduction explicite du processus d'accommodation des schèmes. Il conduit à trois situations : un *sous-ajustement*, un *sur-ajustement* ou une *harmonisation*, qui correspond au quatrième stade. Le *sous-ajustement* traduit une difficulté à aligner deux schémas par manque de communs. Les deux protagonistes seront alors tous les deux insatisfaits. Le *sur-ajustement* conduit à une représentation qui laisse un seul des deux protagonistes insatisfaits. Il traduit la domination de l'un par l'autre.



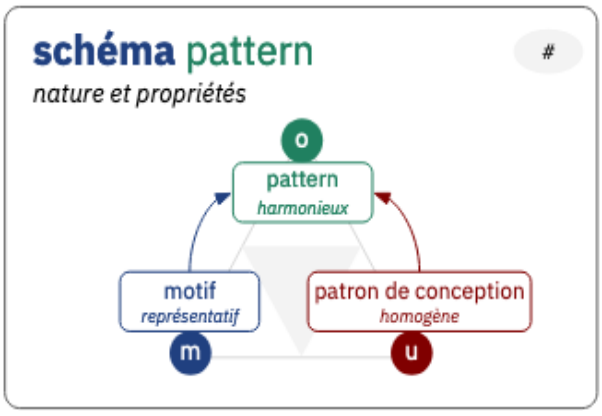
C169 — [/] — interacteur

L'*harmonisation* correspond à un accord ou chacun trouve son compte. L'objectif recherché de partage est atteint, équitable, enrichissant pour chaque partenaire. Chaque interacteur est défini par un code et est sous l'influence des attracteurs de transformation. Nous proposons une vue d'ensemble, à partir de la *grille d'analyse des transformations*. Le dernier concept du langage de description de la transformation des organisations est le *pattern*.

2.4.7.2. Patterns

Le concept de **pattern** est emprunté à l'anthropologue et architecte Christopher Alexander, tel que défini et illustré dans ses deux ouvrages *A Pattern Language* (Alexander et al., 1977) et *The Timeless Way of Building* (Alexander, 1979). Ces ouvrages, qui faisaient suite à son essai sur la *synthèse de la forme* (Alexander, 1971), préfigurent les 4 volumes de *The Nature of Order : An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe* (Alexander, 2002), dans lesquels il identifie 15 propriétés fondamentales communes aux patterns et leur processus naturel de génération. Les patterns sont liés entre eux : « *A pattern language has the structure of a network* » (Alexander et al., 1977:18).

Le *pattern* résulte d'une comparaison. Ce terme qui n'a pas réellement d'équivalent dans la langue française désigne à la fois un *motif* et un *patron de conception.* Traduisant une *multiplicité* et une *unicité*, ils se répartissent dans la *grille d'analyse des transformations*, ainsi que leurs propriétés : un pattern est un schéma représentatif d'une multitude ; il traite une problématique unique, cohérente ; équilibré, il est en résonance avec son environnement. La carte [#] illustre ce point de vue.

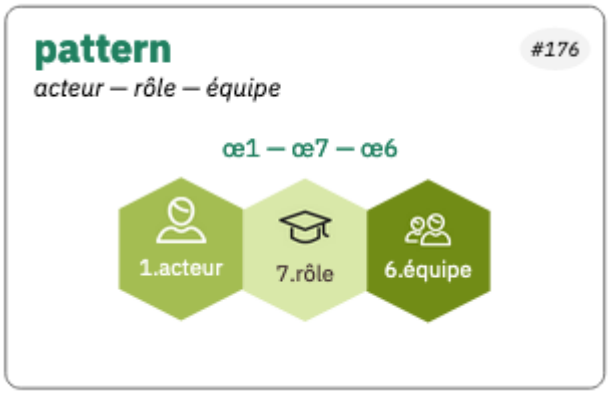


C170 — [#] — schéma, pattern

Émergeant dans le courant structuraliste et appliquées à l'architecture dans un premier temps, ils se sont introduits en informatique et dans le design. Leur usage

en informatique ne s'inscrit cependant pas dans la lignée architecturale : ils décrivent des solutions standard, optimisées , et ne sont pas réellement centrés sur l'humain (Alexander, 1996). Issus de l'expérience, ils documentent de bonnes pratiques : « *Patterns and pattern languages have emerged in many disciplines to capture deep domain expertise and knowledge about solving frequently recurring problems by proven solutions*. » Les travaux sur ce concept se poursuivent en particulier lors des rencontres PURPLSOC, *Pursuit of Pattern Languages for Societal Change* (2014, 2015, 2017). Ils s'appliquent aujourd'hui à un nombre croissant de domaines, 21 étant référencés lors de la dernière rencontre. Les langages de patterns évoluent désormais vers une quatrième génération (Finidori et al., 2016) dans laquelle semblent s'inscrire nos travaux. Cette génération est focalisée sur « *les formes systémiques dynamiques (structures et comportements systémiques, relations et effets). La conception émerge dans le système, elle est de nature stigmergique, auto-organisée dans le temps. L'objectif est de connecter les organisations, au travers leurs domaines et pratiques. L'orientation est la directionnalité des systèmes avec une interprétation et navigation collective* »[217]. L'enjeu associé est de savoir lire et écrire des *patterns* (*a pattern literacy)*[218].

Notre recherche sur les patterns a été envisagée dès le début de notre recherche mais l'orientation prise nous a fait repousser cette investigation. C'est un champ qui reste à explorer. Nous pouvons cependant présenter un premier exemple avec la relation entre les trois effecteurs, illustré par la carte [*#176*]. Pour qu'une équipe fonctionne de façon optimale, l'expérience nous montre que chacun des rôles des acteurs qui la compose se doit d'être précisé. Cela



C171 — [#176] — pattern, exemple

217. Object of Design : Dynamic Systemic Forms (Structures & Systemic behaviors, Relationships & Effects). Act of Design : Design is emergent in the system, stigmergetic and self- organizing over time. Purpose : Connecting agencies across domains and praxis. Orientation : Collective interpretation and navigation of system directionality

218. Cf. https://www.bcsss.org/research/fields-and-groups/systems-science-and-pattern-literacy/

permet de savoir qui peut ou doit faire quoi. Des rôles non précisés, mais également manquants ou doublonnés, augmentent les risques de dysfonctionnement.

L'évolution du langage de description se poursuit non seulement autour des *patterns* mais également sur la structure de la *graine d'information*.

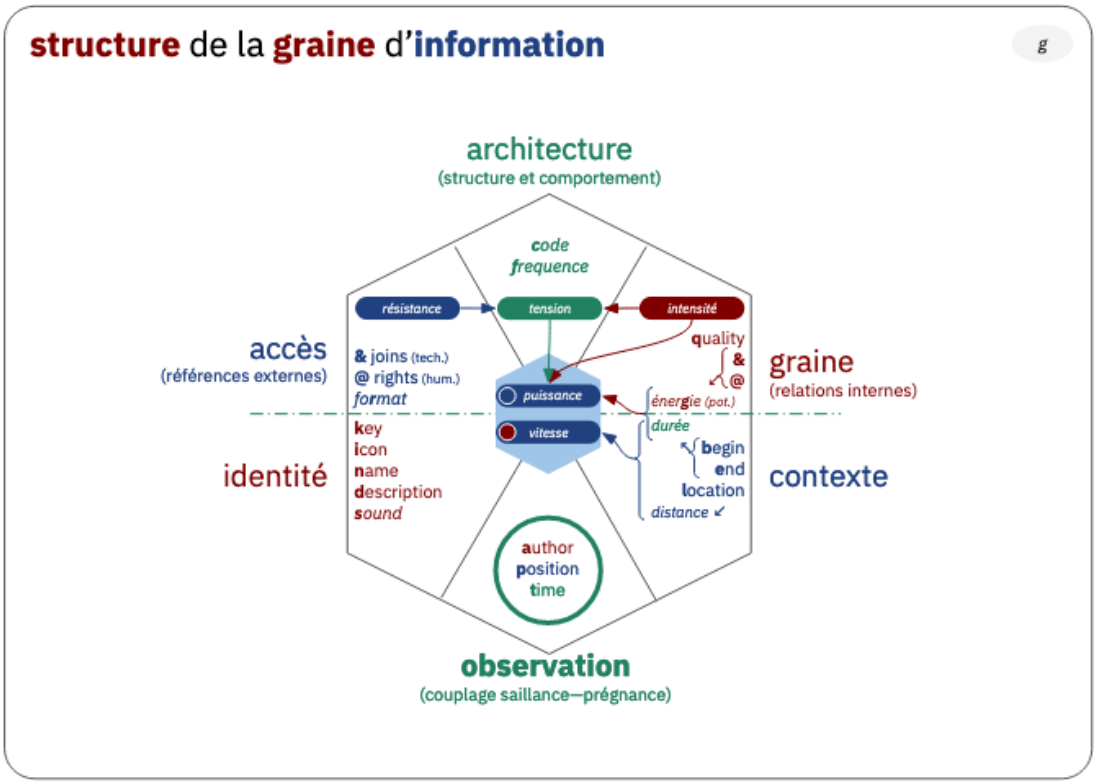
2.4.8. Évolution du langage de description

Construit sur le même principe itératif que les précédents, le modèle R4 a été précédemment présenté dans ses grandes lignes — cf. § 2.4.5. Il nous semble désormais stabilisé mais son développement a été très progressif. En effet, afin d'améliorer sa cohérence, l'ensemble des concepts introduits et des symboles associés ont évolué avec en particulier des permutations de signes, de couleurs, et même de formes. Ces ajustements sont révélateurs de la difficulté d'appréhender le principe d'antagonisme de la logique de l'énergie. Et si le langage[219] est dès à présent opérationnel, il reste néanmoins des parties à développer. En complément aux patterns que nous venons d'évoquer, la formalisation de la structure de la *graine d'information* continue d'évoluer. En effet, les *graines d'information* résultent d'une identification de régularités dans la description d'unités d'information[220]. La version actuelle constitue une évolution par rapport aux spécifications de la première version (Lacombe, 2016) en s'intégrant dans le design des représentations R1 à R3. Elle distingue six ensembles de critères associés à chaque *graine d'information* en lien avec les 6 pôles de l'instrument d'observation, répartis en deux groupes, le premier étant lié à l'*organisation*, le second à la *transformation*. Pour le premier, nous distinguons l'*Observation*, l'*Identité* et le *Contexte*, pour le second la *Qualité,* les *Accès* et l'*Architecture*. Nous précisons brièvement chacune de ces notions. Signalons que la quasi-totalité des critères associés sont optionnels dans un contexte non numérique. De même, le degré de précision des critères est

219. Nous avons introduit ce terme de *langage*, et parfois même de *langue*, lorsque le modèle s'est stabilisé et que nous avons commencé à le transmettre. D'après le CNRTL, langage : « *B. – Système de signes vocaux et/ou graphiques* » et langue : « II. – [La langue comme système] *A. – 1. système de signes vocaux et/ou graphiques, conventionnels, utilisé par un groupe d'individus pour l'expression du mental et la communication.* »

220. Cette homogénéité de structure est à mettre en parallèle à l'hétérogénéité des combinaisons.

déterminé en fonction des usages. La carte [g] illustre la structure de la graine.



C172 — [g] — structure de la graine d'information

Dans le *champ organisationnel*, l'*Observation* spécifie un point de vue particulier, celui d'un *auteur*, dans un contexte précisé par la *date de l'observation* (résultat d'une *attention* entre *rétention* et *protention*[221]) et la *position* qui peut être plus ou moins étendue. Ces informations peuvent être collectées automatiquement par un système d'information. L'*Identité* sert à identifier la représentation, par un signe (un visuel, un son…), un *nom* ou *titre* et éventuellement une *description*. Celle-ci reste minimale car une *graine d'information* ne constitue pas un document mais simplement une référence. Un document peut être représenté sous la forme d'un schéma d'organisation[222]. Le *Contexte* précise le champ d'application spatio-temporel de la description, tout descripteur étant potentiellement associé à un *lieu* (un point d'intérêt) ou à un *territoire* (une étendue) ce qui permet de définir une

221. Ou d'un *couplage* entre *saillance* et *prégnance*

222. Une démonstration est en cours sur l'ouvrage Dynamiques des recherches en sciences de l'information et de la communication publié par la Conférence permanente des directeurs-trices des unités de recherche en science de l'information et de la communication, téléchargeable en ligne à cette adresse : http://cpdirsic.fr/wp-content/uploads/2019/08/dyresic-web-08-2019.pdf

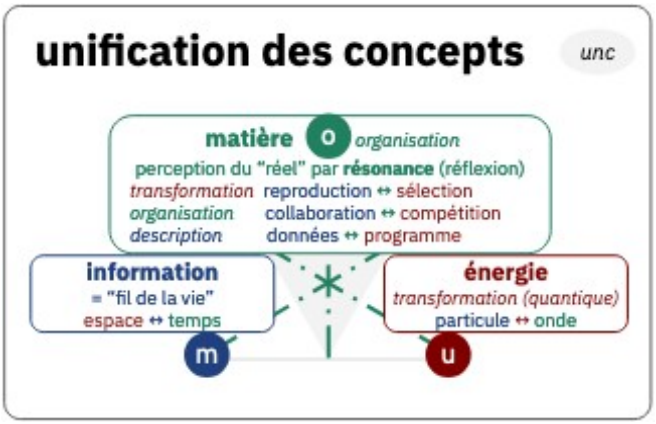
distance, et une période, fixée par exemple par une date de début et de fin, qui définit une *durée*. Il est à distinguer de l'observation, propre à l'observateur.

Dans le *champ transformationnel*, la *Qualité* de la *graine d'information* spécifie sa *qualité* parmi les dix variétés du modèle, mais également l'ensemble des graines liées qui participent à la définition de la *graine d'information* sur laquelle est centrée l'observation. De la *qualité* dépend l'*intensité* portée à cette graine. Les *Accès* inventorient les points de vue externes, c'est-à-dire les références à l'entité observée, intégrant l'approche humaine avec les droits d'accès et technique avec les identifiants externes, dont font partis par exemple les adresses (mail, postal) et n° de téléphone, ou le numéro de sécurité sociale pour un *acteur* en France, ou le code ISBN pour une *ressource* de type livre. Tous ces identifiants sont évidemment optionnels, ils expriment des *résistances*. La modélisation de l'*Architecture* reste prospective et n'a pas encore été utilisée dans un projet, elle est donc susceptible d'évoluer. Nous y rattachons deux informations optionnelles : un code associé à la graine, qui va déterminer son comportement, ainsi que sa fréquence propre. Le *code* est une *structure* génératrice de *tension*, un excitateur qui peut être source de *résonance* avec l'*observateur*. Cette modélisation permet d'envisager le calcul d'une *puissance*, si l'on connaît deux des trois paramètres *intensité*, *tension* et *résistance*, en s'appuyant sur les formules physiques respectives $P=U.I$, $P=R.I^2$ et $P=U^2/R$.

2.4.9. Conclusion (R4)

Le *langage de description* de la *transformation* des *organisations* constitue le cœur de notre apport du point de vue *opérationnel*. S'appuyant sur une modélisation des principes généraux de *transformation* et d'*organisation*, il autorise une palette étendue de *représentations*, à l'aide du concept des *graines d'information*, qui se déploient entre l'*espace de transformation* et le *temps de l'organisation*. L'enjeu de l'*organisation* de l'*information* sur les *organisations* est sa potentialisation en *connaissances*, pour acquérir une plus grande maîtrise de son *environnement*, ouvrant la voie à la *commande*. Nos *connaissances* s'appuient sur un concept unique l'*énergie*, qui prend la double forme de *particules* et d'*onde* d'après la mécanique

quantique. L'*énergie s'actualise* dans la *matière*, pris au sens de Lupasco (cf. § 0.6.3), à travers laquelle nous percevons ce que nous considérons comme étant le *réel*. L'*information* porte une dichotomie entre le *multiple* et l'*unique*, avec les *données* et le *programme*. Sous la double influence des attracteurs *multiple* et *unique*, les *organisations* se construisent par des mécanismes de *reproduction* et de *sélection*, et se *transforment* en mettant en jeu des processus antagonistes de *collaboration* et *compétition*, sous l'influence de ces mêmes attracteurs. Nous en déduisons une unification des concepts qui s'inscrit dans la grille d'analyse des transformations, illustrée par la carte [*unc*].



C173 — [unc] — unification des concepts

Nous abordons à présent la cinquième représentation, le troisième outil opérationnel, une *méthode d'analyse* de la *transformation* des *organisations*.

2.5. Design d'une méthode d'analyse (R5)

2.5.0. Introduction (R5)

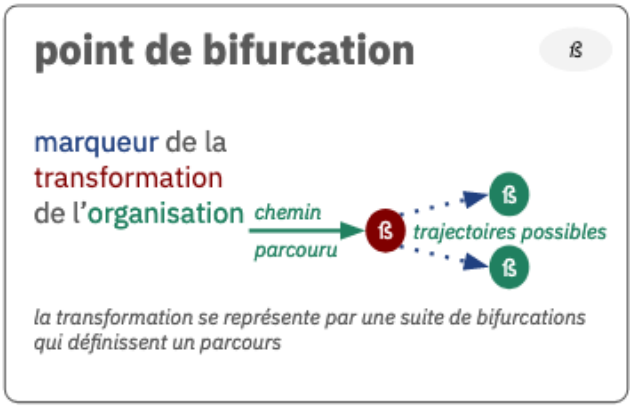
Le dernier outil que nous présentons est issu d'une première application des *graines d'information*. Ce cas d'usage est présenté dans la partie suivante. Il a fait l'objet d'une communication au journées d'étude TIC.IS[223], sur la thématique « *Déconnexion des connexions* » : *Les 5 rôles des "Points de Connexion", retour d'expérience dans la gestion des graines d'information par un réseau d'acteurs du tourisme* (Lacombe, 2019). Cette méthode d'analyse est donc directement issue du terrain. Elle a fait l'objet d'un jeu de huit cartes : *Cartes Points de connexion*, une méthode d'évaluation qui permet d'identifier et qualifier des points de connexion pour faciliter l'organisation et la navigation dans les réseaux. Librement téléchargeables[224], elles ont été présentées aux rencontres MOUSTIC de juin 2019 à Montpellier — MOUSTIC est le sigle de Mise en Œuvre des Usages Sociaux des Technologies de l'Intelligence Collective[225] – qui sont des rencontres autour de la coopération, du numérique et des biens communs. Nous l'avons récemment affiné avec nos résultats de recherche mettant en évidence le rôle des attracteurs de transformation et renommant les points de connexions en *point de bifurcation*.

2.5.1. Cinq bifurcations

Le concept de *bifurcation* est issu de la *théorie du chaos*. En théorie des bifurcations un petit changement d'un paramètre physique produit un changement majeur dans l'organisation du système. Nous appelons **point de bifurcation** un point offrant une possibilité d'option entre plusieurs voies. C'est un *marqueur* de la transformation de l'organisation, tout autant physique que logique. Une transformation se représente alors par une suite de bifurcations, qui définissent un parcours dans un réseau. La *représentation réticulaire* en englobe trois autres, la *linéaire* et ses deux variantes :

223. *« Le groupe TIC.IS (TIC Information et stratégies) coordonné au MICA-ICIN est un des groupes de travail de la Société Française des Sciences de l'Information et de la Communication. Depuis sa création, il s'est donné pour objectif d'engager des réflexions de type épistémologique en mobilisant des approches conceptuelles inédites concernant les environnements numériques » (Vieira)*
224. Cf. http://lacombe.eu/gist/CartesPoints2connexionLacombeTICIS2017.pdf
225. Site web de MOUSTIC, https://moustic.info/

la *circulaire*, linéaire qui boucle sur elle-même, et l'*arborescente*, ramification de la linéaire. Elle est formalisée mathématiquement par la *théorie des graphes*.

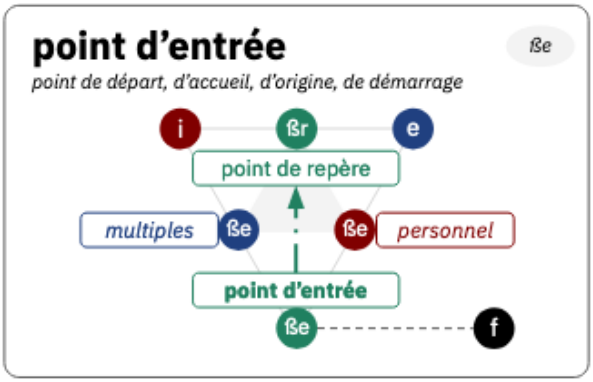


C174 — [ß] — point de bifurcation

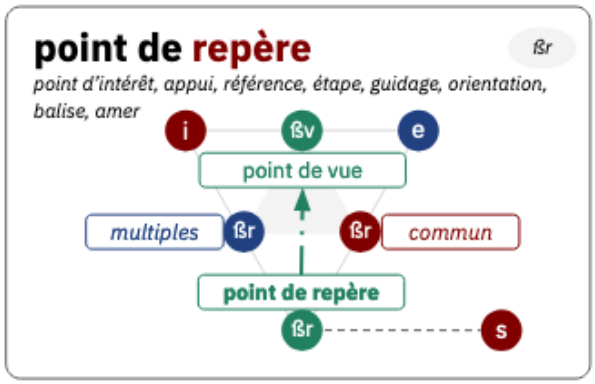
Nous utilisons le symbole **ß** pour désigner ces points de bifurcation, comme l'illustré par la carte [ß]. Nous considérons les bifurcations comme des descripteurs des étapes de construction de l'organisation qui sont soumis à l'effet énantiologique des deux attracteurs *unique* et *multiple*. Les bifurcations s'analysent et s'interprètent ainsi selon deux points de vue complémentaires, celui de l'individu et celui du collectif. Notre outil d'analyse considère cinq types de *points de bifurcation*. Pour les quatre premiers, l'interprétation variera en fonction de la perspective considérée, individuelle ou collective. Nous les décrivons donc par couple. Le cinquième réunit les deux.

La première bifurcation est celle du **point d'entrée**, elle est notée **ße**. Elle est équivalente au point de départ, point d'accueil, point de démarrage, point d'origine. Tout utilisateur entre dans un réseau par un point d'entrée évidemment *unique* et *personnel*. Mais il existe plusieurs points d'entrées possibles, ils sont *multiples*. Par exemple, dans une ville, les points d'entrée sont définis par l'ensemble des voies d'accès, dans les trois dimensions de l'espace. Au point d'entrée succède un **point de repère**, seconde bifurcation, notée **ßr**. Les termes synonymes sont point d'appui, de référence, de guidage, d'intérêt, d'étape, d'orientation ; une balise ou un amer sont également des points de repères. Comme les points d'entrée, les points de repère sont multiples. La navigation dans un réseau se modélise par une succession de points de repères, dont la saillance favorise la perception. Ces points forment un référentiel commun du collectif. Ils concentrent des représentations consensuelles. Il est à noter qu'un point d'entrée est souvent un point de repère pour l'utilisateur, s'il l'a mémorisé, et qu'un point d'entrée devient un point de repère du collectif, s'il

est emprunté par une majorité d'individus. A l'inverse tous les points de repère ne sont pas des points d'entrée. Par exemple, un phare en mer est un point de repère mais pas un point de départ d'une navigation. Les points de repères définissent la structure de l'organisation. Les cartes [*ßr*] et [*ßv*] illustrent ces deux premières bifurcations. Leur lecture est ascendante, les espaces interne et externe sont ceux du réseau considéré comme une organisation.

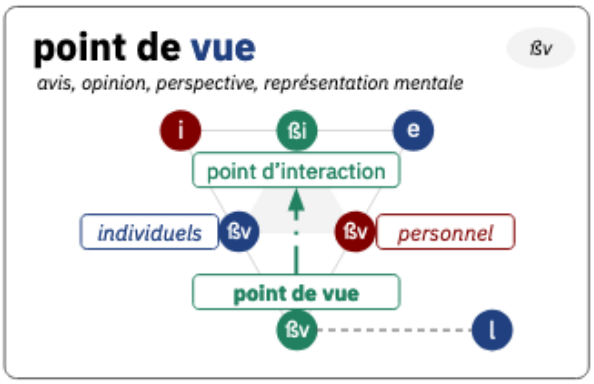


C175 — [ße] — point d'entrée

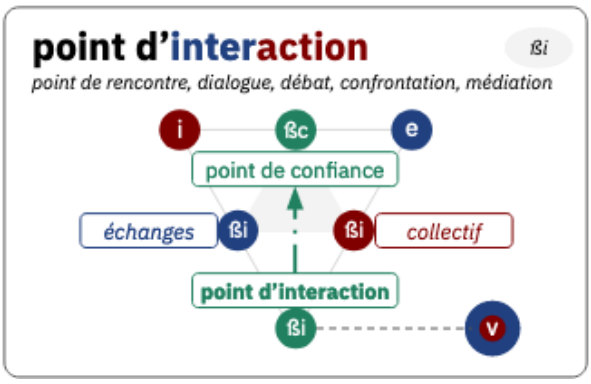


C176 — [ßr] — point de repère

Les deux bifurcations suivantes se répondent également. La troisième bifurcation correspond au **point de vue**, elle est noté **ßv**. Comme synonymes nous considérons avis, opinion, perspective, ou représentation mentale. Selon ses propres schèmes, en psychologie génétique, chacun se forge ainsi un point de vue personnel, et se trouve confronté, en recueillant l'avis de tiers, à une multitude de points de vue, plus ou moins compatibles. Les parcours de vie, construits sur des repères contingents, expliquent cette différence, plus ou moins perçue, et masquée par le flou du langage. Nous l'avons constaté lors de nos missions de conseil : un terme comme *document* prend un sens différent selon la fonction exercée dans l'entreprise et la culture de l'interviewé. Nous considérons que l'expression des points de vue dans un collectif correspond à la quatrième bifurcation, le **point d'interaction**, noté **ßi**. Au cœur de la construction du collectif, il est équivalent à un point de rencontre, dialogue, débat, confrontation, médiation. Lieu d'échanges des points de vue, par exemple dans le cadre d'une conversation, il conduit parfois à des comparaisons et des négociations, ou vire à des affrontements, selon la qualité de la communication. Les cartes [*ßv*] et [*ßi*] illustrent ces deux bifurcations.

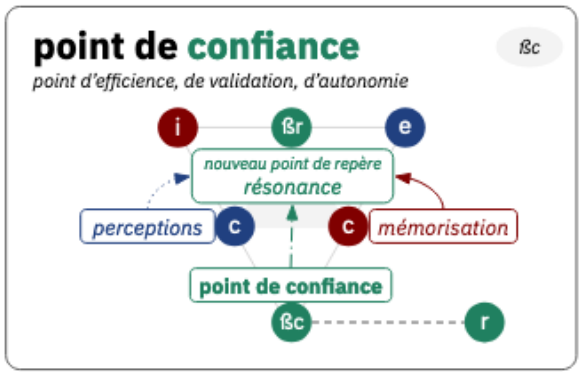


C177 — [ßv] — point de vue



C178 — [ßi] — point d'interaction

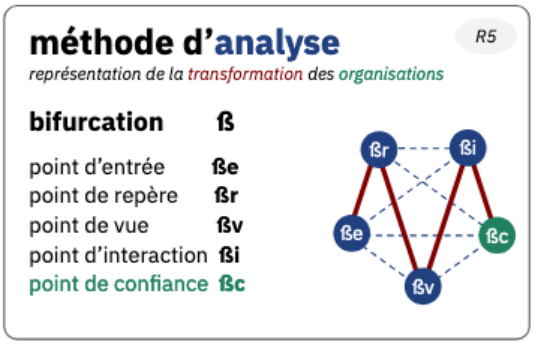
Nous appelons la dernière bifurcation le **point de confiance**, le notant **ßc**. Il correspond à un point d'efficience, de validation. Il correspond à un aboutissement réussi de la confrontation des points de vue. C'est un marqueur d'apprentissage, qui construit l'individuation au sens de Simondon et conduit à l'autonomie, en s'appuyant sur la confiance. La confiance est centrale et indispensable à la construction de la société (Marzano, 2010). En management, elle est positionnée par expérience au cœur de l'*organisation 2.0* comme l'illustrent les titres des différents chapitres du livre éponyme : *chapitre 2. les fondations de la confiance*, *chapitre 3. la voie de la confiance, … , chapitre 7. vers une culture de la confiance* (Roulleaux Dugage, 2008). Notons qu'un rapport de confiance solide entre l'individu et l'organisation est nécessairement double : l'individu fait confiance au collectif et le collectif à l'individu. Selon la réciprocité, cette confiance fluctue donc entre trois positions, qui correspondent aux régimes de l'organisation. La carte [ßc] illustre cette dernière bifurcation. La continuité de la transformation s'exprime ainsi, le *point de confiance* devient un *point de repère* pour l'individu, faisant évoluer son *point de vue*, et donnant lieu à de nouveaux *points interactions*. Ce troisième outil fait l'objet d'une représentation spécifique, notée R5, qui présente deux variantes. Nous les présentons ci-après.



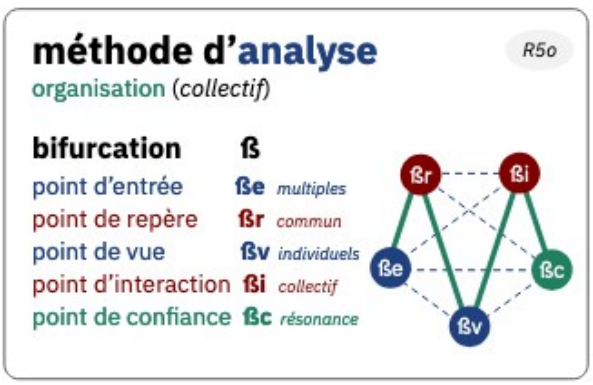
C179 — [ßc] — point de confiance

2.5.2. Modélisation de la méthode d'analyse

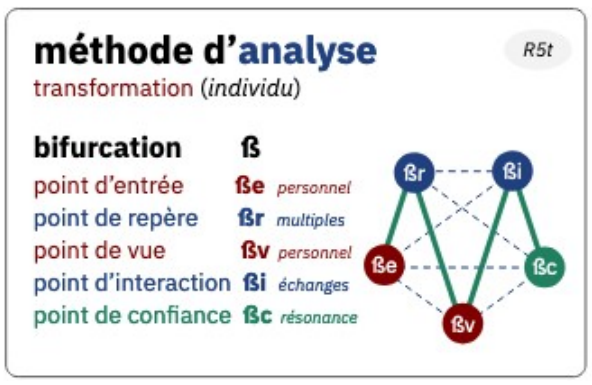
La modélisation générique de la *méthode d'analyse* est représentée par la carte [*R5*]. Les points bleus expriment la multiplicité des choix, le parcours rouge l'unicité de la trajectoire d'un individu, le point vers l'aboutissement de la transformation. Cette représentation se décline selon la perspective considérée, celle du collectif ou celle de l'individu comme l'illustrent les cartes [*R5o*] et [*R5t*], ciblant dans le premier cas l'organisation du collectif et dans le second la transformation de l'individu. L'organisation du collectif suppose de prendre en compte la multiplicité des points d'entrée à partir desquels l'accès aux points de repères doit être facilité. Pour cela une identification et une cohérence sont attendues, définissant des caractéristiques communes. Le collectif doit également tenir compte de la multiplicité des individus qui le compose et donc de la variété de leurs points de vue. Cela induit un cadre d'échange ouvert, en entonnoir, afin de canaliser les débats pour des interactions constructives. Ce parcours est une condition pour que puisse se développer une confiance dans l'organisation. Nous constatons une symétrie avec la perspective de l'individu. Pour lui le point d'entrée, unique, le confronte à de multiples points de repères, liés à son point de vue personnel, qu'il cherche à faire valoir dans les différentes interactions auxquelles il est confronté, et qui font évoluer sa représentation pour en construire une nouvelle.



C180 — [R5] — méthode d'analyse



C181 — [R5o] — méthode d'analyse, organisation



C182 — [R5t] — méthode d'analyse transformation

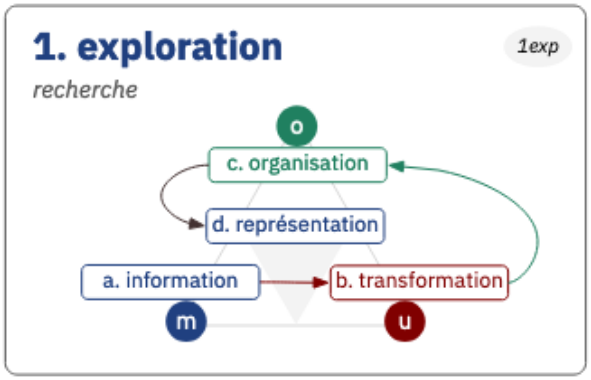
2.5.3. Conclusion (R5)

La méthode d'analyse présentée ci-dessus a connu un développement progressif. Elle est née de l'analyse d'une expérience terrain dans la spécification d'une application numérique de gestion des graines d'information — application ApiApp présentée en partie 3 — présentée dans un premier article au groupe de recherche TIC.IS. Elle a évolué vers une méthode d'analyse des réseaux d'interaction, qui s'est incarné dans un premier jeu de huit cartes, présenté lors d'une rencontre de l'économie collaborative MOUSTIC. Sa dernière évolution la relie au concept de bifurcation en distinguant deux perspectives, celle de l'organisation collective et celle de la transformation de l'individu. En référence aux états de l'organisation précédemment identifiés, nous considérons qu'elle est n'est qu'en état d'amplification et qu'il reste donc de nombreux points à améliorer : sa mise en application permettra d'affiner et mieux formaliser cette méthodologie d'analyse de l'*être-en-réseau*, pour reprendre l'expression d'Olivier Auber. C'est en particulier de l'étude de l'interface entre ces deux perspectives, individuelle et collective, que la prochaine itération pourra probablement émerger. Retenons pour conclure que cette méthode d'analyse illustre les phases de la création de connaissance précédemment évoquées : ßе correspond au signal d'entrée, ßr à la mesure de données par rapport à des référentiels, ßv aux données qui définissent une information. ßi traduit la confrontation de cette information à d'autres et ßc à la création de connaissance.

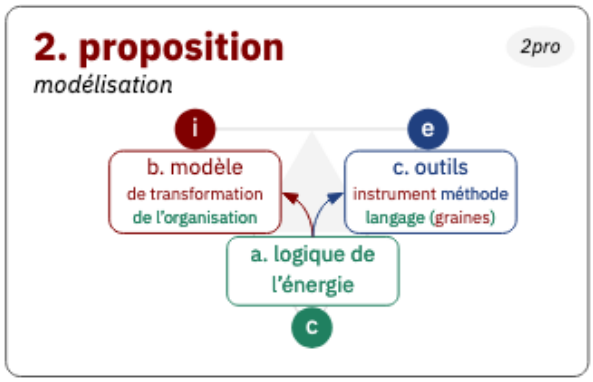
L'ensemble des principes et outils présentés dans cette partie forment un corpus émergent mais déjà conséquent. Nous sommes loin d'avoir épuisé tout son potentiel. Dans la troisième partie, nous présenterons donc les premiers cas d'application, tant théorique que pratique. Précisons que ces premières expérimentations ont déjà participé, dans une boucle itérative, à l'amélioration de la présentation de ces représentations, sans aucunement en changer les principes fondamentaux.

2.6. Conclusion de la proposition

A partir de la problématique initialement modélisée en partie 0 — la « boucle OiTO », *Organisation de l'information et transformation de l'Organisation* — et de nos recherches de la partie 1, nous avons construit dans la partie 2 un modèle de représentation des principes fondamentaux de transformation et d'organisation, ainsi que trois outils opérationnels pour leur description. Les cartes [*1exp*] et [*2pro*] illustrent cette démarche en reprenant nos grilles d'analyse de la transformation et de l'organisation.



C183 — [1exp] — exploration



C184 — [2pro] — proposition

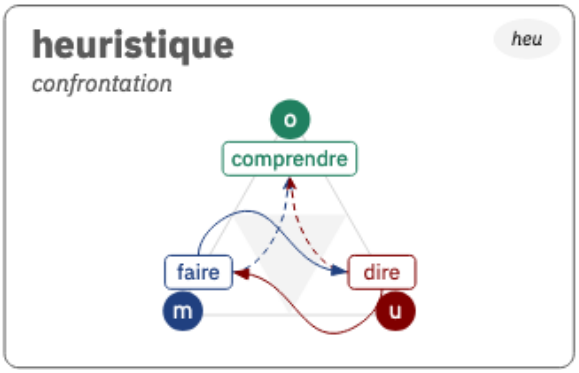
Comme vu précédemment, nos travaux sur les concepts de *graine d'information* et *schéma d'organisation* s'appuient sur un ensemble de théories, en particulier la *logique de l'énergie* de Lupasco, la *théorie générale de la schématisation* de Robert Estivals et la *théorie de l'action* d'Alain Berthoz. Ils nous semblent s'inscrire également dans des courants de recherche plus récents, initiés par Daniel Bonnet avec l'*énantiologie des transformations* et par Bruno Bachimont avec la *théorie du support* et la *raison computationnelle*, leur apportant sans doute en retour de nouveaux éclairages. De plus, notre concept des *graines d'information* s'intègre désormais dans un *langage de description de la transformation des organisations*, répondant à une *logique de la transformation des organisations*.

Nous confrontons à présent cet ensemble de propositions à un processus itératif d'évaluation.

3. Evaluation pour Corroboration

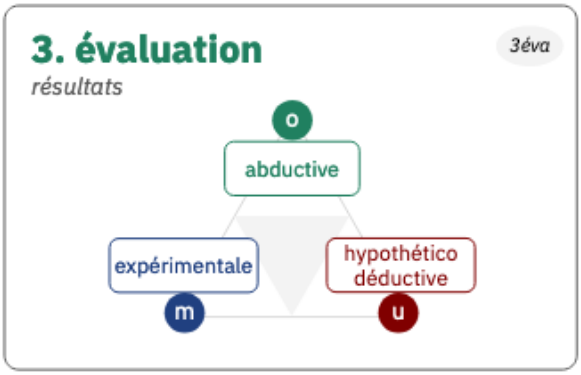
3.0. Introduction de l'évaluation

La construction de notre modélisation a été très progressive, établie en confrontant nos analyses et idées émergentes à des modèles et théories existants ainsi qu'à des expérimentations terrain, tous deux présentés dans cette troisième partie. Ce processus itératif de création de connaissance est schématisé dans une *grille d'analyse de la transformation* avec la carte [*heu*]. Les représentations produites (R0 à R5) ont été utilisées comme une **heuristique**, y compris dans leur phase de formalisation, puis d'ajustement. Ce processus se résume en trois termes : *faire*, *dire* et *comprendre*. *Faire* traduit la multitude des expérimentations, *dire* le travail synthétique d'abstraction et son expression, obtenu par raisonnement inductif et hypothético déductif. Le couplage du *faire* et du *dire* fut source de *résonance* conduisant à une meilleure compréhension des phénomènes. Un essai de formalisation de ce processus de mise en résonance a été décrit dans une communication présentée aux journées d'étude TIC.IS (Lacombe et Vieira, TICIS 2019 à paraître en 2021).



C185 — [heu] — heuristique

Les différentes représentations qui composent cette logique ont été mises à l'épreuve par trois types d'évaluation, la première *hypothético-déductive*, la deuxième *expérimentale*, la troisième selon une *approche abductive*. Ces trois validations s'inscrivent par ailleurs dans notre *grille d'analyse des transformations,* comme présenté sur la carte [3*éva*].



C186 — [3éva] — évaluation

La *validation hypothético-déductive* illustre différents exemples d'usage des représentations, principalement R1 à R4 puisque R5 est plus centrée sur l'opérationnel. Les cas abordés sont empruntés à différentes disciplines. Tous ne seront pas développés avec le même niveau de détail, nous resterons même très succinct sur certains. L'objectif est avant tout d'illustrer la diversité des usage possibles et donc le positionnement *méta* de la modélisation. Pour quelques uns, notre éclairage à partir d'un autre point de vue de concepts et théories établis apporte cependant des compléments d'interprétation. Les exemples d'application sont regroupés en quatre séries. Ce travail de traduction de notre design dans des modèles existants se poursuit, actualisé quasi quotidiennement. Nous enrichissons ainsi une base de cartes, dont les exemples développés sont extraits, qui organisent nos connaissances en rapport à la logique de description de la transformation des organisations, au fur et à mesure de la découverte de nouvelles correspondances. Ce travail est disponible dans un document de synthèse composé de planches numérotées, de cartes indexées. Ces planches forment deux ensembles. Le premier (numéros des planches inférieurs à 100) regroupe l'ensemble des cartes illustrant le système de représentation et le second les cas d'applications, en quatre sous-ensembles intitulés *Fondations*, *Anneau des Disciplines*, *Explorations*, *Applications*. *Fondations* regroupe 9 planches sur des fondamentaux, les signes, le sens, les référents, le langage, l'information, la logique, l'informatique, le numérique et la mesure. L'Anneau des Disciplines, les planches associées aux mathématiques, la physique, la biologie, les sciences humaines et sociales et la philosophie.

La *validation expérimentale* est présentée dans une deuxième section. Elle s'appuie sur l'usage de nos modèles dans des organisations que nous accompagnons dans leur transformation numérique. Cette validation est en cours et dépend d'aléas externes. C'est pourquoi nous avons donné la priorité à la validation hypothético-déductive. Les expérimentations ont été nombreuses, nous en présentons principalement trois. Une première dans le domaine du tourisme commencée avant la recherche, c'est-à-dire antérieures à 2017 et qui est pour l'instant suspendue, une deuxième dans le domaine de l'archéologie poursuivie durant toute la

recherche et qui est toujours en cours, une troisième dans le domaine médico-social, commencée en fin de recherche mais qui exploite pleinement nos résultats.

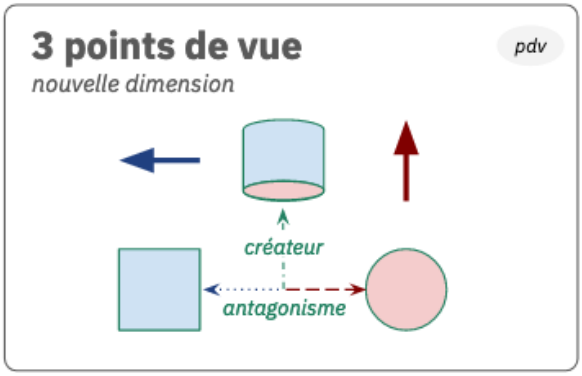
La troisième validation, par une *approche abductive*, n'est pas sur le même plan. Ayant émergé par sérendipité, elle est à l’origine de l’esquisse d’une *théorie sur le développement des organisations*. Ces derniers résultats sont suffisamment significatifs pour définir les perspectives, présentées dans la dernière et quatrième partie.

En préambule à cette troisième partie, nous soumettons notre construction, dont l’un des usages principaux est l’organisation des connaissances, au cadre d’évaluation de ces systèmes, proposé par Manuel Zacklad (2010).

3.0.1. Évaluer un système d'organisation des connaissances

Les critères de présentation des SOC proposés par Manuel Zacklad définissent un *cadre d'analyse des écritures de l'information dans les TIC et le SI*. Son auteur distingue cinq axes : 1/ l'origine de la source (qui parle ou participe, à quel titre), 2/ le régime de description (primaire, secondaire), 3/ le format de l'écriture (libre, codifié), 4/ la signification (référentielle, interprétative), 5/ le statut (contenu principal, secondaire). Ces axes se traduisent par une liste de cinq questions; nous précisons pour chacune les usages autorisés par nos représentations.

1/ « *Qui parle, qui participe, au nom de quoi ? (l'instance énonciative responsable du SOC).* » Les *graines d'information* définissent un cadre de recueil d'information, de construction et de partage de connaissances ouvert à tous, bien qu'il nécessite un apprentissage. Nous avons pu constater que la difficulté d'assimilation se trouve avant tout du côté de la *logique de l'énergie* sur laquelle il s'appuie, logique antagoniste du tiers-inclus qui appelle un **point de vue** *méta,* comme illustré par la carte [*pdv*]. En demandant d'imaginer un carré bleu, puis un disque rouge. L'entité qui est à la fois un carré bleu et un disque rouge n'est plus dans le plan mais un cylindre dans l'espace. Cette perspective appelle une ouverture à une nouvelle dimension. Nous présentons parfois cet exemple, pour illustrer le contradictoire.



C187 — [pdv] — 3 points de vue

2/ « *De quels objets ? (la source de la description, primaire ou secondaire, modèle de situation ou de contenu).* » Sur ce critère les graines autorisent à la fois l'interprétation de la signification d'une situation concrète dans le champ opérationnel, mais également la description d'un contenu existant, selon un processus de traduction, ce que nous avons fait par exemple dans les premières expérimentations voire la modélisation d'un processus, en particulier avec les *patterns*.

3/ « *Dans quel format d'expression ? (le type et le degré de formalisation du SOC, sémiotique ou logico-mathématique).* » Les graines d'information définissent un code qui permet un usage à différents niveaux. Le niveau 0 n'utilise que les concepts : l'usage est alors centré sur le découpage de l'information en unités cohérentes, purement sémiotiques. Le niveau de détail est alors déterminé en fonction de la perception et des besoins. Le codage s'affine et se formalise en fonction de trois processus complémentaires et indépendants : l'usage de la typologie (avec les 9 autres espèces de graines), la structuration des graines (leur contenu), leur mise en relation (avec les relations d'association et d'inclusion). Le format permet une progression dans le codage de l'information, partant du libre vers une codification éventuelle. C'est l'une des deux caractéristiques originales de notre approche, dont nous avons pu constater l'intérêt sur le projet archéologique.

4/ « *L'information correspond-elle à une description primaire (modéliser une situation) ou secondaire (régime de description) ?* » Les deux aspects de la signification, référentielle et interprétative, sont également traités de manière progressive, c'est la deuxième caractéristique originale. Un usage individuel correspond plutôt à un régime de description. La confrontation des descriptions et leur alignement permet de basculer vers un régime primaire et une signification référentielle. En évitant cette coupure traditionnelle et artificielle, le langage élargit le périmètre d'usage, et aide à lutter contre la fracture numérique.

5/ « *En utilisant quel principe d'association entre les termes pour permettre quel type de raisonnement ? (typé et référentiel, heuristique, statistique)*. » Pour ce critère également, le type de raisonnement est laissé ouvert. Nous avons pu exploiter pleinement le raisonnement heuristique, et utilisons également l'aspect typage et référentiel. L'usage statistique est possible mais n'a été envisagé que théoriquement sur les graphes produits avec l'application développée pour le tourisme. De cette évaluation rapide, nous retenons la souplesse d'usage de ce système de représentation et d'organisation des connaissances, illustré par les exemples de la validation hypothético-déductive.

3.1. Evaluation hypothético-déductive

3.1.0. Introduction

L'évaluation *hypothético-déductive* est découpée en trois séries d'exemples, identifiés par les lettres A à C. Dans la série A, nous décrivons des concepts, dans la série B, des théories ou modèles existants, et dans la série C, nous traitons de fonctions et processus. Nous précisons le contenu de chacune de ces séries. La série A ne comporte que deux cas, notés A1 et A2. Elle propose une interprétation succincte des concepts génériques que sont l'espace et le temps, d'abord pris séparément puis dans leur continuité. Nous nous appuyons principalement sur la représentation du principe de transformation, soit R1. La série B comporte six exemples, de B1 à B6. Elle propose une réinterprétation de modèles ou théories existantes, les traduisant dans notre modèle. Nous utilisons pour cela les représentations de R1 à R4. La série C comporte deux exemples, notés C1 et C2, dont nous éclairons plusieurs facettes, en particulier pour illustrer le passage à l'ère numérique. Elle présente une analyse de deux processus dans le champ des organisations : le premier est centré sur l'économie, le second sur la création. Ces thèmes sont au centre de deux des boucles présentées en introduction dans le pentachore des disciplines : la *boucle C3 Commande* », et la *boucle C1 Création* . Nous croisons plusieurs disciplines, dans l'esprit de l'essai de thermo-bio-sociologie sur la thermodynamique de l'évolution (Roddier, 2012).

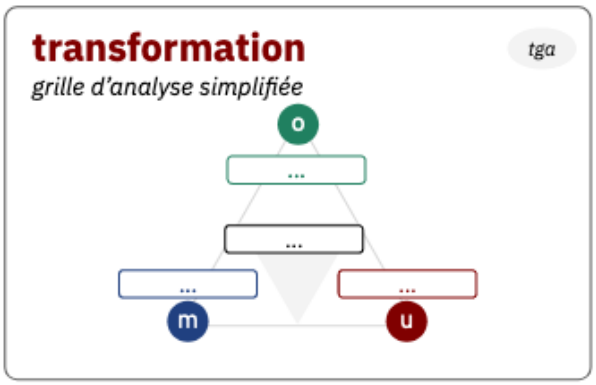
Le tableau T33 répertorie l'ensemble de ces exemples. Pour chaque numéro de la série, nous précisons les modèles utilisés ainsi que l'auteur source afin de contextualiser le champ lexical d'application de nos représentations, ceci afin de nous affranchir des variétés d'interprétations liées à la polysémie du langage. Pour traiter ces différents exemples d'application, nous faisons un usage régulier de la grille d'exploration des transformations définie en partie 1, à partir du modèle de représentation R1. Nous poursuivons cette introduction par une présentation détaillée de cette grille et de notre pratique précédemment abordée (en § 2.1.8).

T33 — Exemples d'application du modèle

n°	*modèles*	*exemples d'application*	*auteurs source*
A	*description de concepts*		
A1	R1	Concepts spatiaux et temporels	Philosophes Grecs, Aristote, Descartes, Kant, Saint-Simon
A2	R1	Continuum espace-temps	Einstein, Minkowski
B	*description de modèles*		
B1	R1	La pensée « dialogique », la « triade constitutive du concept d'homme » et la « boucle tétralogique »	Edgar Morin
B2	R1, R4	Les structures anthropologiques de l'imaginaire et théories congruentes	Gilbert Durand, 2016
B3	R1, R2, R3, R4.œ1	La pyramide des besoins	Abraham Maslow, 1969
B4	R3, R4.œ1	Les axes de résonance	Hartmut Rosa, 2018
B5	R3, R4.œ7	L'haptonomie	Frans Veldman, 1989
B6	R3, R4.œ8	Les actes de langage	John Austin, 1970
C	*description de processus*		
C1	R1, R2	*Processus économique*	*boucle C3, commande*
	R1, R4	Fonctions et utilisations de la monnaie	Aristote, Piketty, Lietaer, Passet
	R1, R2	L'économie de l'attention et le modèle économique des GAFAM	Tarde, Simon, Stiegler, Citton, Houdé, Fogg, Eyal…
	R1, R2	L'architecture du réseau internet	multiples
		Processus créatif	*boucle C1, création*
C2	R1, R2, R4	De la création du sens au sens de la création	multiples

3.1.0.1. Usage de la grille d'exploration des transformations

La grille d'exploration des transformations se présente sous la forme d'un triangle équilatéral divisé en 4 espaces. Nous reproduisons ci-dessous la version simplifiée avec la carte [*tga*].



C188 — [tga] — transformation, grille d'analyse

L'identité de mesure entre les 3 angles illustre la symétrie a priori entre les attracteurs, positionnés aux sommets. L'usage d'un triangle quelconque permet a contrario de représenter des déséquilibres entre les attracteurs. Une exploration de cette autre piste est en cours, pour envisager une mesure du champ énergétique. Au centre, notre sujet d'étude est de ce fait sous l'influence uniforme des 3 attracteurs. Nous utilisons le terme d'influence car un attracteur est source d'un champ de forces. Il ne s'agit pas de catégoriser des termes mais de les positionner au mieux dans ce champ de forces. Les deux attracteurs à la base du triangle sont *énantiologiques*, leurs effets s'opposent. De cette confrontation émerge l'influence du troisième attracteur, organisationnel. La démarche consiste alors simplement à renseigner les trois espaces vides près des sommets avec les termes qui apparaissent les plus appropriés. Soumis aux deux attracteurs énantiologiques, les termes retenus peuvent être sujets à des interprétations contradictoires, c'est-à-dire être positionnés indifféremment à droite ou à gauche à la base de la grille. Cette difficulté terminologique a été préalablement mise en évidence lors de la présentation des composantes du langage de description R4. En effet, au fur et à mesure de l'avancement de sa construction, nous avons cherché à vérifier la pertinence des termes choisis. La collaboration d'interlocuteurs s'est révélée fructueuse du fait de la variété relative de leurs compétences, de leurs intérêts ou de leurs problématiques. Précisons que si notre protocole de présentation et de questionnement s'est affiné progressivement, nous le considérons toujours en

évolution. En effet, nous travaillons selon un mode itératif, en nous inspirant de la méthodologie du « *design thinking* », présentée succinctement dans l'exemple C5.

Ainsi, dans nos échanges, selon nos interlocuteurs et pour un terme donné, l'un des deux attracteurs énantiologiques apparaissait parfois dominant dans son schéma de représentation. Une demande de précision sur le point d'accroche levait toujours l'ambiguïté : nous nous accordions en validant la double interprétation. Dans les exemples, nous avons retenu l'interprétation qui nous paraissait la plus pertinente mais signalons l'alternative. Le modèle d'interprétation R5, qui distingue les points de repères communs, les points de vue individuels et les points d'interaction qui construisent le collectif, nous permettra par la suite d'envisager un protocole de communication permettant d'améliorer la qualité des échanges afin de pallier aux malentendus résultants de la polysémie du langage et de la variété des contextes.

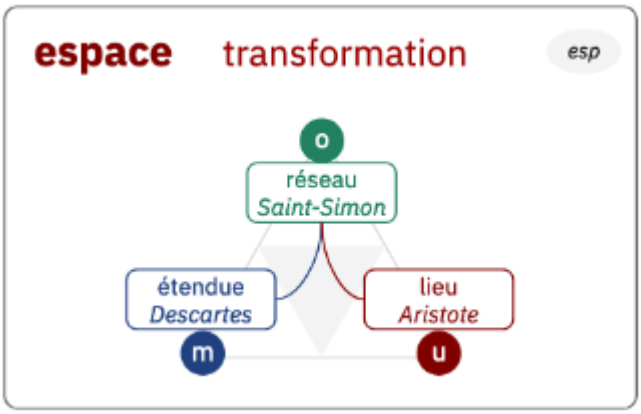
3.1.1. Description de concepts

Le premier exemple traite des universaux Kantiens que sont les concepts spatiaux et temporels. Le second exemple fait référence à la relativité générale d'Einstein. Dans ces deux exemples, nous utilisons des concepts très généraux, l'espace et le temps, donc potentiellement sources d'interprétations multiples. Sans avoir cherché à développer méthodiquement la dimension historique, ni à entrer dans la multiplicité et la finesse des interprétations, nous avons retenu les représentations courantes et consensuelles de l'espace et du temps dans le contexte de la civilisation occidentale. Dans la *Critique de la raison pure*, Kant considère l'espace et le temps comme des objets de l'entendement a priori. Ce cadre de référence de la pensée occidentale a été remis en question avec Einstein, qui les a relativisé en les fusionnant. Plus précisément, il les a fait dépendre l'un de l'autre, dans une relation inverse, avec l'hypothèse de la constance de la vitesse de la lumière. La science ne raisonne plus à partir de deux référentiels absolus, d'un côté l'espace, de l'autre le temps, mais d'un seul, un espace temps quadridimensionnel et malléable. Néanmoins, la vision Kantienne reste très largement partagée dans la vie courante, puisque les espaces parcourus et les temporalités associées sont très loin des

ordres de grandeur de la cosmologie. Nous commençons donc par considérer indépendamment les concepts d'espace et de temps.

3.1.1.1. Concepts spatiaux et temporels (A1)

Nous avons utilisé la grille d'exploration des transformations d'abord au concept d'espace puis de temps. Représentés sur la carte [*esp*], les trois concepts spatiaux fondamentaux — le **lieu**, l'étendue et le réseau — sont apparus progressivement, mis en évidence par différents auteurs[226]. Aristote a tout d'abord développé une « *théorie du lieu naturel* » (Hayen, 1937). « *Pour Aristote, toute chose, en effet, doit être située quelque part, et il y a d'ailleurs un lieu pour chaque chose.* » (Parrochia, 2017:117). La pensée de Descartes est fondatrice du concept d'espace moderne, vue comme **étendue**. Il le considère comme « *indéfiniment divisible [...] et indéfiniment étendu* » (de Buzon, 2012:81). L'espace cartésien, conçu comme tridimensionnel et muni du repère cartésien, a servi de référence et de support à la pensée moderne. Avec une origine et trois axes orthogonaux, il permet de définir une position d'un point à l'aide de 3 coordonnées (x, y, z) mesurant la distance à l'origine selon les 3 axes. L'origine est arbitraire, choisie en fonction du système étudié. Lieu et espace sont tous deux soumis aux attracteurs énantiologiques : chaque lieu est unique mais il existe de multiples lieux. L'espace forme un tout mais il est constitué de multiples lieux. Cette double vision illustre la variété des schèmes de représentation. Le **réseau** est quant à lui un espace organisé, découpé en lieux reliés entre eux. Le réseau est une construction. « *Le concept moderne de réseau se forme dans la philosophie de Saint-Simon* » (Musso, 2001:204) à l'orée du développement des grands réseaux de transport et de communication. Précisons que notre approche de l'espace dans notre système de

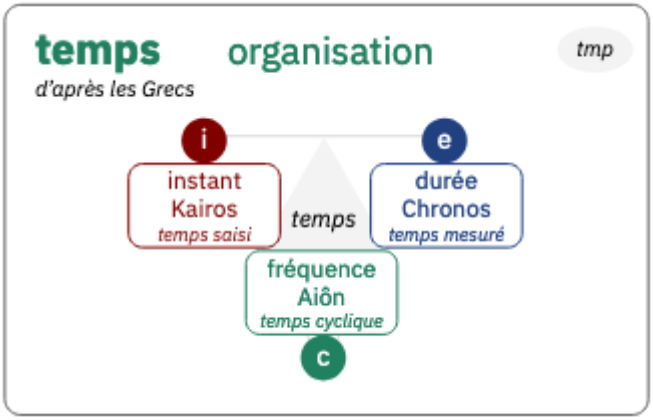


C189 — [esp] — espace, transformation

226. Cet exemple est issu d'échanges avec Jean-François Morfin

représentation est relationnelle. Nous privilégions la **distance** à la position, ce qui réduit le nombre de coordonnées de 3 à 1 pour étudier la relation entre deux entités. Pour trois entités, nous obtenons trois distances, six pour quatre, dix pour cinq, quinze pour six… Il s'agit d'une progression géométrique qui se calcule selon la suite n(n-1)/2. Pour l'étude spatiale d'un système de n entités, l'approche relationnelle utilise plus de données que l'approche cartésienne (n entités n'utilisent que 3n coordonnées) mais elle en simplifie l'exploitation car nos coordonnées sont plus directement exploitables car nécessitent moins de calcul. Notons que le système de coordonnées polaire est équivalent au système cartésien puisqu'il s'appuie sur le même repère (cartésien), qui s'appuie sur une distance et deux angles par rapport à une origine. Le modèle cartésien peut ainsi être qualifié de positiviste, contrairement à notre approche constructiviste, purement relationnelle.

Considérons à présent les concepts relatifs au **temps**. Dans la mythologie grecque, trois divinités étaient associées au temps : *Aiôn*, *Chronos* et *Kairos*. Représentés sur la carte [*tmp*], les trois concepts temporels fondamentaux — l'instant, la durée, la fréquence — associés à chacune des divinités, sont reliés aux trois attracteurs de la grille. Ces divinités représentent trois dimensions du temps : *Aiôn*, le temps infini, la durée, l'éternité, le cycle, c'est-à-dire la continuité; *Chronos*, le temps objectif, fragmenté, divisé en unités, mesuré chronologiquement, c'est-à-dire la discontinuité; *Kairos*, le temps subjectif, suspendu, l'instant, l'équilibre, c'est-à-dire un temps bref qui s'additionne à la mémoire, à la fois discontinu et continu. Nous remarquons que la société industrielle semble favoriser aujourd'hui *Chronos* par rapport à *Aiôn* et *Kairos*. On observe cependant un double mouvement de rééquilibrage avec d'une part la redécouverte des cycles et rythmes

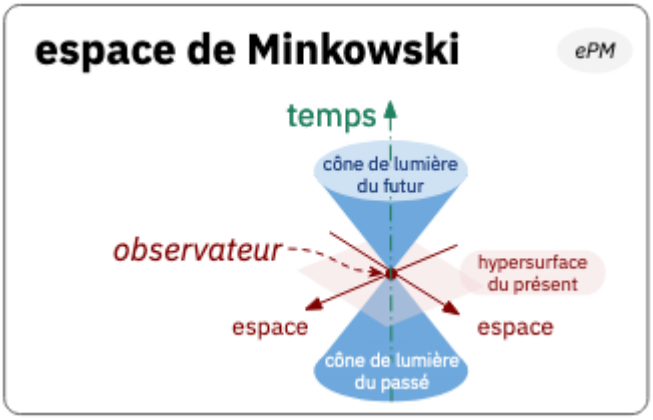


C190 — [tmp] — temps, organisation

de la nature et d'autre part les activités liées à la recherche du bien-être et au développement personnel, visant la reprise de contrôle de son propre temps. Ce double éclairage nous semble apporter une représentation simple et cohérente. Considérons à présent la représentation du continuum espace-temps, afin de vérifier la validité de notre modélisation au prisme du modèle relativiste.

3.1.1.2. Concept d'espace-temps (A2)

Depuis les travaux d'Einstein sur la relativité restreinte, le continuum espace-temps est modélisé mathématiquement par l'espace de Minkowski représentée par la carte [*ePM*]. Ce schéma réduit les trois dimensions traditionnelles de l'espace à deux. Cet espace-temps associe la représentation *Chronos* de la carte [*tmp*], projetée sur un axe vertical, à la représentation Espace de la carte [*esp*], projetée dans un plan.



C191 — [ePM] — espace de Minkowski

Dans cette représentation de l'espace-temps, l'observateur est situé sur le point du présent à l'intersection des deux cônes. Il ne peut se déplacer dans l'espace qu'en se déplaçant dans le temps. L'information perçue est représentée par un tenseur d'ordre n de 4^n composantes (3 composantes spatiales + 1 temporelle). Cette construction définit un réseau d'informations qui intègre les propriétés prises en compte dans l'observation, comme les champs de forces électromagnétiques ou gravitationnelles, qui ont pour effet de déformer cet espace-temps. Il y a donc compatibilité avec notre hypothèse sur l'information en faisant évoluer notre définition pour passer du vecteur au tenseur de transformation. Un vecteur est un tenseur d'ordre 1. Un tenseur est la généralisation d'un vecteur à des ordres supérieurs. Le cône du passé fixe la limite de l'observable. Cette limite est fixée par la vitesse de la lumière hypothétiquement supposée constante. La vitesse établit une relation entre l'espace et le temps. Une vitesse est définie par le rapport d'une

distance divisée par un temps, soit v = d/t. En considérant la vitesse constante, la diminution de la distance implique une diminution du temps dans le même rapport. Les communications en temps réel et longue distance, c'est le cas des communications numériques, nous font ainsi ressentir une accélération du temps. Ce ressenti subjectif[227] est du domaine du *Kairos*. La relation du concept d'*Aiôn* à l'espace suppose la non localité des phénomènes. Cette problématique est celle de l'intrication quantique, définie comme l'inséparabilité de deux objets qui présentent des états quantiques interdépendants quelle que soit leur distance. Or les deux théories au fondement de la physique, la relativité générale et la mécanique quantique, sont restées jusqu'à présent indépendantes, malgré près d'un siècle de tentative d'unification. Néanmoins la recherche progresse, avec de nouvelles pistes de rapprochement, comme une source quantique à l'espace-temps (Cowen, 2015).

L'état actuel des connaissances sur l'espace-temps ne permet donc pas de valider pleinement notre représentation de ce sujet (elle ne l'invalide pas non plus). Elle reste une conjecture. Pour conclure temporairement sur ce sujet, signalons l'opportunité d'utiliser conjointement les deux vues précédemment construites, qui représentent indépendamment les concepts d'espace et de temps. Sans chercher à la résoudre, nous soumettons ainsi une grille d'analyse du croisement des concepts d'espace et de temps dans le tableau T34.

T34 — Grille d'analyse du croisement des concepts d'espace et de temps

influence des attracteurs sur les concepts	*temporels*	(m(	(o)	)u)
spatiaux		*espace*	*réseau*	*lieu*
(m(	*Chronos*			
(o)	*Kairos*			
)u)	*Aiôn*			

227. Nous apporterons un éclairage complémentaire sur ce point avec notre hypothèse de transformation adaptative des organisations (cf. § 3.3.1.2.)

3.1.2. Description de modèles

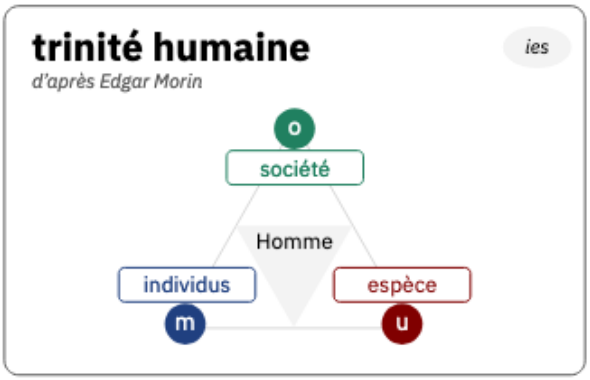
Cette partie est centrée sur la traduction de modèles existants dans notre modèle de représentation des transformations et de l'organisation. Cet exercice présente deux risques principaux : d'une part, celui d'une connaissance approximative des modèles approchés lorsque nous nous éloignons de notre cœur de compétence, d'autre part la jeunesse de notre modèle, nettement moins éprouvé que ceux auxquels nous le comparons. La comparaison ne pourra donc être qu'ébauchée. Nous espérons surtout avoir évité des erreurs d'interprétation des modèles comparés. Néanmoins ces rapprochements nous semblent fructueux, raison pour laquelle nous avons osé cette confrontation. Les modèles analysés se positionnent à différents niveaux. Le premier est centré sur l'homme, dans la complétude de ses dimensions. Nous établissons une première correspondance avec la pensée dialogique d'Edgar Morin pour analyser plus précisément « la triade constitutive du concept d'homme » puis la « boucle tétralogique », ce qui nous conduira à proposer également une représentation des dimensions axiologiques en lien avec cette pensée. Le second approfondit le premier puisqu'il concerne les structures anthropologiques de l'imaginaire de l'anthropologue Gilbert Durand. Le troisième établit un lien entre le psychologique et le sociologique puisqu'il s'agit du modèle de la pyramide des besoins humains du psychologue Abraham Maslow. Le cas d'étude suivant est dans le domaine de la sociologie, du point de vue de l'individu avec la théorie des axes de résonance de Hartmut Rosa. Nous abordons ensuite un modèle de la psychothérapie, avec l'haptonomie de Frans Veldman. Pour terminer, nous considérons les actes de langage, du philosophe et linguiste John Austin.

Avec la variété des disciplines abordées, nous avons privilégié une approche horizontale à l'approche verticale, en cherchant avant tout à illustrer le potentiel de mise en relation entre des théories complémentaires. Chacun de ces exemples mériterait certainement une analyse plus approfondie par des spécialistes de ces disciplines.

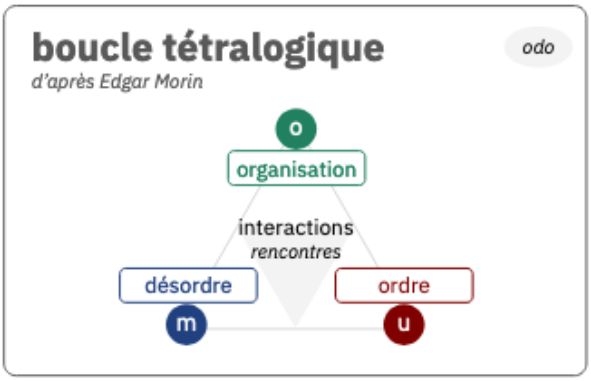
3.1.2.1. La pensée d'Edgar Morin et la construction de la société (B1)

Edgar Morin qualifie sa pensée de « *dialogique* ». Elle fut inspirée par la logique du contradictoire de Lupasco, comme évoqué dans la partie cadrage.

Cette pensée d'une grande richesse est génératrice de la « *triade constitutive du concept d'homme* » (Morin, 1977:13). Nous la modélisons avec R1 comme l'illustre la carte [*ies*]. L'espèce, unique, est constituée de multiples individus. Individus et espèces sont indissociables, dans une relation énantiologique. La société correspond à une forme d'organisation, qui est le produit d'une double force, homogénéisante de l'espèce (attirance vers les autres) et hétérogénéisante de l'individu (individuation chez Simondon). Edgar Morin modélise le principe de transformation par une « *boucle tétralogique* » (*ibid.*, p.56) : « *Cette tétralogie constitue le principe immanent des transformations, et par là des organisations et des désorganisations, qui manquait à la physique* » (*ibid., p.*61). La carte [*odo*] illustre la correspondance parfaite entre cette boucle et notre représentation à l'aide d'attracteurs : deux forces s'opposent, l'ordre qui unifie et le désordre qui multiplie. C'est de leur confrontation, par interactions et rencontres, qu'est produite la diversité, et qu'émerge l'organisation.



C192 — [ies] — trinité humaine



C193 — [odo] — boucle tétralogique

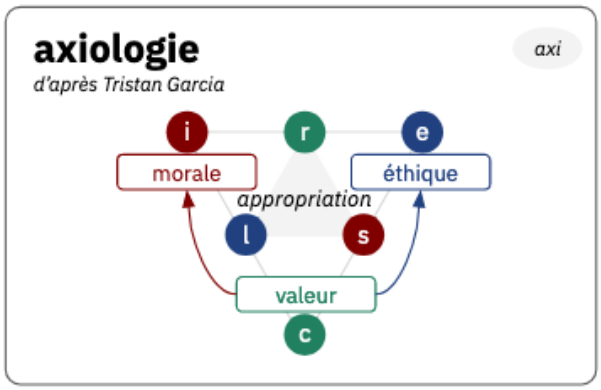
Sur la construction de la société, notre modèle permet de rattacher à cette pensée les thèses de plusieurs auteurs. Si pour exister l'identité demande à être reconnue (Ricœur, 1990), la construction de la société post-industrielle s'appuie sur la pratique de « séparation » dans le cadre du développement de l'économie

capitaliste : c'est la « *société du spectacle* » (Debord, 1967) qui établit de nouveaux rapports sociaux, médiatisés par des images. Le développement de cette société a commencé à l'ère industrielle avec les institutions telles que l'école, la caserne, l'usine, l'hôpital, et la prison, élément clé de ce maillage social pour « surveiller et punir » (Foucault, 1975). Suite à « *l'explosion de la communication* » (Breton & Proulx, 1994), parallèlement à la fin des institutions disciplinaires, se mettent en place les « *sociétés de contrôle* » (Deleuze, 1990). L'époque moderne selon Foucault signait le passage d'une société de souveraineté, qui consistait à prélever plutôt qu'organiser la production et à décider de la mort plutôt que gérer la vie, à la société disciplinaire. Celle-ci concentre (influence de l'*attracteur unique*), mais en même temps répartit dans l'espace et ordonne dans le temps (influence de l'*attracteur multiple*). Elle compose ainsi dans l'espace-temps une force productive dont l'effet doit être supérieur à la somme des forces élémentaires (influence de l'*attracteur organisationnel*) . C'est le plein développement de l'ordre des bâtisseurs (Chazal, 2006). La *société de contrôle* correspond au passage d'un *ordre statique*, qui cible le corps, à un *ordre dynamique*, qui cible l'esprit. Ce passage est analogue à un changement de phase, marquant le passage de la « *société solide* », où les structures de l'organisation commune sont créées collectivement, à la « *société liquide* » de Bauman. Celle-ci met en avant le plaisir, la liberté individuelle, la consommation, et le modèle de l'entreprise, puis de l'auto-entreprise. Elle maximise la dissipation de l'énergie, conformément à la loi MEP. Nous pouvons en observer les effets sur l'évolution des rapports entre les individus, par la transformation des mécanismes de régulation.

En agrandissant l'espace d'exploration et d'expression, l'internet redéfinit les relations et les contraintes. Par sa finesse de la découpe de l'information (traduit uniquement avec des 0 et des 1), le numérique facilite le franchissement des frontières. Il s'infiltre et fait tomber d'anciens murs, mettant à mal le fonctionnement des entreprises traditionnelles : « *quand l'entreprise perd sa peau, elle se vide de sa substance* » (Baqué, 2009). Mais selon l'effet du contradictoire, d'autres formes de régulation se développent en parallèle. Les murs se construisent

et se multiplient à une échelle plus fine, au niveau des interfaces. Cette transformation du *autour* au *entre* se traduit par l'apparition des *bulles de filtres* de Pariser précédemment évoquées. Notons que cette régulation s'effectue sous le couvert de l'éthique plutôt que la morale. Nous analysons le choix de cette valeur.

D'après Tristan Garcia, « *le propre d'une éthique est de définir un adverbe, qui indique de quelle façon il convient de vivre. Au contraire, pourrait-on avancer, la principale caractéristique d'une morale est de valoriser un ou plusieurs, adjectifs, qui signifie la qualité qu'il faut acquérir.* » (Garcia, 2016:109) La morale « *concerne les règles ou principes de conduite, la recherche d'un bien idéal, individuel ou collectif, dans une société donnée.* » (CNRTL) C'est donc un attracteur social. Elle s'incarne aujourd'hui dans des algorithmes, qui permettent de gérer le quantitatif, c'est-à-dire aussi bien les acteurs que les actions. L'ensemble des acteurs du vivant est progressivement concerné : humains, animaux et végétaux, via l'élevage et l'agriculture. Cette morale est définie en fonction d'intérêts particuliers, par ceux qui commandent les plateformes. Elle n'est donc pas démocratique et appelle une réaction qui s'exprime dans des systèmes de valeurs complémentaires que sont l'éthique et la justice. L'éthique, englobante, est sollicitée pour prendre en compte les intérêts généraux, en particulier ceux de la nature. Complémentaire à l'éthique et la morale, la justice est applicative. Elle cherche à rétablir l'équité. Elle évalue les intérêts des parties, individuelles ou représentatives d'individualités, c'est-à-dire des communautés, des sociétés, institutions, plus généralement des organisations. Morale, éthique et justice apparaissent donc comme trois dimensions axiologiques développées à partir des trois attracteurs, sur lesquels s'appuie le droit. Nous illustrons cette interprétation avec la carte [*axi*]. La superposition de cette carte avec celle de la triade constitutive de l'homme en éclaire la lecture : la morale est une aspiration de la société, la justice des individus, et



C194 — [axi] — axiologie

l'éthique de l'espèce.

Le réseau Internet a fait évoluer la société avec le passage du contrôle à l'auto-contrôle, via d'une part l'exploitation de nos biais cognitifs et d'autre par la censure algorithmique. C'est ainsi qu'aujourd'hui est suggérée l'émergence d'une « société d'exposition », société de servitude volontaire par la séduction (Harcourt, 2020). Nous retrouvons dans le développement de la société cette logique de « connaissance - commande » évoquée en partie 1. Avec la simple appartenance à un groupe ou une classe sociale la connaissance de l'individu est approximative. Elle s'affine avec la prise en compte du faisceau de relations, de même qu'en mathématique la « théorie des types » — qui qualifie des éléments — affinait la théorie des ensembles — un élément appartient à un ensemble, ainsi que, en sciences cognitives, la « théorie du prototype » (Rosch, 1973) avec la pondération qui affine la catégorisation. Aujourd'hui, c'est l'utilisateur qui parsème son parcours numérique d'actions — publications, connections, contacts, notations, avis, commentaires, appréciations — et de simples traces, collectées à partir de cookies, permettant aux algorithme de reconstruire un avatar numérique à son image, obtenu par corrélation, et permettant un ciblage fin et donc une influence. Ce processus mérite une analyse critique. Après une ignorance de ces mécanismes, l'information au grand public vise le sensationnel, comme l'exprime le documentaire T*he Great Hack : L'affaire Cambridge Analytica* diffusé par Netflix en juillet 2019 et qui annonce : « *En étudiant 10 de vos Likes sur Facebook, l'algorithme vous connaît mieux que vos collègues, avec 100 likes étudiés, il vous connaît mieux que votre famille, et avec 230 likes, il vous connaît mieux que votre conjoint*. » Mais la diffusion des informations sur ce processus le remet en question. L'influence du compteur de likes en est venu à parasiter le comportement de l'internaute. En effet, le *like* perd son sens lorsqu'il peut s'acheter en masse via des sociétés de *webmarketing*, et que son inventeur Justin Rosenstein reconnaît publiquement son influence néfaste[228]. L'internaute prenant conscience des effets de ce processus

228. https://www.theguardian.com/technology/2017/oct/05/smartphone-addiction-silicon-valley-dystopia

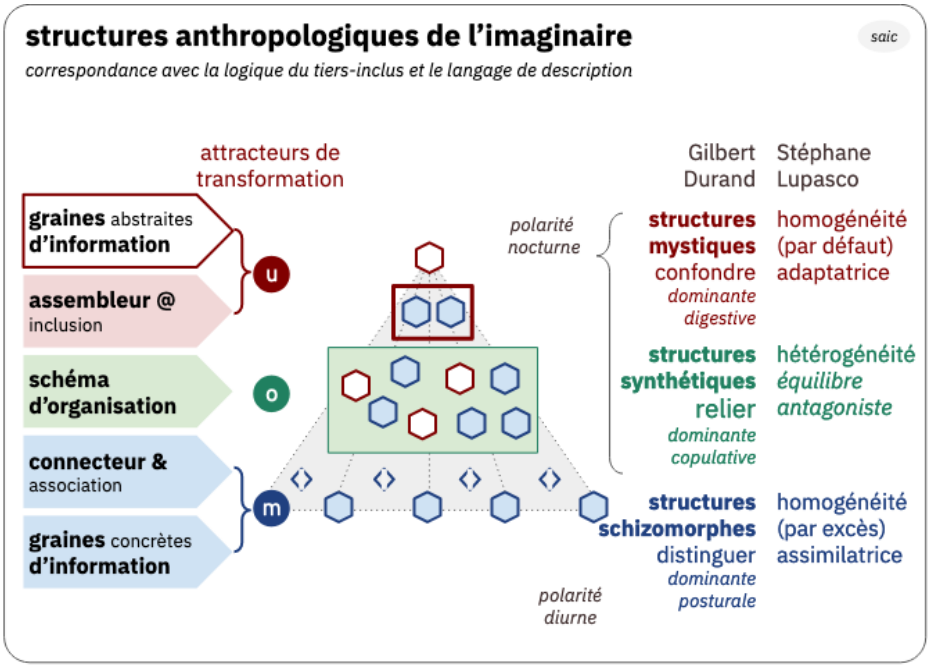
« connaissance-commande » le perturbe, le détourne, joue avec : en plus des erreurs et omissions, des effets liés à l'habitude, comme la lassitude, on constate des réactions d'évitement ou de désobéissance. Le moi numérique n'est qu'une carte construite en fonction d'objectifs. Se pose ainsi la question du sens à attribuer à ce dispositif.

3.1.2.2. Structures anthropologiques de l'imaginaire (B2)

Le philosophe, sociologue et anthropologue français Gilbert Durand (1921-2012) a identifié trois structures archétypales de l'imaginaire. Dans sa classification isotopique des images, il distingue ainsi les structures *schizomorphes*, *synthétiques* et *mystiques*. Les schèmes verbaux associés sont distinguer, relier, confondre (Durand, 2016:470). En accord avec Stéphane Lupasco, Gilbert Durand a établi une correspondance entre ses trois schèmes et la logique de l'énergie : « *A vrai dire tout se passe comme si le champ total de l'imaginaire était polarisé à deux limites (schizomorphe et mystique) par deux forces homogénéisante : l'une par défaut… l'autre par excès…* » (Durand, 2016:467). Gilbert Durand effectue également un rapprochement avec les travaux de Piaget : « *Ou encore, pour reprendre le langage de Piaget, nous nous trouvons en face de deux forces théoriques d'homogénéisation, l'une — la schizomorphe — assimilatrice pure, barricadée dans un autisme agressif et conquérant; l'autre — la mystique — adaptatrice pure, collant à l'ambiance, participant à l'environnement avec le maximum de viscosité* ». Il poursuit la comparaison de ces structures avec des principes découverts « *quelques années plus tôt, par un tout autre cheminement* […] *Roger Bastide décelait dans la pensée et le comportement afro-brésilien, trois principes irréductibles : Le «* Principe de Coupure *» très proche de ce que nous avons nommé schizomorphie ou diaïrétique, le «* Principe de Participation *(ou de Liaison) mystique » et enfin le «* Principe de Correspondance *(ou d'Analogie* » (Durand, 2016:469). Il propose alors d'envisager une *pré-logique* non plus à deux catégories mais à trois. Il remarque enfin que cette pré-logique « *serait alors très proche du traditionnel système chinois du Tao, du Yin et du Yang.* »[229] (Durand, 2016:468) Nous avons établi une correspondance entre

229. Ce parallèle sera évoqué en partie 4, Perspectives

ces archétypes et les deux représentations, *R1. Attracteurs de transformation* et *R4. Graine d'information et schéma de transformation des organisations*. En s'appuyant sur un nombre limité à dix espèces de descripteurs, la première phase de description est homogénéisante. Chaque descripteur concret distingue (met à jour) une caractéristique particulière du système observé (polarité diurne). Ce processus génère un nombre élevé de graines, effet de l'*attracteur multiple*. La représentation est homogénéisée par excès. A l'inverse, le descripteur abstrait est homogénéisant par défaut. Cette démarche analytique est complétée par une seconde phase de mise en relation des différentes graines selon deux modes : l'*association* et l'*inclusion*. En gommant une différence, la relation d'inclusion, de nature *digestive*, notée par le constructeur nommé *assembleur*, est homogénéisante par défaut. A l'inverse, en marquant une ressemblance, la relation d'association, notée par le constructeur nommé *connecteur*, est homogénéisante par excès. L'*attracteur organisationnel*, intervient au niveau des schémas d'organisation, définissant un état métastable de l'organisation[230]. Le tableau T35 récapitule l'ensemble de ces correspondances[231] et la carte [*saic*] l'illustre.



C195 — [saic] — structures anthropologiques de l'imaginaire

230. Au sens de Simondon, cet équilibre n'est pas sans rappeler la *voie du milieu* du taoïsme
231. Nous avons conservé l'ordre du tableau de Gilbert Durand. Cet ordre est inverse à celui que nous avons privilégié dans les représentations de la transformation.

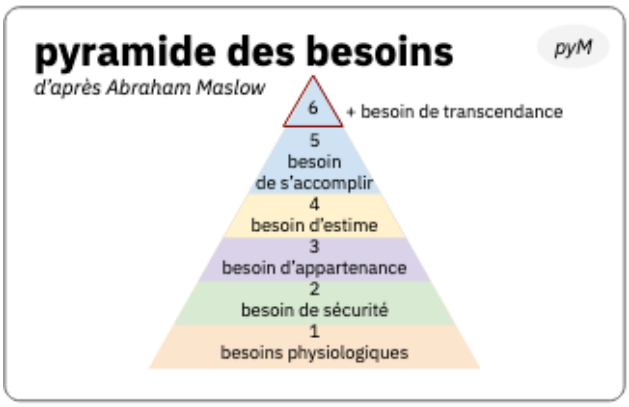
T35 — Correspondance avec les structures de l'imaginaire

structures	*schizomorphes*	*synthétiques*	*mystiques*
dominante	posturale	copulative	digestive
schèmes	distinguer	relier	confondre
polarité	diurne	nocturne	nocturne
logique envisagée	homogénéité assimilatrice	hétérogénéité ou équilibre antagoniste	homogénéité adaptatrice
Correspondance avec la logique de l'énergie de Stéphane Lupasco			
structures	homogénéisante par excès	hétérogénéisante	homogénéisante par défaut
Correspondance avec les concepts de Jean Piaget			
forces	assimilatrice pure	-	adaptatrice pure
concept	assimilation	-	accommodation
Correspondance avec les principes de Roger Bastide			
principe de	Coupure	Correspondance (ou d'Analogie)	Participation (ou de Liaison)
Correspondances avec le langage de description			
R1.	attracteur multiple (m)	attracteur organisationnel (o)	attracteur unique (u)
R4.	Descripteurs : œ1 à œ9 Constructeur : & connecteur	Schémas d'organisation	Descripteur : œ0 Constructeur : @ assembleur

L'intérêt manifeste de ce rapprochement est la possibilité d'utiliser les graines d'information pour analyser les structures de l'imaginaire. Ce cas évoque la modélisation des besoins de l'humain que nous abordons avec la *théorie de la motivation* de Maslow.

3.1.2.3. Pyramide de Maslow étendue (B3)

Le psychologue américain Abraham Maslow (1908-1970) distingue cinq grandes catégories de **besoins**. Il considère que le consommateur passe à un besoin d'ordre supérieur quand le besoin de niveau immédiatement inférieur est satisfait. La carte [*pyM*] les représente sous la forme traditionnelle de pyramide. Théorie de la motivation largement enseignée en management (Lendrevie & Lindon, 2014:120), cette pyramide a cependant été l'objet de multiples critiques, et d'autres classifications existent. Sans les détailler, nous mentionnons trois des principales. La première porte sur la hiérarchisation des besoins. L'ordre de satisfaction défini par Maslow est de la base vers le sommet. La hiérarchie entre ces besoins est relative. Selon les cultures, le besoin d'appartenance peut devenir prioritaire si le système social est insuffisamment protecteur. De même dans un contexte agressif, qu'il soit naturel ou civilisationnel, par exemple un contexte d'épidémie ou de guerre, le besoin de sécurité est tout aussi important pour la survie que les besoins physiologiques. Une seconde critique vient de la psychanalyse, qui questionne le terme de besoin, le distinguant du désir. Enfin, le découpage en 5 étages est également sujet à débat. A la fin de sa vie, Abraham Maslow a ajouté une sixième catégorie (Maslow, 1969; Koltko-Rivera, 2006); nous la prendrons en compte. L'application de nos modèles de représentations (R1, R2 et R3) apporte un nouvel éclairage à cette pyramide et présente trois avantages : 1) elle brise la vision hiérarchique, aujourd'hui contestée 2) elle distingue deux groupes complémentaires, des besoins et des désirs 3) elle éclaire la complémentarité des besoins deux à deux. Pour commencer, nous précisons ci-après les différents besoins en considérant qu'ils appartiennent à six ensembles, que nous avons codés de b1. à b6.



C196 — [pyM] — pyramide des besoins

b1. L'ensemble des « *besoins physiologiques* » regroupe les besoins directement liés à la survie des individus ou de l'espèce. Ce sont des besoins concrets — faim, soif, sexualité… — qui assurent l'intégrité de l'individu.

b2. L'ensemble « *besoin de sécurité* » regroupe les besoins liés à la protection contre les différents dangers extérieurs qui menacent l'intégrité de l'individu.

b3. L'ensemble « *besoin d'appartenance* » révèle la dimension sociale de l'individu qui a besoin de se sentir accepté par les groupes dans lesquels il vit : groupes familiaux, liés au travail, aux activités de loisirs…

b4. L'ensemble « *besoin d'estime* » apparaît comme complémentaire à l'ensemble précédent. L'estime attribue une valeur. L'individu souhaite que sa valeur propre soit reconnue au sein des groupes auxquels il appartient. Ce besoin est également antagoniste : sa valorisation est mesurée par rapport à celle des autres : trop d'écart l'isole du groupe mais trop peu d'écart ne satisfait pas le besoin. C'est la reconnaissance de la singularité qui est attendue, ce qui suppose une individuation.

b5. L'ensemble « *besoin de s'accomplir* » regroupe des besoins qui visent à sortir d'une condition purement matérielle pour atteindre l'épanouissement. Nous pouvons établir une complémentarité avec l'ensemble « besoin de sécurité ». Pour s'accomplir, l'individu doit se dépasser, ce qui a pour effet de l'exposer et l'amène à prendre des risques, pouvant nuire à sa sécurité.

b6. Le dernier ensemble « *transcendance de soi* » est moins connu et souvent occulté (Skelsey, 2014). Il est par exemple absent du *Mercator*, l'ouvrage de référence en marketing de Lendrevie & Lindon, qui présente la pyramide en introduction de la rubrique sur « *Les besoins et les motivations, moteurs de l'action* ». Une explication est que ce besoin ne s'inscrit pas dans une logique de consommation. Il exprime la recherche d'une transformation spirituelle qui, en transcendant le moi, le fond dans « le tout ». Cette transformation conduit à limiter les besoins physiologiques et à se retirer de l'activité du monde. Nous interprétons donc b6 à la fois en complémentarité par rapport à b1, entre vie matérielle et

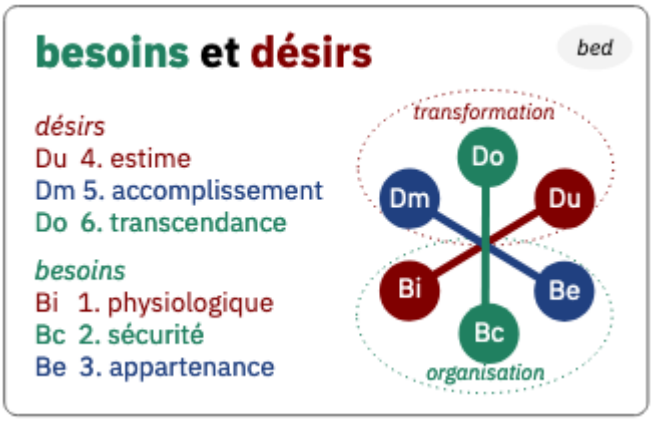
immatérielle, et en opposition contradictoire par rapport à b5, puisque le soi, qui ressentait le besoin d'estime et de s'accomplir, tend à s'effacer dans la transcendance.

En nous affranchissant de la hiérarchie, nous proposons un premier regroupement des trois premiers besoins dans un groupe nommé **Go**, pour « *Groupe organisationnel* ». Ce groupe comprend les besoins primaires de l'individu, vu en tant qu'organisation qui doit se conserver. Dans notre codification, l'ensemble b1 a pour fonction de permettre l'existence de l'espace interne, et b3 de s'accomplir dans l'espace externe. A l'interface de ces deux espaces, l'ensemble b2 agit comme un filtre pour conserver l'espace interne. Il est au centre d'un antagonisme entre l'interne et l'externe : une appartenance trop forte au groupe dissout l'individu, un centrage trop fort sur l'interne le sclérose. Notons que, par rapport aux sociétés primitives, l'époque moderne à ouvert les possibles dans le besoin d'appartenance, qui peut désormais s'exprimer au sein de multiples organisations, du moins dans les sociétés occidentales.

Nous proposons un second regroupement, complémentaire au précédent, des trois autres besoins. Par ailleurs, il nous semble plus pertinent d'appeler ces besoins des **désirs** puisque, plus que des nécessités vitales, ils traduisent des aspirations : « *Un désir est un besoin non satisfait qui incite à l'action*. » (Lendrevie & Lindon, 2014:122). Il ne s'agit plus simplement de maintenir la survie et l'intégrité de l'individu dans son milieu, en tant qu'organisation dans un écosystème, mais de contribuer à son développement par des transformations. Ces trois besoins secondaires, dont nous faisons l'hypothèse qu'ils ne peuvent être pleinement satisfaits, peuvent alors être interprétés comme un même désir qui se métamorphose pour se manifester sous trois formes complémentaires : estime, accomplissement, transcendance. Nous proposons d'utiliser la terminologie **Gt**, « *Groupe transformationnel* », pour désigner ce groupe. De même que les éléments du groupe organisationnel étaient corrélés à la structure de l'organisation — *espace interne*, *espace externe* et *centre organisateur* — nous remarquons l'influence des

trois attracteurs sur les éléments du groupe transformationnel. L'ensemble b4 est corrélé à l'attracteur unique, il traduit une recherche de reconnaissance de l'unicité de l'individu au sein du groupe. b5 exprime une recherche d'ouverture, qui s'exprime au-delà du groupe, visant à développer dans son environnement et plus généralement le monde ses propres capacités, répondant à l'attracteur multiple. Enfin b6 traduit une recherche d'organisation de niveau supérieur, répondant ainsi à l'attracteur organisationnel.

Pour clarifier, nous proposons de renommer les 6 ensembles précédents en considérant d'une part trois besoins, codés avec la lettre B, d'autre part trois désirs, codés avec la lettre D, en ajoutant un indice relatif aux domaines et attracteurs. Notre première numération se convertit alors ainsi : b1 en Bi, b2 en Bc, b3 en Be, b4 en Du, b5 en Dm, et b6 en Do. Cela nous permet une traduction mathématique de notre interprétation :



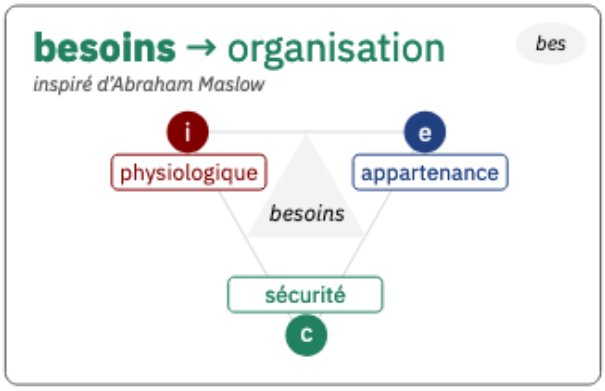
C197 — [bed] — besoins et désirs

Go = {Bi, Bc, Be} **Gt = {Du, Dm, Do}** **Do = Bc^c** **Dm = Be^c** **Du = Bi^c**

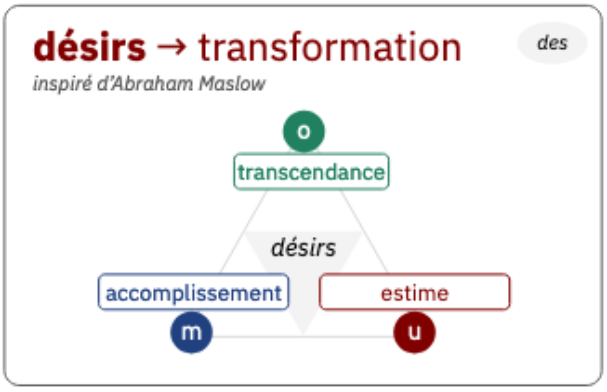
Le tableau T36 récapitule cette interprétation et la carte [*bed*] l'illustre en s'appuyant sur la représentation R3, les cartes [*bes*] et [*des*] sur les grilles d'analyses de l'organisation et de la transformation.

T36 — Groupes de besoins et leur complémentarité

Groupe des Besoins	*Complémentarité entre Besoins et Désirs*		*Groupe des Désirs*
Go. Organisationnel	Bi. physiologiques	Du. d'estime	Gt. Transformationnel
	Bc. de sécurité	Dm. de s'accomplir	
	Be. d'appartenance	Do. de transcendance	



C198 — [bes] — besoins de l'organisation



C199 — [des] — désirs de transformation

L'interprétation de notre typologie reste bien entendu fragile et il pourrait lui être reproché de ne pas reposer sur des fondements très scientifiques, cette critique s'appliquant déjà à la pyramide (Lendrevie & Lindon, 2014:121). Des travaux complémentaires, notamment auprès de praticiens qui utilisent la pyramide, par exemple les spécialistes des marques et du marketing, permettraient d'évaluer sa pertinence. Néanmoins, dans son état actuel d'esquisse, cette représentation présente un double intérêt : d'une part de conserver la simplicité du modèle initial, en intégrant deux de ses critiques, et d'autre part de relier ce modèle à deux processus, l'un spécifique relié à l'organisation et l'autre générique relatif à la transformation.

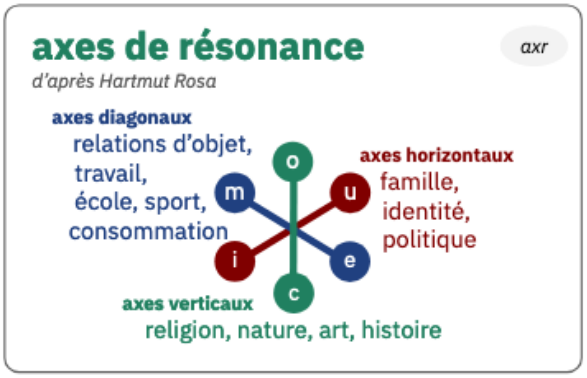
Le cas suivant s'intéresse aux formes particulières de transformation qui font intervenir le phénomène de résonance.

3.1.2.4. Axes de Résonance (B4)

Le sociologue et philosophe allemand Hartmut Rosa (1965-) propose la **résonance** (Rosa, 2018) comme explication au problème central de notre temps, l'accélération (Rosa, 2014).

En physique, la résonance est définie par le *couplage* d'un *excitateur* et d'un *résonateur*. C'est un phénomène de transfert d'énergie, transmis au résonateur via l'oscillation de l'excitateur. Nous avons analysé ce phénomène dans une communication récente (Lacombe & Vieira, TICIS 2019 à paraître en 2021).

Le concept de résonance s'emploie également au sens métaphorique, c'est le cas de Rosa (p.188). Il la définit ainsi : « *La résonance est une forme de relation au monde associant af←fection et é→motion, intérêt propre et sentiment d'efficacité personnelle, dans laquelle le sujet et le monde se touchent et se transforment mutuellement.* » (p.200). Il distingue les sphères de résonance, culturelles, et les axes de résonance, individuels. Le résonateur est toujours l'individu. Selon la nature de l'excitateur, il distingue trois types d'axes de résonances, horizontaux (p.231), diagonaux (p.257) et verticaux (p.285). Nous avons identifié une forte corrélation entre ces trois axes et ceux de notre modèle d'analyse R3. Rosa qualifie d'axes horizontaux de résonance les relations de nature identitaire : la famille (p.231), l'amitié (p.239), la politique (p.244). Cette relation avec d'autres membres de l'espèce est d'ordre existentiel. Elle s'inscrit sur l'axe X de notre modèle. Les axes diagonaux de résonance traduisent des relations avec notre activité : relations d'objets (p.257), avec le travail (p.266), l'école (p.272), le sport et la consommation (p.284). Cette relation s'exprime dans notre environnement, dans des espaces de résonance comme l'école ou le stade. Elle s'inscrit sur l'axe Y de notre modèle. Les axes verticaux de résonance sont d'une autre dimension. Les sphères de résonance — la religion (p.295), la nature (p.307), l'art (p.320), l'histoire (p.339) — connectent l'individu dans une relation transcendante, qui dépasse à la fois la relation identitaire et environnementale. Elle s'inscrit sur l'axe Z de notre modèle. La carte [*axr*] positionne les différents excitateurs de chacun des axes de résonance.



C200 — [axr] — axes de résonance

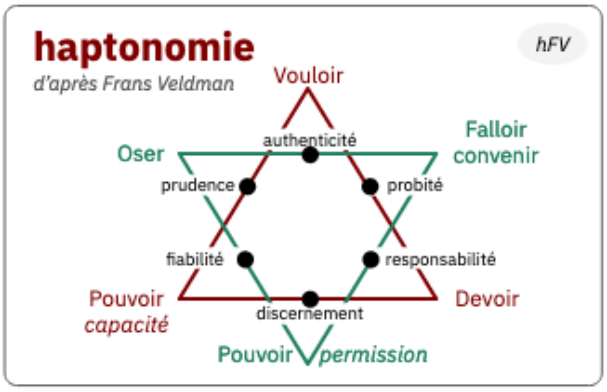
Dans sa définition, Rosa mentionne le double effet de la résonance sur l'individu, vers l'interne (affectif) et vers l'externe (effectif-émotif). En complément à cette analyse, notre modélisation permet d'interroger la localisation de la source de l'excitateur : dans l'espace interne, l'espace externe, ou au point de jonction. Par exemple, une activité physique comme la pratique d'un sport a pour effet d'accroître le niveau de métabolisme. Ce métabolisme « *fait intervenir des réactions de synthèses, transformant les nutriments en tissus vivants et des réactions de dégradations qui altèrent les éléments en vue de produire l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme.* » Cette double réaction s'autoalimente, pouvant provoquer un effet de résonance interne. A l'inverse dans l'écoute de la musique, le déclenchement du phénomène de résonance est externe. La pratique de la méditation représente le troisième cas : un centrage de l'attention modifie l'état de conscience, c'est-à-dire un changement de la fréquence des ondes cérébrales. La nature vibratoire des transformations nous apparaît comme un sujet à approfondir. Par exemple, nous avons émis l'hypothèse d'une possibilité d'un triple niveau de résonance dans la pratique de la musique en groupe et avec un public. Le premier niveau correspond à la relation du musicien avec son instrument, le second avec les autres membres du groupe, le troisième avec le public. Nous en proposons une traduction mathématique avec notre langage de description : r1 = (œ1~œ3), r2 = (œ1~œ1), r3 = (œ1~œ6) Les premiers musiciens avec lesquels nous avons partagé cette hypothèse avaient précédemment ressenti cet effet. L'un d'eux avait par exemple constaté une amélioration de la qualité d'un enregistrement en studio en présence d'un public de proches. Un protocole d'étude scientifique reste à définir pour valider cette hypothèse. L'analyse des états modifiés de conscience (EMC) est une voie possible pour explorer ce sujet, à l'instar de l'étude sur les états de transe (Flor-Henry & al., 2017).

3.1.2.5. Haptonomie (B5)

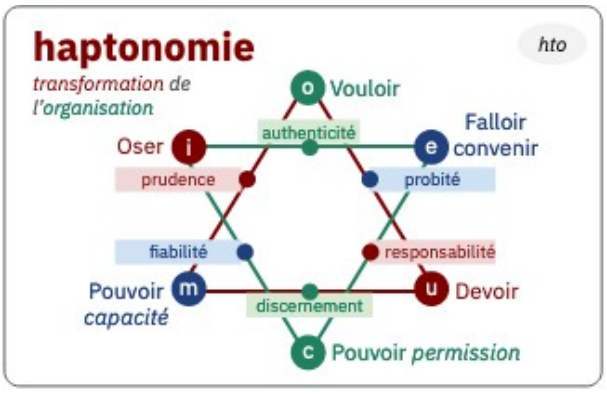
Pour ce quatrième cas, nous avons établi la corrélation entre notre modèle d'analyse et l'**haptonomie**, science de l'affectivité, développée par le psychothérapeute hollandais Frans Veldman (1921-2010). Veldman précise que « *L'haptonomie distingue un* monde-représentationnel*, et un* monde-des-représentations*.* » (Veldman, 2007:140) et que « *L'haptonomie différencie ce* monde-des-représentations *en un* monde-interne-des-représentations *et un* monde-externe-des-représentations. » (*ibid*., p.140). Il considère également que « *l'humain dispose de six facultés de représentation fondamentales, par lesquelles il s'engage au respect des normes éthiques et répond aux exigences existentielles de la société.* » (*ibid*., p.162). Ces six facultés se distinguent par leur nature, et se répartissent en deux groupes : « *les facultés intellectuelles-rationnelles, cognitives, d'actualisation existentielle* » et « *les facultés intelligentes, cogitatives, à caractères affectivo-ontique* ». Les facultés du premier groupe sont *Vouloir*, *Pouvoir* (être capable de, *can*, en anglais), *Devoir*; elles correspondent au monde de l'effectivité et s'opposent à celles du second groupe*,* du monde de l'affectivité, *Pouvoir* (s'autoriser, se permettre, *may*, en anglais), *Falloir* (convenir, seoir), *Oser*. La superposition de ces deux triades fait apparaître, « *au point d'intersection, des traits de caractères spécifiques en relation avec les facultés de représentation de lignes sécantes sur lesquelles ils se trouvent.* » (ibid, p.167) Ces traits sont dans l'ordre pour le premier groupe l'authenticité, la fiabilité, la responsabilité, et pour le second, le discernement, la probité, la prudence. Le modèle de Veldman permet « *d'analyser à quel endroit de l'actualisation - de la* représentation-de-soi - *l'individu a des manques ou des difficultés.* » (*ibid.*, p.168). Nous laissons au lecteur le soin d'approfondir ces différentes notions dans le chapitre 3, L'humain et son *monde-de-vie* social et affectif (*ibid*., p.137-171).

Dans ce même chapitre, la *figure 7,* intitulée « *les traits de caractères à la croisées des facultés diamétralement opposées, sur les branches de l'étoile ontique* » représente les relations entre les six facultés et les traits de caractère. Cette *figure 7*

que nous représentons sur la carte [*hFV*] s'interprète avec notre représentation de la transformation de l'organisation, comme nous l'illustrons avec la carte [*hto*]. Dans le *champ de la transformation* nous retrouvons le *Devoir* (la règle *unique*) et le *Pouvoir* (capacités *multiples*). Dans le champ de l'organisation nous retrouvons les facultés à caractères affecto-ontique *Oser*, reliée à l'*espace interne*, et *Falloir*, reliée à l'*espace externe*. Pour que la transformation de l'organisation se réalise, les deux autres facultés sont sollicitées : *Vouloir*, d'ordre *effectif* relatif à la transformation, et *Pouvoir (s'autoriser)*, d'ordre *affectif*, relatif à l'organisation. La confirmation de cette hypothèse permettrait d'envisager de nouveaux champs d'application pour chacun de ces modèles.



C201 — [hFV] — haptonomie

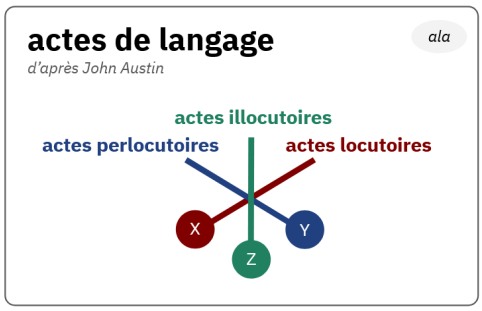


C202 — [hto] – haptonomie, transformation de l'organisation

Nous terminons cette série par un exemple élémentaire, en relevant une correspondance entre les *actes de langages* et les *axes d'analyse*.

3.1.2.6. Actes de Langage (B6)

Le philosophe du langage John Austin (1911-1960) a développé la *théorie des actes du langage*. Un **acte de langage** est un moyen d'agir dans son environnement, mis en œuvre par un locuteur avec ses mots. Austin distingue trois catégories d'actes de langage (Austin, 1970) : *locutoire*, qui correspond à la phrase elle-même, ses mots et sens ; *illocutoire*, qui est dans la phrase en plus des mots : une promesse, une menace, un ordre, un besoin ; *perlocutoire*, qui est provoqué par la phrase, comme l'officialisation d'un acte. Il approfondit ses travaux d'étude entre perception et langage pour développer une phénoménologie linguistique (Austin, 1970:8). Nous avons identifié une projection simple et directe des actes de langage sur chacun des axes d'analyse de la représentation R3. En nous appuyant sur un exemple trivial, relatif à l'archéologie, nous interprétons la demande « *est-ce que tu as la truelle ?* » comme relevant de la fonction *locutoire*. Cette demande est directe, elle relève de l'affectif ; nous la projetons donc sur l'*Axe X, existentiel*. La fonction *perlocutoire* correspond à la phrase « *passe-moi la truelle* », qui traduit l'interaction attendue. Il s'agit d'une demande *effective* que nous projetons donc sur l'*axe Y, opérationnel*. L'axe Z porte alors l'intention « *je voudrais utiliser la truelle* », qui traduit un besoin lié à l'organisation du travail ; nous la projetons sur l'*axe Z, architectural*. Le tableau T37 et la carte [*ala*] illustrent cette interprétation. L'intérêt de cette projection est de permettre l'analyse des tensions portées par ces axes. Notre modélisation facilite également la description de fonctions et processus.



C203 — [ala] — actes de langage

T37 — Projection des actes de langage

acte	*exemple*	*dimension*	*projection*
locutoire	*est-ce que tu as la truelle ?*	existentielle, affective	axe X
perlocutoire	*passe-moi la truelle*	opérationnelle, effective	axe Y
illocutoire	*je voudrais utiliser la truelle*	organisationnelle	axe Z

3.1.3. Description de fonctions et processus

Les exemples de la série C s'inscrivent dans la dynamique des systèmes. Nous interprétons des fonctions et processus, en nous appuyant principalement sur les modèles R1 et R2. Deux sujets sont abordés, l'économie et la création car ces processus sont au cœur de deux des boucles présentées en introduction. Nous en éclairons plusieurs facettes, prenant progressivement en compte la dimension numérique.

3.1.3.1. Processus économiques (C1)

Dans la représentation du *Pentachore des disciplines* (cf. 0.6.4.), les sciences économiques et de gestion sont positionnées au cœur de la *boucle C3, Commande*. L'analyse de ces processus commence par une représentation des fonctions et utilisations de la monnaie, pour aborder ensuite la bascule de l'économie traditionnelle vers l'économie de l'attention, en présentant les systèmes qui régissent l'attention dans le cerveau. Cela nous permet de décrypter le système économique de deux des GAFAM, Google et Facebook. Dans cette continuité, nous analysons le processus de développement du réseau Internet, terrain de jeu des *géants de la tech*, entreprises avec les capitalisations boursières les plus élevées au monde en 2020[232].

C1a. Fonctions et utilisations de la monnaie

Cette analyse des fonctions et utilisations de la **monnaie** ne cherche pas à être exhaustive. Elle est volontairement limitée à la présentation de quelques idées-clés, en s'appuyant sur des penseurs de l'économie. Ces exemples complètent ainsi la théorie de Maslow sur les besoins précédemment abordée dans l'exemple B3 (cf. § 3.1.2.3).

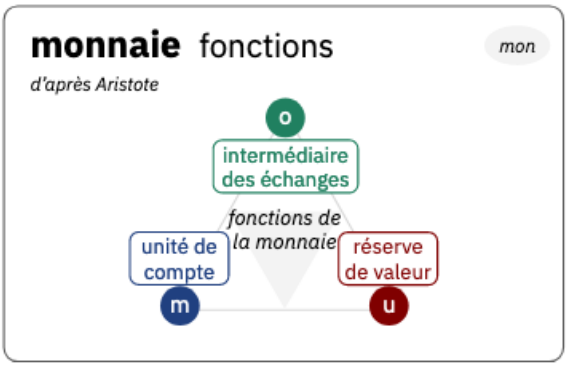
Partant d'une source classique, la pensée d'Aristote sur la monnaie, nous la relions aux attracteurs de transformation, pour proposer ensuite trois interprétations liées

232. Le graphique comparatif de Statista établi à partir des données de Yahoo! Finance est à ce titre éloquent :
https://fr.statista.com/infographie/22656/classement-entreprises-capitalisation-boursiere/

à ses utilisations. Commençant par une interprétation de l'attirance généralisée pour la monnaie, évoquant quelques effets déviants associés, nous abordons ensuite succinctement le modèle économique de l'offre et la demande, pour enfin interpréter le rapport entre la monnaie unique et les monnaies régionales.

C1a0. La monnaie d'après Aristote

Aristote traite de la monnaie dans deux ouvrages (Moreau, 1969), *La politique* à propos de l'économie et *Éthique à Nicomaque*, en abordant la justice. Sans établir la priorité à l'échange, il y relève la logique des usages, distinguant des fonctions complémentaires. La carte [*mon*] illustre les trois fonctions classiques de la monnaie. « *L'art de s'enrichir par des opérations fondées sur l'usage de la monnaie, des opérations financières, qui est désigné couramment sous le nom de* chrématistique » correspond à l'accumulation, la constitution d'une réserve de valeur. Dans un souci de justice, ramenant la valeur des services à une commune mesure pour une *comparaison générale*, cette valeur est divisible en unités élémentaires. Chacune de ces deux fonctions, *réserve de valeur* et *unité de compte*, portent simultanément l'idée d'unique et de multiple; nous pourrions ainsi, comme dans l'analyse du rapport entre les notions de *lieu* et d'*espace* de l'exemple A1, inverser la base du triangle. C'est en revanche leur conjonction qui va permettre d'adjoindre à la valeur d'usage une *valeur d'échange*, facilitant le développement du commerce par « *l'extension de l'aire des échanges* » en dehors de la cité. Selon les cas, l'échange se traduira par l'acquisition d'un bien de grande valeur ou une multiplicité d'acquisitions, traduisant de nouveau l'influence des deux attracteurs.



C204 — [mon] — monnaie, fonctions

C1a1. Attirance et déviance

Selon le dictionnaire de l'académie (9e édition), le terme monnaie est « *emprunté du latin* moneta*, tiré du nom de* Juno moneta*, « Junon qui avertit », parce que la*

monnaie était fabriquée à Rome dans le temple de cette déesse. » Rappelons que Junon était la déesse de la fécondité. La monnaie est une convention, donc une information, vecteur de transformation. Elle répond à un double mouvement : d'une part elle unifie et universalise la valeur, répondant ainsi à l'*attracteur unique*; d'autre part, son accumulation ouvre à une multitude d'utilisations, répondant à l'*attracteur multiple*. Elle répond également à l'*attracteur organisationnel*, par les mises en relations qu'elle provoque lors des échanges : c'est un facteur potentiel d'organisation, de construction et de création. Cet équilibre dynamique est lui même mis en péril par l'influence des *attracteurs énantiologiques*, source de trois dérives, la *thésaurisation*, la *dilapidation* et la *spéculation*. La *thésaurisation*, sous l'influence de l'*attracteur unique*, extrait la monnaie du circuit économique pour la stocker dans des réserves supérieures aux besoins réels, dont la détermination reste cependant subjective. La *dilapidation*, sous l'influence de l'*attracteur multiple*, va empêcher des usages constructifs. Il n'existe pas non plus d'indicateur de seuil pour ce cas, qui dépendra du mode de vie et des besoins de chaque acteur ou groupe, soit *œ1* ou *œ6* dans notre langage de description. Enfin la *spéculation*, fonctionnant en circuit fermé sur elle-même — l'usage de la monnaie créée de la monnaie — ne sort pas de l'axe énantiologique. Au lieu de créer de la valeur, elle augmente les inégalités, génère des tensions qui se résolvent par des crises. Ces trois dérives se positionnent sur le même axe.

C1a2. Modèle de l'offre et de la demande

La détermination d'un prix par l'équilibre de l'offre et de la demande s'inscrit également dans la modélisation des attracteurs de transformation. Offre et demande peuvent tout aussi bien se raréfier ou être abondants, sous l'influence respective des deux attracteurs. Le langage de description permet alors d'interpréter la transaction (*œ8*) comme une transformation déclenchée lors de l'atteinte d'un équilibre entre le désir (*œ9*) du produit (*œ3*) ou du service (*œ4*), qui sera source d'une rencontre (*œ2*) sollicitant les ressources de l'acheteur (*œ3*), c'est-à-dire la somme d'argent qu'il peut y consacrer pour résoudre cette tension interne.

C1a3. Entre monnaie unique et monnaies régionales

Étudiées par l'économiste Bernard Lietaer (2008), les monnaies régionales instaurent un mécanisme de régulation. Elles divisent l'accès aux ressources et services en deux groupes. L'un de ces groupes n'est accessible que par la monnaie régionale. A l'image d'un processus naturel, cette règle (*œ4*) limite la concentration résultant d'un effet d'échelle, traduisant ainsi l'influence de l'*attracteur unique*. Nous envisageons d'approfondir ultérieurement ce travail à peine ébauché en particulier par la confrontation à des recherches de modèles alternatifs et plus équitables, ayant pour l'instant identifié deux voies complémentaires : 1) l'économie du don, suite aux travaux de l'anthropologue Marcel Mauss, plus récemment revisités par des chercheurs indépendants comme Jean-François Noubel et Jean-Michel Cornu; 2) les travaux postérieurs à la crise de 2008 comme la « *Théorie Relative de la Monnaie* » (Laborde, 2010, 2012).

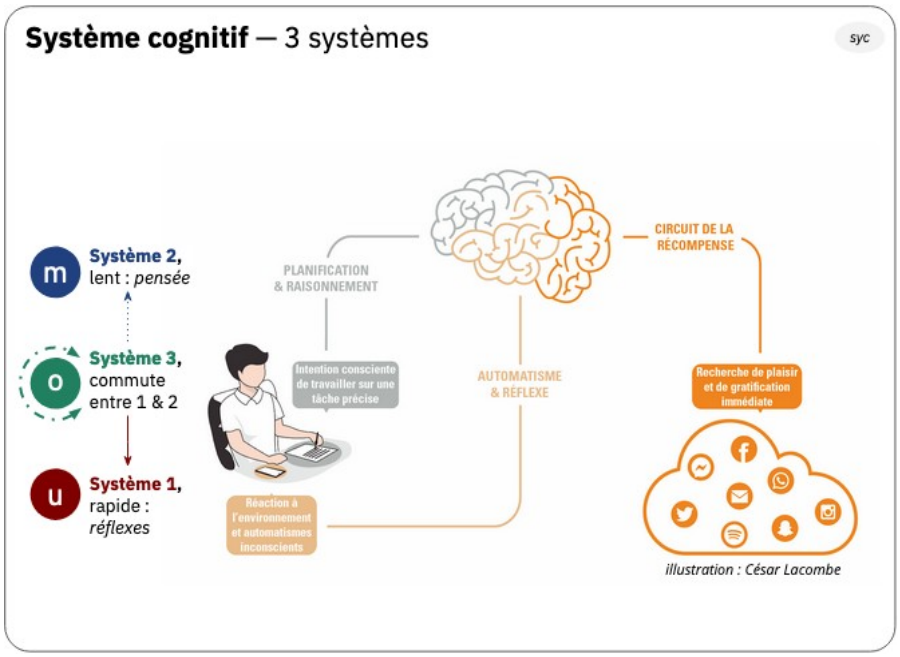
C1b. L'économie de l'attention

En économie, la rareté est un critère de valorisation des ressources. Avec le numérique l'information est devenue abondante, c'est l'attention qui est devenue rare, donnant naissance à l'économie de l'attention (Tarde, 1902; Simon, 1971; Citton, 2014). L'*attention*, qui s'apprend à l'école (Stiegler, 2006), se positionne entre *rétention* et *protention* (Stiegler, 2012). Pour analyser les mécanismes de l'attention, nous considérons une modélisation du système cognitif de l'humain selon trois systèmes reliés à un quatrième, le système hédonique ou circuit de la récompense. Aux traditionnels *Système 1* et *Système 2* popularisés par Kahneman (2011) qui distinguent deux vitesses de la pensée, respectivement rapide et lente, soit le réflexe et le raisonnement, s'ajoute un *Système 3* « exécutif », inhibiteur, dont le rôle est de sélectionner le système le mieux adapté à la situation (Houdé, 2014). La captation de l'attention est devenue un enjeu économique majeur[233].

Les technologies numériques se sont développées dans cette direction, théorisées sous le nom de *Captologie*, pour *Computer As a Persuasive Technology* (Fogg, 2003).

233. Comme le déclarait le directeur de la chaîne TF1 en 2004, Patrick Le Lay : « *ce que nous vendons à Coca-Cola, c'est du temps de cerveau humain disponible*. »

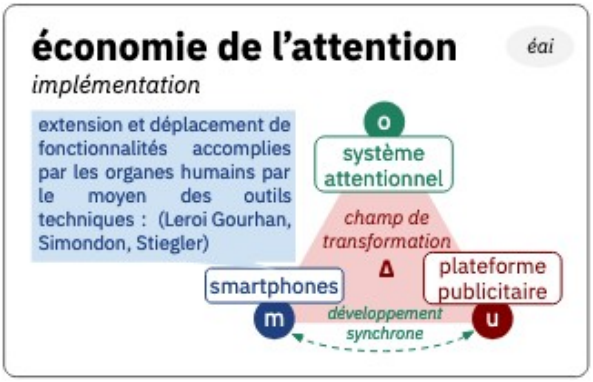
Elles ont donné naissance aux services en ligne gratuits, et au mème internet apparu vers 2010 : « *si c'est gratuit, c'est que vous êtes le produit* ». Équipé de multiples capteurs renseignant sur le contexte d'utilisation, le smartphone est progressivement devenu le principal cheval de Troie pour capter l'attention, s'appuyant en particulier sur une boucle modélisée par le *Hooked model* (Eyal et Hoover, 2014). Cette boucle distingue quatre phases : déclenchement, action, récompense, production d'un micro-contenu, qui active un déclencheur et sert de récompense à d'autres internautes. Largement déployée dans les applications mobiles, en particulier les réseaux sociaux, cette boucle gratifie directement le circuit de la récompense par la voie du *Système 1*, automatisme et réflexe, court-circuitant non seulement le *Système 2*, planification et raisonnement, mais également le *Système 3*, inhibiteur. Cette situation est illustrée par la carte [*syc*]. Les multiples données captées par les smartphones traduisent l'influence de l'*attracteur multiple* ; elles sont collectées et capitalisées via des plateformes, qui traduisent l'influence de l'*attracteur unique*.



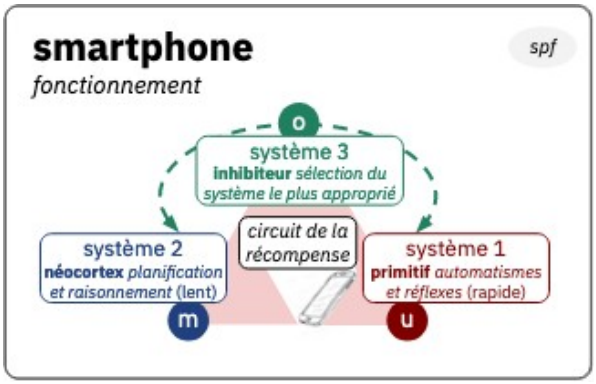
C205 — [syc] — Système cognitif, 3 systèmes

Le philosophe Nick Srnicek introduit le concept de *capitalisme de plateforme* (Srnicek, 2018). Il en distingue plusieurs formes comme la *plateforme publicitaire*, dont l'objectif premier est de vendre des profils à partir d'informations sur ses

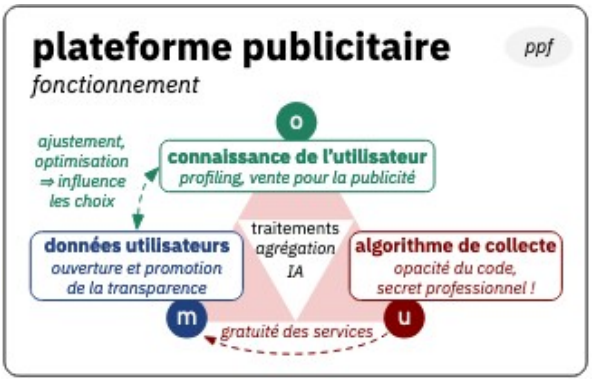
utilisateurs, la *plateforme nuagique* (comme Amazon Web Services), qui fournit de services de stockage, calcul, réseau, à la demande, la *plateforme industrielle*, (exemples *Siemens*, *GE*), qui transforme la production industrielle en processus producteur de données, la *plateforme de produits* (chez *Rolls Royce*, *Spotify*), qui transforme les produits en services sur abonnement ou en location, les *plateforme d'intermédiation* (comme *Uber*, *Airbnb*), dont le modèle économique consiste à réduire au minimum les actifs et les coûts de fonctionnement. Mentionnons également les plateformes documentaires et éducatives comme les ENT. Nous limitons notre analyse aux premières, les *plateformes publicitaires*, dont Facebook et Google sont les représentants les plus significatifs, leur modèle d'affaires relevant principalement de la publicité. Le rôle des trois *attracteurs de transformation* sur les relations entre les smartphones, la plateforme publicitaire et l'économie de l'attention est illustré par quatre cartes détaillées ci-après.



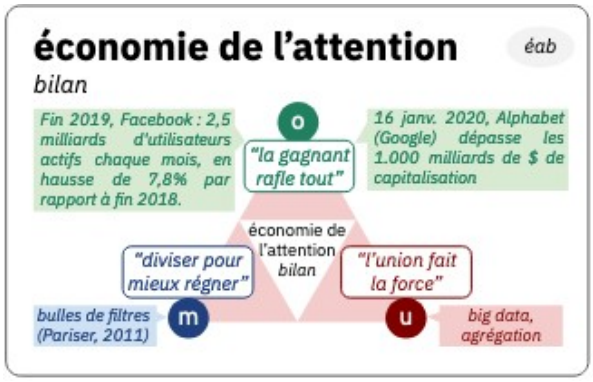
C206 — [éai] — économie de l'attention



C207 — [spf] — smartphone



C208 — [ppf] — plateforme publicitaire



C209 — [éab] — économie de l'attention

La carte [*éai*] présente la position des plateformes publicitaires dans l'économie de l'attention via les smartphones, outils techniques (Simondon, 2012) qui fonctionnent comme des mémoires exosomatiques[234]. Le modèle initial de l'internet, décentralisé et distribué, voit ainsi converger les communications vers un nombre réduit de plateformes publicitaires. La carte [*spf*] montre comment le smartphone s'insère dans le circuit de la récompense précédemment modélisé. En apportant une réponse immédiate, les applications créent des habitudes, court-circuitant les systèmes 2 et 3. La carte [*ppf*] résume le fonctionnement des plateformes publicitaires qui via les algorithmes de collecte recueillent des données sur les utilisateurs, pour les agréger, en s'appuyant sur l'intelligence artificielle, et calculer des profils destinés au marché publicitaire. On notera les appels à la transparence des données[235], alors que le code des algorithmes reste souvent opaque, considéré comme secret professionnel. La carte [*éab*] illustre le bilan de cette économie de l'attention dans un contexte numérique par trois proverbes, associés aux attracteurs : *l'union fait la force* correspond à la stratégie des big data, diviser pour mieux régner aux bulles de filtres (Pariser, 2011) qui isolent les internautes. Au final *le gagnant rafle tout*, comme le montre les performances de deux entités des GAFAM qui captent des flux tant d'internautes que financiers. Ainsi Facebook revendique 2,5 milliards d'utilisateurs actifs par mois fin 2019, alors que la capitalisation d'Alphabet, maison mère de Google, atteint mille milliards de dollars en janvier 2020.

Ces différentes vues illustrent la façon dont l'organisation de l'information conduit à la transformation des organisations socio-techniques, tant à l'échelle de l'individu que du collectif, avec les couples utilisateur-smartphone, et multinationale-plateforme. Les comportements induits par ces architectures sont parfois assimilés à une *nouvelle servitude volontaire* (Vion-Dury, 2016). Les *attracteurs de transformation* nous permettent d'envisager plusieurs pistes pour s'en affranchir. La première piste consiste à s'appuyer sur l'*attracteur unique*, en *collaborant*, c'est-à-

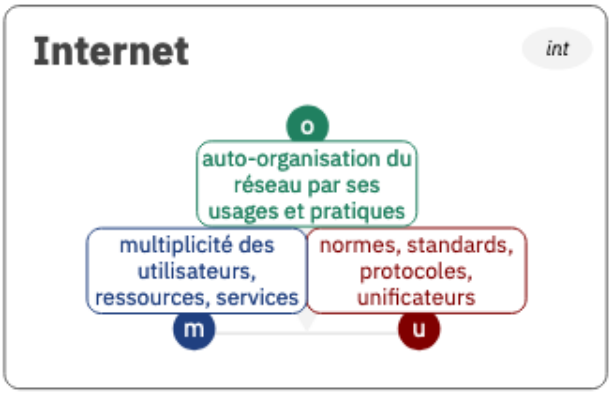
234. Enregistrement de souvenirs en dehors du cerveau
235. A laquelle le RGPD, Règlement général sur la protection des données, tente de mettre quelques freins

dire utiliser un levier social[236]. Pierre Lévy propose l'intelligence collective en réponse à l'intelligence artificielle, qu'il considère comme antagonistes (Levy, 2015)[237]. Une seconde piste consiste à suivre l'*attracteur organisationnel*, c'est-à-dire *réglementer* en utilisant le levier juridique, car si *code is law* (Lessig, 2000) signalons également que *code is outlaw* (Ertzscheid, 2019). Une troisième piste est d'utiliser un levier *pédagogique*, par exemple en introduisant de la résistance dans les interfaces[238], ce qui revient à agir au niveau de l'*attracteur multiple*. Ce mouvement s'inscrit à l'inverse du message porté par les designers au début des années 2000 qui invitait à ne plus penser aux usages des objets : *don't make me think* (Krug, 2000) est remplacé par *make me think* (Ammer, 2020). Enfin mentionnons une quatrième piste qui consiste à actionner un levier *technique* entre les deux attracteurs *unique* et *multiple* avec la programmation. Rappelons que programmer n'est pas si compliqué. Les algorithmes sont analogues aux instructions d'une recette de cuisine et il y existe des langages de programmation pour tous les goûts : par exemple pour apprendre à programmer en jouant, objectif du langage *Scratch* développé par le MIT et qui cible les enfants, ou pour mettre en scène les données, avec *Processing*[239] qui cible les artistes. Signalons enfin un langage de description pour retrouver du sens dans les flux numériques, autre résultat de nos recherches, qui s'appuie sur le concept des *graines d'information* (Lacombe, 2015). Un parcours si rapide pour aborder un sujet complexe et transdisciplinaire présente le risque d'être caricatural; cette esquisse mérite évidemment d'être approfondie. Nous orientons ainsi nos travaux afin de proposer de nouvelles représentations qui puissent servir de *points de repère* à l'ère numérique, accompagnées d'outils pédagogiques pour rendre ces représentations opérationnelles et développer l'esprit critique nécessaire à un usage harmonieux.

236. L'enjeu est de sortir du Agôn (Caillois, 1958), jeu de compétition de l'économie néolibérale
237. Levy mentionne la **stigmergie**, modèle de coopération émergent dans les organisations humaines, cf. http://www.lilianricaud.com/travail-en-reseau/cooperer-en-stigmergie-un-livre-et-un-site/
238. Cf. par exemple le projet de design Ux *Let Me Think* — http://letmethink.io/
239. Cf. https://scratch.mit.edu/ et https://processing.org/

C1c. L'évolution de l'architecture de l'internet, influences et tensions

Ce troisième exemple illustre l'évolution du réseau internet, support de déploiement des GAFAM, s'organisant en oscillant entre deux tendances opposées, de concentration et d'expansion, répondant ainsi aux trois attracteurs, unique, multiple et organisationnel. Ce phénomène peut s'analyser selon différents angles, technique, économique, sociologique, politique, dont les effets se superposent. Nous privilégions l'axe technique en soulignant pour commencer que la mise en place d'une norme, d'un standard comme un protocole de communication s'accompagne du développement d'une multitude d'équipements, reliés entre eux pour étendre les réseaux de communication existant. Si l'on prend l'exemple de la 5G, cette norme se développe dans un écosystème comprenant des chercheurs, investisseurs, industriels et influenceurs pour répondre à de nouveaux usages comme la voiture autonome, l'internet des objets ou la vidéo volumétrique, du fait d'un temps de latence réduite et d'un débit supérieur par rapport à ceux de la 4G. Cet ensemble socio-technique est composé d'équipes (œ6) réunis autours de projets (œ5) pour créer de nouveaux services (œ4) et nouvelles ressources (œ3), tant matérielles (infrastructures, équipements) que immatérielles (informationnelles), pour une nouvelle expérience (œ2) aux utilisateurs (œ1). Cet ensemble s'auto-organise, dépassant souvent les usages prévus à l'origine[240], se superposant à d'anciennes technologies, dont l'usage se marginalise progressivement, pour quasi disparaître (les traces en sont conservées), ou parfois se recentre sur une nouvelle fonction, évoquant ainsi le principe biologique de l'exaptation « *adaptation sélective opportuniste, privilégiant des caractères qui sont utiles à une nouvelle fonction, pour laquelle ils n'avaient pas été initialement sélectionnés* » (Gould & Vrba, 1982). La carte [*int*] illustre ce



C210 — [int] — Internet

240. Ce fut le cas par exemple du SMS

phénomène pour le réseau Internet. Il est constaté bien avant l'arrivée du numérique[241]. Avant que l'effet réseau, boucle de rétroaction systémique, auto-alimente cette expansion plusieurs technologies sont en concurrence. L'une des alternatives l'emporte, ou un équilibre s'installe, comme ce fut le cas pour les normes de télédiffusion PAL, SECAM et NTSC[242]. La norme devient le support de déploiement de tout un système technique. L'objet technique évolue selon un processus de concrétisation, « *comme dans une lignée phylogénétique* » (Simondon, 2012:23), répondant à cette norme, standard ou protocole. En prenant de l'ampleur, le système technique génère de nouveaux besoins et des évolutions susceptibles de donner naissance à de nouvelles normes, futurs centres agrégateurs[243].

T38 — Modèle OSI

couches	*niveau*	*n°*	*couche*	*fonction*
hautes	Donnée	7	Application	Point d'accès aux services réseau (DNS, FTP, HTTP, LDAP, SSH…)
		6	Présentation	Gestion du codage, de la compression, de l'encryption (ASCII, Unicode, XML)
		5	Session	Gestion des sessions entre les différentes applications
	Datagramme	4	Transport	Contrôle des flux (TCP)
matérielles	Paquet	3	Réseau	Parcours des données (IP)
	Trame	2	Liaison	Adresse physique (MAC)
	Bit	1	Physique	Transmission du signal

241. On peut citer par exemple au XVIIIe siècle le développement du télégraphe Chappe, moyen de communication visuel par sémaphore, au XIXe celui lié à l'alphabet international Morse, ou de la signalisation maritime avec le système de phares et balises, puis au XXe siècle l'explosion des communications avec la téléphonie, la radiodiffusion, la télévision, et l'internet qui les encapsule

242. Ce point mériterait une étude plus approfondie : l'interconnexion croissante des réseaux réduit-elle la diversité technologique, ou bien d'autres facteurs, par exemple géopolitiques, culturels, sociaux, techniques ou économiques, la conservent-ils ?

243. Exemple : l'évolution des différentes générations de la téléphonie mobile

Considérons à présent la norme de communication sur laquelle s'appuie l'internet, le modèle OSI (*Open Systems Interconnection*) constitué de 7 couches logiques, dont le découpage est rappelé dans le tableau T38. L'architecture de l'internet s'est construite progressivement. Dans le tableau T39 nous avons ainsi relevé quelques dates marquantes de l'histoire de ce réseau[244], sans nullement chercher l'exhaustivité en précisant le rapport entre les deux attracteurs.

T39 — Relations entre les attracteurs de construction de l'internet

date	*technologie*
1969 Arpanet	début du maillage, première liaison Arpanet dans la salle de calcul du département informatique de l'UCLA, reliée à distance à Stanford, selon *un standard* de communication sur réseau de données par paquets (Donald Davies & Paul Baran, DARPA) qui permet d'emprunter *plusieurs routes* différentes
1983 TCP/IP	*un protocole* de transfert et contrôle qui permet de relier de *multiples réseaux* entre eux (Robert Kahn & Vinton Cerf, DARPA)
1989 HTTP/HTML	proposition de développement d'*un standard* de gestion d'un système hypertexte, qui interconnecte de *multiples documents* et donne naissance au World Wide Web (Robert Cailliau et Tim Berners Lee, CERN)
1995 langage Java	*un langage* de programmation indépendant de la plate-forme hardware qui tourne sur de *multiples équipements* (Bill Joy, Sun Microsystem)
1996 langage XML	conception et développement du langage de description avec *une syntaxe* générique et extensible qui permet de structurer une grande *variété de contenus* (W3C)

En s'appuyant sur l'infrastructure du réseau, le développement des organisations qui composent les GAFAM peut également s'analyser via les deux attracteurs, *unique* et *multiple*. L'*attracteur unique* présente deux facettes, externe et interne. La facette externe correspond à ce que voit le client, la facette interne à son cœur d'expertise et de compétence, qui n'est pas toujours reconnue par les clients. Le tableau T40 illustre ce point de vue[245].

244. Cf. https://www.internetsociety.org/fr/internet/history-internet/brief-history-internet/
245. Nous ne mentionnons que l'attracteur externe principal.

T40 — GAFAM et attracteurs

(o)	*(u)*	*(m)*
Google	*externe* : moteur de recherche *interne* : régie publicitaire (s'appuyant sur le traitement de données et l'IA)	ensemble de services numériques
Apple	*externe* : ergonomie *interne* : intégration (matériel logiciel)	écosystème de produits et services
Facebook	*externe* : relation sociale ("ami") *interne* : régie publicitaire(s'appuyant sur le traitement de données et l'IA)	communauté d'utilisateurs du réseau
Amazon	*externe* : choix avec recommandations et gestion de bas prix *expertise* : logistique (s'appuyant entre autre sur le traitement données)	catalogue (longue traîne)
Microsoft	*externe* : OS *interne* : intégration (logiciels)	suite logicielle

Par exemple, pour Google nous avons retenu le moteur d'indexation et de recherche développé par Larry Page & Sergey Brin en 1996, soit l'algorithme d'analyse des liens *PageRank* pour classer les pages du web. Pour Facebook, le réseau social lancé par Mark Zuckerberg en 2004, un service de mise en relation qui interconnecte les internautes. L'attracteur externe peut évoluer au cours du temps : pour Apple, nous avons par exemple eu l'Apple II (1977), le Macintosh (1984), l'iMac (1998), le système Mac OS X (2001), l'iPod (2001), l'iPhone (2007). L'évolution du réseau Internet est aujourd'hui tiraillée entre les deux attracteurs *unique* et *multiple*. Le facteur économique influence les choix technologiques. Les gagnants de l'internet, structures privées monopolistiques, influencent les nouveaux standards dans leurs intérêts, en opposition aux défenseurs de la liberté d'expression. Par exemple le 18 septembre 2017, le W3C a ainsi validé la recommandation EME (*Encrypted Media Extensions*)[246] dont le comité éditorial est constitué de représentants des intérêts des acteurs dominants (Google, Microsoft, Netflix), au détriment de ceux des utilisateurs et des défenseurs de la liberté du Net,

246. Cf. https://www.w3.org/TR/encrypted-media/

et en particulier, contre l'avis de l'EFF (*Electronic Frontier Foundation*)[247]. Rappelons que l'objectif principal de cette ONGI (Organisation Non Gouvernementale Internationale) est de défendre la liberté d'expression sur Internet, et plus largement la vie privée en ligne des utilisateurs. Cette lutte de pouvoir entre défense des intérêts privés contre l'intérêt public, ne se joue pas que sur les standards. Le tableau T41 répertorie quelques *tensions* entre les deux attracteurs.

T41 — Quelques luttes emblématiques contre l'ouverture de l'Internet

thématique	*opposition des positions entre l'ouverture (attracteur multiple) et restriction sur l'internet (attracteur unique)*
Libre accès aux publications scientifiques	actions d'Aaron Swartz, défenseur de la « culture libre » et de l'accès à la connaissance, comme moyen d'émancipation et de justice, co-créateur de la licence creative commons
Diffusion étendue	Evolution (non retenue) du protocole internet vers du multicast, diffusion n vers n au lieu de 1 vers n
Protection des droits d'auteur	mise en place de DRM (Digital Right Management) sur les médias numériques et de lois contre le piratage : SOPA (USA), Hadopi (France)
Partage de la musique sur le modèle du prêt	modèle d'échange Peer2Peer, où chaque entité du réseau est à la fois client et serveur : Napster et suivants, contre la RIIA, Recording Industry Association of America, qui défend les intérêts du disque
Publication de doc confidentiels	Depuis 2006, par la Fondation de Wikileaks (Julien Assange), pour donner une audience aux lanceurs d'alertes.
Surveillance par la NSA (2013)	En 2013, révélations d'Edward Snowden sur les programmes de surveillance (PRISM, XKeyscore) de la NSA.
Filtrage des accès à l'internet	En 2020, filtrage généralisé des accès suite au déploiement d'*internet souverains*, en particulier en Chine, Iran et Russie[248]

247. Cf. https://www.eff.org/deeplinks/2017/07/amid-unprecedented-controversy-w3c-greenlights-drm-web

248. Cf. https://www.usine-digitale.fr/article/la-russie-teste-avec-succes-son-internet-souverain.N915889 Notons également, durant l'été 2020, une politique paradoxale de la France sur sa *souveraineté numérique*, le discours sur la souveraineté s'opposant aux actes avec le choix de la plateforme *Health Data Hub* de Microsoft pour héberger les données de santé des Français, avant un retour en arrière, et le choix de la plateforme AWS d'Amazon pour héberger les données de prêts des entreprises françaises auprès de la BPI. Ces décisions sont à rapprocher de l'affaire Alstom dont les protagonistes étaient les mêmes et qui concernait les turbines des centrales nucléaires, autrement dit la souveraineté sur l'énergie. Cf. le rapport du Centre français de recherche sur le renseignement : https://cf2r.org/recherche/racket-americain-et-demission-d-etat-le-dessous-des-cartes-du-rachat-d-alstom-par-general-electric/

Pour conclure cet exemple, mentionnons également, l'architecture du réseau internet, qui s'auto-organise sur le modèle des **Réseaux Invariants d'échelle** (Barabasi & Albert, 1999). Ces réseaux sont constitués de nombreux nœuds (nous y voyons l'influence de l'*attracteur multiple*) peu connectés et de supernœuds (nous y voyons l'influence de l'*attracteur unique*) qui le sont beaucoup. Cette architecture est celle de réseaux auto-organisés (nous y voyons l'influence de l'*attracteur organisationnel*) comme le web, les réseaux sociaux et les réseaux biologiques (Réka, 2005). Ces réseaux se distinguent des réseaux de transport historiques, comme les réseaux routiers et ferroviaires, qui ont la propriété d'être moins résistants à une perte aléatoire de nœuds, et qui s'inscrivent en écho à la boucle *C3. Commande* de la partie cadrage. Signalons enfin que l'étude des *Réseaux Invariants d'échelle* évolue avec la croissance de l'internet et le développement d'un ensemble de sous-réseaux, en particulier sociaux. La perspective initiale plutôt structurelle s'enrichit ainsi d'une perspective plus dynamique. Signalons par ailleurs que la nature de ces réseaux est depuis 15 ans l'objet d'une double controverse entre physiciens et statisticiens, d'abord sur la loi de puissance, puis sur l'absence d'échelle (Jacomy, 2020). Ce débat traduit un renversement de perspective dans la correspondance de l'entité et de la relation avec respectivement le nœud et le lien, ou l'inverse. Nous le rapprochons de la voie du scepticisme radical mentionnée dans le cadrage (cf. §0.5.1.) mais également des *énantiosèmes* de Roland Barthes, mots ou verbes qui ont des sens opposés (signifiants contradictoires), comme *hôte* ou *apprendre*. Ce double sens qui se retrouve au niveau culturel, ou au niveau individuel, comme c'est le cas pour l'*argent* au plan de valeur (Barthes, 1975:50). Le second cas d'application fait quant à lui écho avec les deux autres, la boucle *C2. Connaissance*, et la boucle *C1. Création*, traitant des processus de création de sens.

3.1.3.2. Processus de création (C2)

Cet exemple est composé d'un enchaînement de différentes sous-cas, numérotées de C2a à C2f. Nous commençons par représenter (C2a) la dynamique du sens, et poursuivons par (C2b) le processus créatif, pour interroger la modélisation de ce processus. Nous décrivons ensuite (C2c) une méthode de gestion de l'innovation, le « design thinking », en nous intéressant plus particulièrement à la première étape l'empathie pour proposer une interprétation des sentiments et émotions, ainsi qu'une représentation du modèle modal de la mémoire. Nous questionnons ensuite la représentation numérique, interrogeant tout d'abord (C2d) les paradigmes de programmation, pour nous concentrer sur le paradigme objet, puis (C2e) la création en intelligence artificielle. Nous terminons cette analyse avec (C2f) la création de monde virtuel. Le tableau T42 récapitule ces différentes étapes.

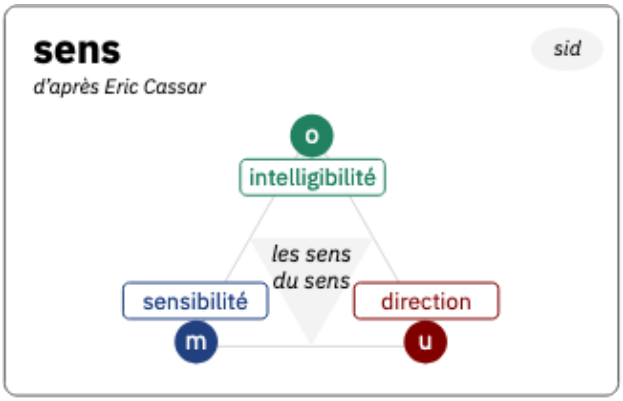
T42 — Analyse de la création et du sens

C2	*De la création de sens au sens de la création*	
	hors numérique	*référence*
C2a	Définir le concept de sens	Eric Casar
C2b	Cadrer le processus créatif	OuXPo
C2c	Modéliser la conception créative, le « design thinking »	British Design Council, Antonio Damasio, Atkinson & Shiffrin
	avec le numérique	
C2d	Modéliser la conception, paradigmes de programmation	-
C2e	Créer avec l'intelligence artificielle	Margaret Boden
C2f	Créer un monde virtuel	-

C2a. Le concept de sens

Comme vu précédemment (cf. encadré E12), le concept de sens est porteur d'une triple signification : direction, sensibilité, intelligibilité, comme le relevait l'architecte Eric Cassar, présentant le passage *des villes sensibles aux architectures subtiles* de demain lors d'un événement TEDx en 2015[249]. Direction et Sensibilité sont logiquement portés respectivement par les deux attracteurs, *unique* et *multiple :* la direction va alors orienter l'action externe, et la sensibilité être intégrée par la structure interne. L'intelligibilité se positionne orthogonalement, en tant que produit de l'interaction entre les deux premiers sens. Est intelligible ce « *qui est saisi et identifié par l'intelligence ou l'ouïe*. » (CNRTL). Pour remonter à étymologique, intelligence est la capacité à lier ensemble (inter legere). Pour Aristote : « *II n'y a rien dans l'intelligence qui n'ait été auparavant dans les sens. L'intelligence agit lorsqu'elle tire de ce qu'on a senti quelque chose qui ne tombe point sous les sens* ». Les notions utilisées par Sylvie Leleu-Merviel et Philippe Useille dans l'article de 2008 précité (cf. § 0.5) sont homologues. Ils distinguent le *sens*, *contextuel*, de la *signification*, *normalisée*, de la **signifiance**, « *appellation octroyée au processus de tension dialogique entre signification et sens*. »

L'effet des attracteurs est illustré sur la carte [*sid*]. Elle nous sert de point de départ pour analyser le « *travail du sens* » (Bonnet et al., 2015). En faisant l'hypothèse que le « *bon sens* » résulte d'un équilibre entre ces trois notions, cette représentation permet d'analyser les conditions de déséquilibre, par excès ou défaut de ses composantes. En prenant en compte la variation de l'influence des attracteurs nous proposons une piste d'étude du champ lexical associé au sens et à la perte de sens. Chacun des trois attracteurs est actif (1) ou inactif (0). Nous obtenons ainsi 8 états de transformation (soit 2^3). Nous



C211 — [sid] — sens

249. Vidéo disponible en ligne : https://youtu.be/oaIQbh6BCmE

esquissons cette analyse dans le tableau T43. Les deux extrêmes correspondent au concept de *bon sens* (cf. également le cas B4) et de *non-sens*. Dans les autres cas, une ou deux composantes font défaut. Intelligibilité et sensibilité sans direction peuvent mener au contresens. Direction et sensibilité sans intelligibilité exprime la contradiction, l'absurdité. L'insensibilité correspond logiquement à l'absence de sensibilité, elle s'oppose à l'hypersensibilité à laquelle l'intelligibilité et la direction font défaut. Une direction sans intelligibilité ni sensibilité évoque l'aliénation, et l'intelligibilité seule, l'intuition. Cette analyse reste une ébauche, elle mériterait un approfondissement, par exemple via une étude de la proxémie (le sujet sera évoqué au § 3.3.1.4.).

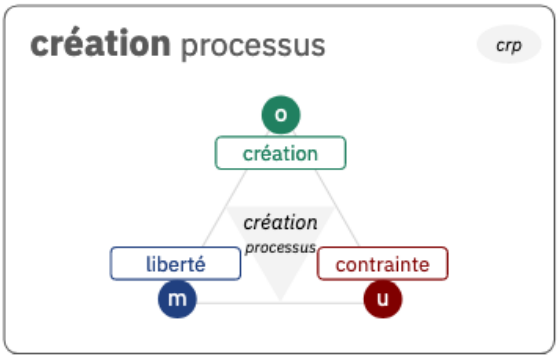
T43 — Influence des attracteurs sur le sens (esquisse)

(m((o))u) (sensibilité((intelligibilité))direction)	terme associé
(0 0 0)	non sens
(1 0 0)	hypersensibilité
(0 1 1)	insensibilité
(1 0 1)	absurdité
(0 1 0)	intuition
(0 0 1)	aliénation
(1 1 0)	contresens
(1 1 1)	bon sens

Le sens se construit. Pour comprendre la création de sens, nous questionnons le processus créatif.

C2b. La création de sens : le processus créatif

Esquissons pour commencer l'analyse du processus créatif à l'aide de la *grille d'analyse de la transformation*, en cherchant simplement à positionner quelques principes fondamentaux sachant que la complexité du processus mériterait une analyse bien plus conséquente. La création est définie comme un « *acte consistant à produire et à former un être ou une chose qui n'existait pas auparavant* » (CNRTL). Elle s'inscrit donc le temps, dont nous avons abordé la triple dimension, en cherchant à briser le cycle de la répétition. La création est à la fois le dépassement d'une contrainte et l'expression de libertés. Elle a l'apparence d'une crise (Anzieu, 1981:20). L'œuvre produite émerge de cette confrontation entre contrainte et liberté. La création est à la fois le résultat d'un dépassement et d'un équilibre subtil, le choix d'une voie parmi de multiples, qui résonnera en premier lieu pour le créateur, pour atteindre ou non son entourage. La carte [*crp*] positionne ainsi le principe d'émergence du processus créatif.



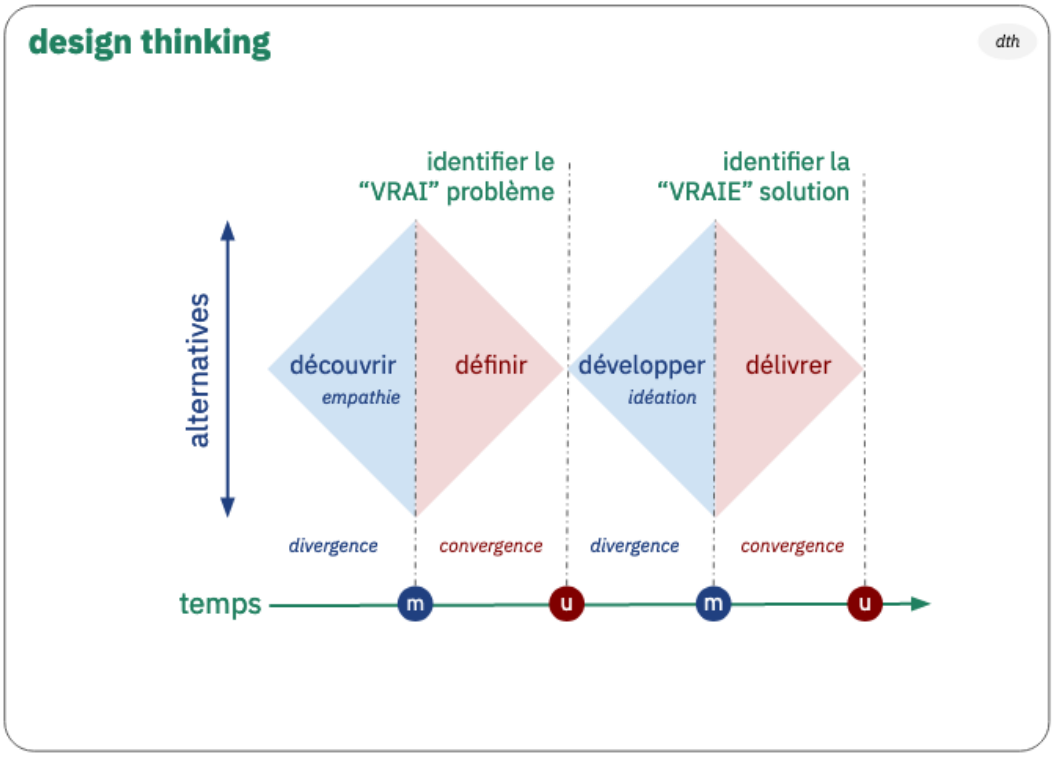
C212 — [crp] — création, processus

L'enjeu est de sortir d'une situation de blocage. Dans le monde du conseil, des consultants spécialisés dans le changement et la créativité ont ainsi défini des méthodes, outils et stratégies appropriés. Citons par exemple quelques classiques comme la « *pensée latérale* » (Bono, 1992), « *la stratégie du projet latéral* » (D'Herbemont & César, 1996), démarche d'action qui s'en inspire pour résoudre des projets techniquement et relationnellement complexes, ou la « *stratégie Océan Bleu* » (Kim & Mauborgne, 2010) pour créer de nouveaux espaces stratégiques en privilégiant l'innovation de rupture par rapport à l'innovation incrémentale, évitant ainsi la confrontation directe aux concurrents. Notons que ce schéma s'applique autant à l'innovation technologique qu'à la création artistique. Par exemple, la série d'ouvroirs qualifiés par l'acronyme d'OuXPo, et dont l'OuLiPo, l'Ouvroir de littérature potentielle, est le représentant le plus illustre a particulièrement exploité ce processus. Lors de leurs ateliers créatifs, les participants se choisissent

volontairement une contrainte formelle, considérant qu'elle est un puissant stimulant pour l'imagination.

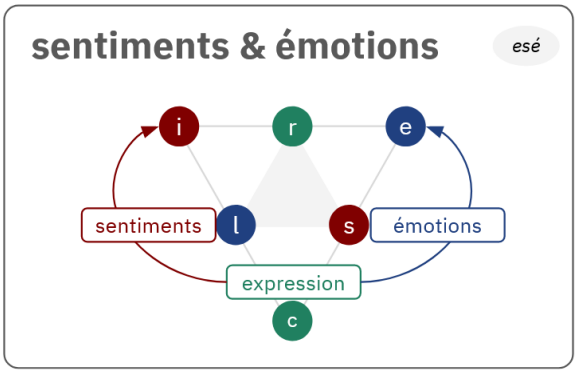
C2c. La conception créatrice , le « design thinking »

Le **design thinking** est une méthode de gestion de l'innovation initiée par Rolf Fast à l'université de Stanford dans les années 1980, en s'inspirant des travaux de Mc Kin. Utilisée aujourd'hui par de nombreuses agences de design, cette méthode découpe le processus en plusieurs étapes, leur nombre étant variable selon les auteurs. Pour décrire le processus du design, le British Design Council modélisa ce processus avec le modèle en double diamant (Norman, 2013:220). Cette représentation visuelle est aujourd'hui universellement acceptée (Ball, 2019). Elle distingue quatre étapes qui alternent phases divergentes et convergentes, pour identifier le "vrai" problème, puis la "vraie" solution. Le processus créatif semble donc émerger du double effet des attracteurs *unique* et *multiple*, comme nous l'illustrons sur la carte [*dth*].

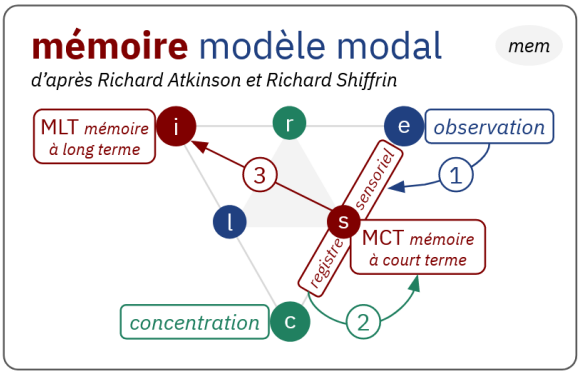


C213 — [dth] — design thinking

La première phase du processus de *design thinking* est une *phase d'immersion*, qualifiée d'*empathie*. C'est la pièce maîtresse d'un processus de conception centré sur les utilisateurs. Il s'agit de comprendre comment et pourquoi les gens font choses, autrement dit la façon et la raison. Il s'agit entre autres de capter les *sentiments* et *émotions*. Il est donc question du rapport entre l'interne et l'externe. Notre représentation de l'organisation considère 3 axes : existentiel, opérationnel tourné vers l'extérieur et organisationnel tourné vers l'intérieur. La carte [*esé*] les positionne sur la *grille d'analyse de l'organisation*. Notons que le neurologue Antonio Damasio a mis en évidence le rôle des émotions dans la mémorisation. Cette représentation est à rapprocher du modèle modal de la mémoire, proposé par Richard Atkinson et Richard Shiffrin (1968), illustré par la carte [*mem*]. Le modèle modal de la **mémoire** distingue trois composantes : le *registre sensoriel*, qui capte la plupart du temps inconsciemment et pendant quelques millisecondes l'information sensorielle (sons, images, odeurs…), la *mémoire à court terme* (MCT), qui contient pendant quelques secondes un nombre limité d'éléments stockés sous forme verbale, et la *mémoire à long terme* (MLT). On notera également, comme le rappelle Alain Lieury (2005) que les mécanismes d'organisation de la mémoire utilise deux processus principaux, l'un hiérarchique au niveau de la *mémoire sémantique*, l'autre associatif au niveau de la *mémoire épisodique*. Les deux relations, l'*assembleur* et le *connecteur*, permettent de coder ces processus dans le langage des *graines d'information*. Nous abordons à présent la création de sens par un volet numérique, avec la modélisation de la conception avec les paradigmes de programmation.



C214 — [esé] — sentiments & émotions



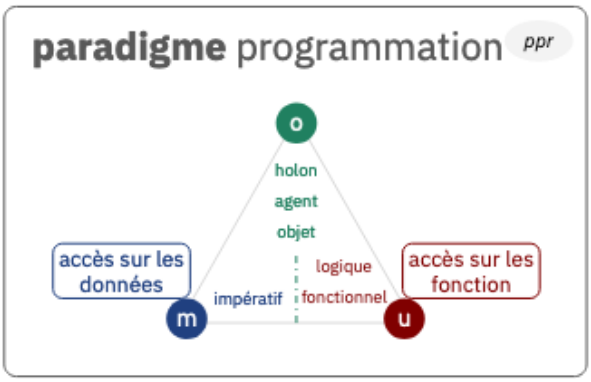
C215 — [mem] — mémoire, modèle modal

C5d. Modéliser la conception, les paradigmes de programmation

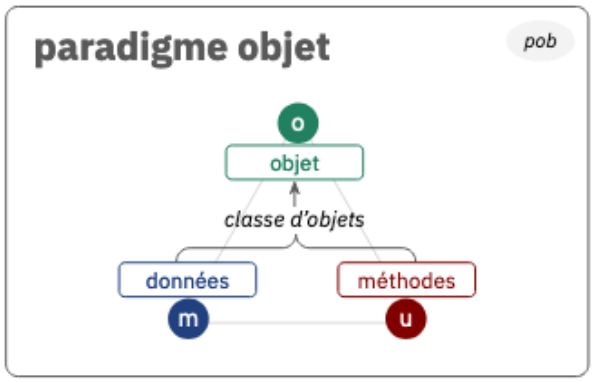
Utiliser l'informatique pour représenter une problématique et trouver les solutions nécessite l'usage d'un langage de programmation. Selon la nature des représentations et les stratégies de résolution privilégiées, le premier choix sera celui du **paradigme de programmation**. Les paradigmes sont nombreux, nous n'évoquons que les principaux. Les langages sont encore plus nombreux et certains implémentent plusieurs paradigmes. Le paradigme le plus ancien et le paradigme impératif ou procédural : le niveau d'abstraction principal est celui de la procédure. Accès sur les données, le traitement est décrit selon le principe « *d'abord faire ceci, puis cela* » (*First do this and next do that*)[250]. Le paradigme fonctionnel est d'un niveau plus conceptuel. Il est accès sur les fonctions. Le principe est d'« *évaluer une expression et utiliser la valeur résultante pour quelque chose* » (*Evaluate an expression and use the resulting value for something*). La programmation logique ou par contrainte consiste à "*répondre à une question par la recherche d'une solution*" (*Answer a question* via *search for a solution*). Le traitement s'appuie sur la récursivité dans les limites des contraintes imposées; l'usage de la règle reste principal. Le paradigme objet équilibre l'accès entre fonction et données (Si Alhir, 1998:46). Il s'appuie sur le principe de "*l'envoi de message entre objets pour simuler l'évolution temporelle d'un ensemble de phénomènes du monde réel*" (*Send messages between objects to simulate the temporal evolution of a set of real world phenomena*). Le paradigme agent est inspiré de l'objet, mais les objets ont l'autonomie de s'organiser pour répondre à une problématique.

Nous utilisons le modèle de représentation pour cartographier les paradigmes précédemment mentionnés avec la carte [*ppr*], et illustrons plus particulièrement le paradigme objet sur la carte [*pob*]. Cette vue permet d'identifier une limite importante du paradigme objet. A la variations des données, propres à chaque objet, s'oppose la rigidité des méthodes. Dans un organisme vivant, les fonctions évoluent avec le temps, suite au processus d'accommodation.

250. Les expressions entre guillemets sont des traductions des expressions entre parenthèse du site : http://people.cs.aau.dk/~normark/prog3-03/html/notes/paradigms_themes-paradigm-overview-section.html



C216 — [ppr] — paradigme, programmation



C217 — [pob] — paradigme objet

Permettre une évolution du programme en fonction du temps est ce que propose un langage comme Erlang. Langage fonctionnel, il supporte plusieurs paradigmes : concurrent, temps réel, distribué. Créé en 1987 par l'opérateur de télécommunication Ericsson, il permet le développement d'applications à très haute disponibilité : la mise à jour des programmes, c'est-à-dire le déploiement de différentes générations, s'effectue sans interruption de service.

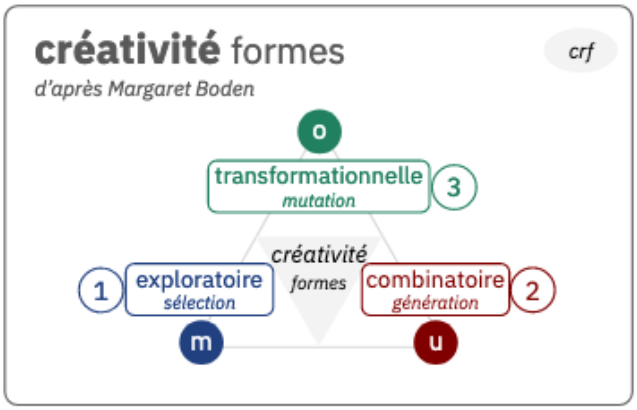
Dans les langages dédiés à la création artistique signalons deux langages, l'un pour les arts graphiques l'autre pour la musique, qui s'appuient sur le principe de boucles temporelles : *Processing*[251] et *Sonic Pi*[252]. Adapté à la création plastique et graphique interactive et au graphisme de données, *Processing* est un environnement de programmation graphique que nous envisageons d'approfondir pour illustrer l'interaction avec les graines d'information. Il en est de même avec *Sonic Pi*, environnement de codage en direct conçu pour l'improvisation musicale et la composition, afin d'explorer la dimension sonore et harmonique.

En informatique, la créativité est un domaine étudié dans le champ de l'intelligence artificielle.

251. https://processing.org/
252. https://sonic-pi.net/ — voir aussi Tidal Cycles : https://tidalcycles.org/

C2e. La créativité et l'IA

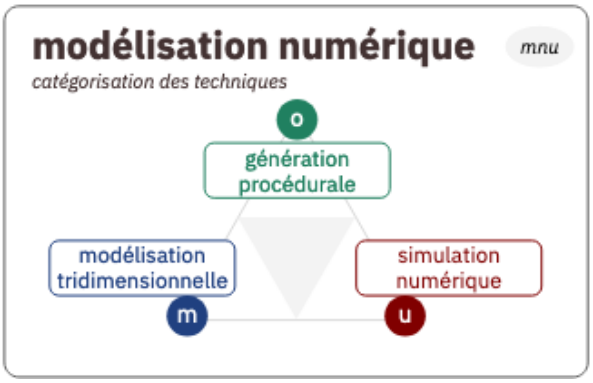
Professeur d'intelligence artificielle à l'université du Sussex, Margaret Boden définit la **créativité** comme la capacité à générer des idées nouvelles et de valeur. (Boden, 2009) Pour les générer, elle recense trois processus : combinatoire, exploratoire, transformationnel . La créativité combinatoire consiste à produire, à partir d'idées familières, des combinaisons inhabituelles. L'exploratoire consiste, dans un espace délimité, à envisager toutes les solutions afin d'en extraire les plus surprenantes. Les deux premières suivent deux directions opposées : la première est amplificatrice, elle génère des combinaisons, la seconde est réductrice, elle part de l'espace pour trouver des singularités. Elle correspond à la programmation par contrainte. La troisième est plus surprenante car elle s'affranchit du jeu initial de composants à combiner et des limites du cadre à explorer. Mais comme pour les deux premières, l'auteur constate que l'Intelligence Artificielle est en mesure de suivre cette voie : un programme peut intégrer des règles qui l'amènent à se modifier lui-même, en utilisant des algorithmes génétiques. Cette troisième forme peut être qualifiée d'auto-organisatrice. Une précision cependant : comme le signale Gérard Berry, la véritable créativité n'est pas dans le calcul mais d'une part dans les règles qu'il faut donner pour obtenir quelque chose d'intéressant et d'autre part pour être capable de juger du résultat. La carte [*crf*] positionne ces trois processus dans notre grille d'analyse.



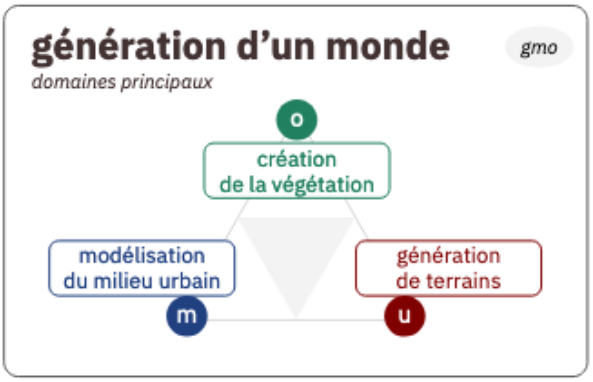
C218 — [crf] — créativité, formes

C2f. Création d'un monde virtuel

La création d'un **monde virtuel** consiste à « *définir une scène composée d'une multitude d'éléments de différents types qui interagissent entre eux pour avoir un résultat le plus réaliste possible*. » (Peytavie, 2010:1). Dans l'introduction de sa thèse, l'auteur précise qu'il existe plusieurs techniques de modélisation pour obtenir un monde virtuel cohérent. Elles « *peuvent être classées en trois catégories : la génération procédurale, la simulation, la modélisation par esquisse ou édition*. L'intérêt et l'usage de ces approches sont complémentaires. « *La génération procédurale permet de créer très rapidement un nombre important d'éléments à l'aide d'un ensemble de procédures* [...] *La simulation est utilisée pour obtenir des résultats réalistes pouvant évoluer au cours du temps. Cette approche utilise des lois physiques, chimiques ou biologiques qui sont longues et coûteuses à évaluer.* [...] *Les simulations numériques scientifiques reposent sur la mise en œuvre de modèles théoriques utilisant souvent la technique des éléments finis. Elles sont donc une adaptation aux moyens numériques de la modélisation mathématique, et servent à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système modélisé ainsi qu'à en prédire son évolution. On parle également de calcul numérique. Les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats des calculs par des images de synthèse.* » La modélisation tridimensionnelle est la technique majoritairement utilisée dans le jeu vidéo, et le cinéma d'animation. Pour diminuer la complexité, la thématique est « *divisée en trois domaines principaux qui sont les générations de terrains, la création de la végétation et la modélisation du milieu urbain.* » Ce découpage interpelle pour plusieurs raisons. Dans le monde réel, le terrain est le résultat d'une création dans un temps long, le temps de la géologie, de l'*Aiôn*. Le milieu urbain est créé et organisé par l'homme, dans le temps court et fragmenté, de *Chronos*, un temps qui s'oppose au précédent. Le temps de la végétation est celui du vivant, de la biologie, il s'inscrit dans une durée intermédiaire. On notera que les trois techniques sont utilisées de façon privilégiée en rapport à ces trois domaines. Les cartes [*mnu*] et [*gmo*] illustrent notre interprétation.



C219 — [mnu] — modélisation numérique



C220 — [gmo] — génération d'un monde virtuel

Cette validation théorique reste très schématique et fragmentaire; elle appelle une validation par les spécialistes. Nous mettons à disposition un jeu plus complet d'environs 800 cartes qui prolonge cette investigation et apporte des éclairages complémentaires dans l'usage du modèle.

Nous abordons à présent une validation plus concrète, expérimentale.

3.2. Evaluation EXPÉRIMENTALE

3.2.0. Introduction

Les évaluations expérimentales sont présentées au filtre de la représentation R3. Sur l'axe existentiel X, nous distinguons les projets individuels des collectifs; si nous avons commencé avec les premiers nous ne présenterons que les seconds. Sur l'axe opérationnel Y, nous distinguons les temporalités sur deux critères : la date de commencement et l'état d'avancement. Sur l'axe organisationnel Z, nous positionnons les domaines. Nous présentons ainsi trois projets complémentaires, dans des états d'avancement variables. Le premier dans le domaine du tourisme a été suspendu en 2017 mais reste susceptible de redémarrer. Le second dans le domaine de l'archéologie est en cours jusqu'en 2021, susceptible de se prolonger après[253]. Le troisième dans le domaine médico-social est en démarrage. Chacun de ces projets est focalisé sur l'un des trois mots-clés de notre recherche, *information*, *transformation*, *organisation*, dans un contexte commun d'adaptabilité.

Notés respectivement pA, pB et pC, ces trois projets sont traités dans le cadre de missions de conseil qui s'inscrivent dans le domaine de l'accompagnement à la transformation numérique d'organisations en réseau. Les organisations partagent des points communs : elles sont dans des usages du numérique centrés sur les utilisateurs et font un emploi raisonné de la technologie. Certaines présentent également des particularités : un système d'information mutualisé au niveau du réseau pour Apidae et des dispositifs de médiation de référence pour Bibracte. Nous relevons également une complémentarité des trois projets, en nous appuyant sur les attracteurs associés à la dimension spatiale. Les problématiques diffèrent également. Analysant comparativement ces trois projets nous mentionnons les principales entités associées à chacun des attracteurs, l'attracteur unique traduisant la raison d'être de l'organisation, et l'attracteur organisationnel l'objectif poursuivi. Ces différents points sont résumés dans le tableau T44.

253. Dans le cadre d'un projet ANR (Agence Nationale de la Recherche)

T44 — Projets de mise en application des recherches

projet	pA	pB	pC
domaine	tourisme	archéologie	médico-social
commencement	2014	2017	2020
avancement	suspendu en 2017	en cours	en cours
centrage sur et *particularité*	organisation de l'*information*	*transformation* de l'organisation : *pérennité attendue*	*organisation* de la transformation : *organisation apprenante*
approche spatiale	territoire étendu : destinations d'une région touristique	lieu : site archéologique de fouille	réseau : partenaires du médico-social
problématique générale	valorisation du territoire, mutualisation de bonnes pratiques	mise en cohérence des projets numériques, partage des connaissances	mettre le numérique au service du projet associatif
attracteur unique	professionnel du tourisme	site de fouille	adolescent
attracteur multiple	offres, clients	données, hypothèses, partenaires	soins, professionnels
attracteur organisationnel	services B2B	création de sens, sauvegarde du patrimoine	bien-être de l'adolescent

Nous présentons ci-après ces trois projets. Les deux premiers ont fait l'objet de communications scientifiques (cf. Bibliographie), celle sur le projet archéologique étant en collaboration avec le responsable de la cellule éditoriale (Lacombe & Durost, 2019) . D'autres sont en préparation, en particulier sur le troisième projet plus récent. Nous évoquons en complément deux validations partielles, liées à des projets récents, ainsi que deux formes liées à notre méthodologie, une validation procédurale itérative et une validation algorithmique exploratoire.

3.2.1. Réseau Apidae

3.2.1.0. Présentation générale du projet

Rappelons pour commencer l'importance des réseaux pour le tourisme. Le tourisme s'est développé au XIXe parallèlement au développement des réseaux de transport, et de communication, qui assurent respectivement la possibilité de circulation et la promotion de l'activité, en amont par la publicité et en aval, par le retour de l'expérience vécue. Apidae est le premier réseau d'information touristique français. Initié en Région Auvergne Rhône-Alpes, sous le nom de SITRA (Système d'Information Touristique Rhône Alpes) le réseau se déploie aujourd'hui en régions PACA et Ile-de-France et dans quelques départements et cantons suisses.

En 2017, il se structurait autour de 7 coordinateurs, comptabilisant 1000 structures utilisatrices du Système d'Information Touristique (SIT) pour environ 1500 utilisateurs. Nous avons effectué deux missions, une mission de conseiller technique et innovation sur l'évolution du SIT, de 2014 à 2017, ainsi qu'une mission d'accompagnement au pilotage d'un projet de transformation, en binôme avec un consultant senior qui a piloté ce second projet au cœur de son domaine de compétence, de 2015 à 2016. L'intérêt de ces deux missions pour notre recherche est leur positionnement au niveau des deux roues de la boucle OitO, qui modélise l'articulation entre l'*Organisation de l'information* (Oi) et la *transformation de l'Organisation* (tO) — cf. carte [*R0*] du §0.1.2. Signalons que cette représentation n'était pas formalisée au moment de nos interventions, qui se sont déroulées avant cette thèse. Ce projet n'a pu donc bénéficier des cadres d'analyse mis au point progressivement pendant la recherche. L'analyse est donc avant tout rétrospective en nous appuyant sur nos rapports et documents produits pendant cette période. Nous avions consacré du temps complémentaire à la mission à cet effet. Précisons également que ces missions ont été impactées par la mise en place de la loi NOTRe, du 7 août 2015 portant sur une nouvelle organisation territoriale de la République, qui a redéfinit d'une part les limites territoriales, avec la fusion de régions, d'autre part une évolution dans la répartition des rôles des institutions administratives.

3.2.1.1. Organisation de l'information

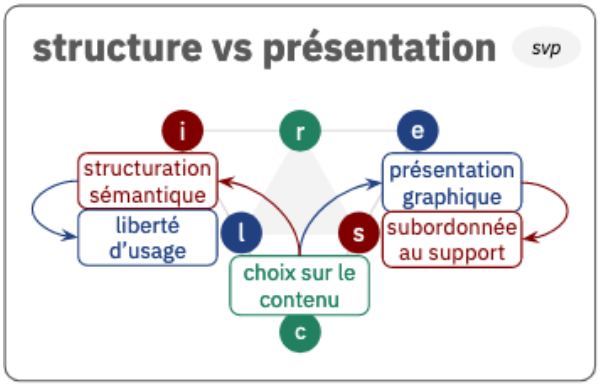
L'organisation de l'information est en rapport avec l'organisation du réseau, qui s'analyse selon deux axes principaux — l'un sur les formes de gouvernance et l'autre sur le périmètre d'intervention — que nous relions respectivement aux attracteurs unique (axe existentiel, qui porte la réglementation) et multiple (axe opératoire, dans les multiples directions de l'espace). Le premier axe distingue les formes publiques (comme les associations) et privées (les sociétés), avec possibilité de structures mixtes (GIE); nous relions respectivement ces formes aux trois attracteurs, multiple, unique, et organisationnel. Le deuxième axe distingue l'étendue du champ d'intervention des structures. Dans le champ d'intervention, mentionnons les différents échelons génériques et les structures associées, considérés du point de vue de la France : mondial (Organisation Mondiale du Tourisme), européen[254], national (Ministère, Atout France, fédérations), régional (CRT, pour Comité régionaux du tourisme), départemental (CDT ou ADT, pour Comités départementaux ou Agences départementales), intercommunal (OT, Office de Tourisme). Notons que la répartition de ces structures dépend de l'attractivité touristique et du développement historique. Ainsi la région PACA compte deux CRT, et la Région Rhône-Alpes est pionnière dans le tourisme de montagne. La France est par ailleurs une des premières destinations touristiques au monde du fait de la variété de ses domaines d'intérêts et points d'intérêts. Cette variété se retrouve dans les **systèmes d'information touristique** (SIT) autour desquels se développent des réseaux d'acteurs publics du Tourisme qui cherchent à mutualiser des services. Le réseau Apidae s'est constitué autour d'un système d'information touristique en cherchant dans un premier temps à mutualiser des services techniques, de la saisie à la diffusion, chaque acteur restant libre de développer sa propre stratégie. Pour éclairer ce contexte, nous apportons une perspective historique sur le développement de l'information touristique numérique dans l'encadré E39.

254. https://www.veilleinfotourisme.fr/union-europeenne

E39 — Perspective historique sur l'information touristique numérique

Historiquement, l'information touristique s'est agrégée autour de plusieurs supports comme l'affiche (promotion de la destination), l'horaire de train (gestion du temps), le guide (inventaire des points d'intérêts et suggestion de parcours), la carte géographique (repérage des lieux), la brochure (documentation), ou la carte postale (témoin de visite). Le numérique a pour effet de dissocier le contenu de son support, offrant la possibilité de distinguer plusieurs dimensions dans le contenu. D'un point de vue structurel, on distingue ainsi les données purement informatives, des données relatives à la présentation, des métadonnées qui définissent la structure sémantique pour des usages automatisés.

A partir du développement de l'informatique personnelle dans les années 1980, le numérique a ainsi ouvert d'une part un espace de liberté avec la PAO, *Publication Assistée par Ordinateur*, pour afficher les contenus, et d'autre part un espace de contraintes dans leur structuration avec les *bases de données*. Mais la liberté graphique initiale, directement visible, véhicule des contraintes d'usage relatives aux caractéristiques techniques du support dont elle dépend étroitement, alors que réciproquement la contrainte structurelle, invisible, est source potentielle d'une multitude d'usages, sur différents supports. Cette situation est illustrée avec notre grille d'analyse par la carte [*svp*]. Requérant des compétences techniques, ce potentiel peine cependant à s'actualiser chez les acteurs historiques du tourisme, domaine où la visibilité, la communication et la dimension promotionnelle sont centraux. Dans les années 1990, la standardisation de protocoles et langages autour du réseau internet[255] a



C221 — [svp] — structure versus présentation

255. Le réseau internet s'est imposé en s'appuyant sur des protocoles comme tcp/ip ou http pour les échanges et accès aux données du réseau et des langages comme HTML et XML pour la description des contenus à afficher.

ouvert un espace transversal de développement de nouveaux services d'informations utiles au tourisme, rapidement occupé par de nouveaux acteurs internationaux spécialisés dans le traitement de l'information et sa relation à l'utilisateur, qu'ils soient généralistes comme Google (1998) ou spécialisés dans la réservation en ligne d'hébergements professionnels ou particuliers, comme Booking (1996) ou AirBnB (2008). Les acteurs publics français n'ont pu suivre cette dynamique. Au niveau national, ils s'appuient sur un format commun de description et d'échange *TourinFrance*[256], promu par le Secrétariat d'Etat au Tourisme, complété par le projet DATAtourisme[257], de mise à disposition des données touristiques en *Open Linked Data*, piloté par l'Etat et Tourisme & Territoires.

Pour analyser les forces et faiblesses techniques du réseau, nous avons utilisé sur ce projet notre instrument d'observation (dans sa version *sémioscope*).

La force principale d'Apidae est d'être un réseau très orienté sur le relationnel humain. Constitué d'une équipe de coordinateurs, en contact régulier avec des animateurs territoriaux, la cohésion du groupe avait été rétablie peu de temps avant notre arrivée, le groupe ayant été déstabilisé par la croissance rapide du réseau, avec l'arrivée de nombreux nouveaux ayant besoin d'accompagnement, alors que parallèlement la migration de la version 1 à 2 sollicitait les experts internes.

La faiblesse constatée est plutôt d'ordre technique, avec une connaissance plus centrée sur les usages que sur les potentiels de la technologie. Si l'architecture du SIT répondait globalement au standard, nous avons constaté lors d'un audit une faiblesse dans l'architecture de l'information, issue d'un support unique (le papier), sous exploitant le potentiel d'usages multiples qu'autorise le numérique. La plateforme ne gérait que les objets touristiques mais pas les acteurs du réseau, et manquait d'indicateurs d'usage et de performance. Nous avons constaté de plus une dégradation progressive du service fourni par le prestataire technique. Les

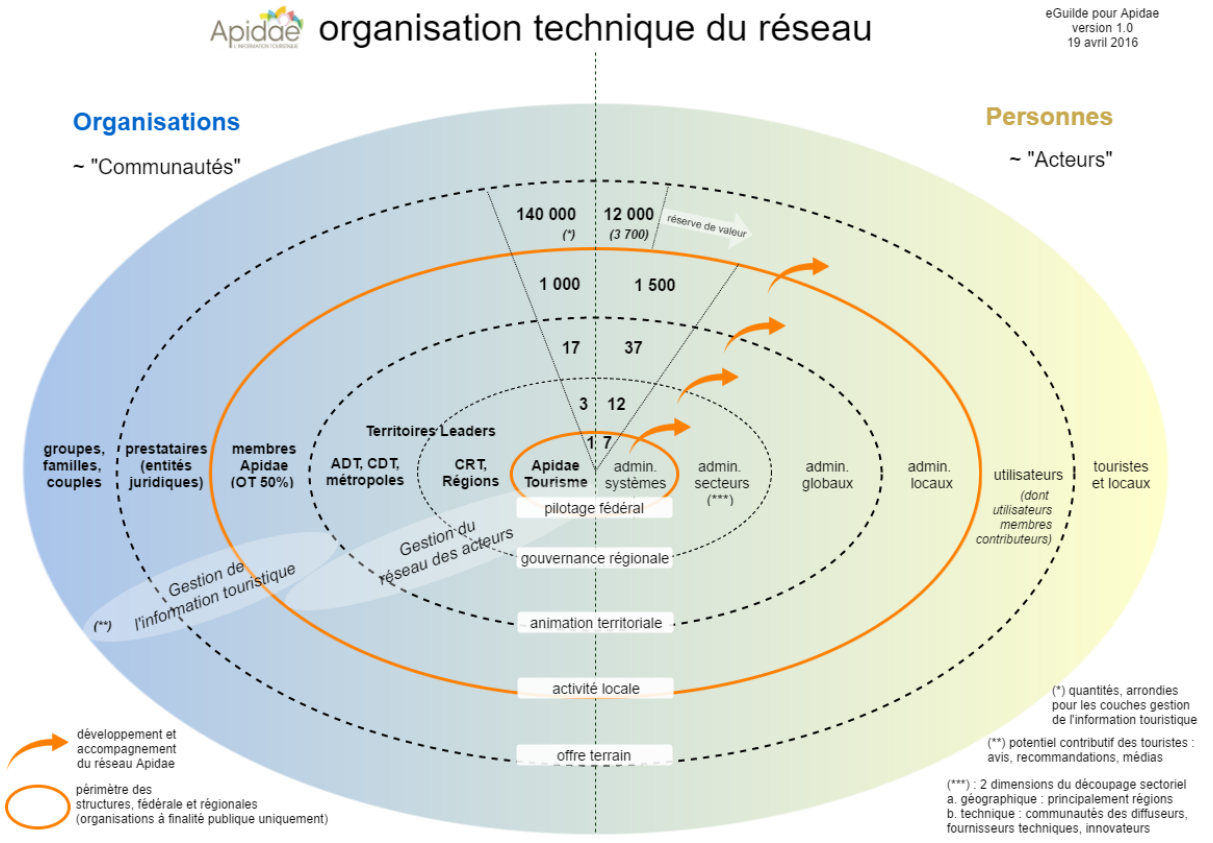
256. Qui n'a pas évolué depuis 2004 : http://tourinfrance.free.fr/
257. Cf. https://info.datatourisme.gouv.fr/

faiblesses dans l'architecture de l'information étaient liées au format *TourinFrance*, au cœur des principaux systèmes d'information touristique, en particulier celui d'Apidae et de Tourinsoft. En effet, ce format ne permet pas un codage réellement sémantique, pour par exemple identifier et gérer de façon homogène les informations de nature temporelle, spatiale ou thématique. En effet, dans les SIT, les données restent organisées par silo à partir du concept d'**Objet d'Information Touristique**, renseignées à partir de formulaires spécialisés selon les différents types d'objets (hébergement, restauration, fêtes et manifestations, patrimoine culturel et naturel, activités sportives…). Le concept de page reste omniprésent, directement traduit à l'échelle de la data pour l'indexation et la recherche, sans passer par des concepts intermédiaires significatifs pour l'humain. Cette architecture est source d'une *dette technique* importante. Pour contourner cet obstacle, nous avons proposé une orientation vers un *Réseau Hybride d'Intelligence* (Turner, 1993; Lacombe, 2016), suivant *la stratégie du projet latéral* (D'Herbemont et César, 1996), qui s'appuie sur *la pensée latérale* (De Bono, 1992)

La stratégie proposée s'articule en deux temps : gérer le réseau des acteurs, pour savoir « ki-fé-koi », introduire une révision du modèle de données dans un second temps, via ce nouveau système. Validée par la coordinatrice du projet, cette initiative a conduit au développement d'une première application, web et mobile de gestion des *graines d'information*, développée par un partenaire du réseau, selon les principes du *design thinking*, à partir d'un premier prototype que nous avions réalisé auparavant avec l'assistance d'un collègue développeur et consultant, pour illustrer le potentiel de cette approche. Nous avons abordé deux problématiques. La première cherchait à répondre à la question : « *Comment faciliter la circulation de l'information dans le réseau ?* », le contexte étant fixé par sa structure, un centre de coordination, et son fonctionnement, une circulation bidirectionnelle de l'information. La seconde était « *Comment faciliter l'auto-organisation et la navigation dans le réseau d'information sur les acteurs ?* », dans le contexte général, d'un réseau à la fois physique et numérique.

L'idée-clé pour traiter la première problématique était de s'appuyer sur le réseau existant que nous avons modélisé et étendu, comme illustré par le schéma S1 sur l'organisation technique du réseau. Le réseau d'origine s'inscrit dans l'ovale orange. Nous utilisons la typologie des graines : les *acteurs* (œ1), désignés par leurs rôles (œ7) ainsi que les *communautés* (œ6), globalement identifiés par leur catégorie (œ0), sont quantifiés. A chaque cercle correspondent des *objectifs* (œ9) comme pilotage fédéral, gouvernance régionale, et des *rôles* (œ7), administrateurs secteurs, globaux... Deux *services* (œ4) sont également mentionnés : gestion du réseau des acteurs, gestion de l'information touristique. Une extension du réseau a été proposée dans le cadre de notre mission d'accompagnement technique à l'évolution stratégique du Système d'information. Le cercle externe en particulier propose une extension vers une activité B2C (Business to Consumer), alors que le réseau est aujourd'hui uniquement B2B, Business to Business.

S1 — Schéma de l'organisation technique du réseau



L'analyse de la seconde problématique nous a conduit à prendre en compte une caractéristique des réseaux numériques, qui sont de type *invariant d'échelle*

(Barabasi et Albert, 1999). Dans la multitudes des points de connexions des réseaux numériques, tous n'ont pas la même importance, qui est contextuelle à l'utilisateur et à l'usage, et peut être évaluée sur base quantitative ou qualitative. Nous avons ainsi proposé une représentation du réseau, sous la forme d'une construction collaborative, avec une ouverture progressive aux différents cercles. L'idée était de présenter le réseau avec un double point d'entrée, vue unique et personnelle construite par le membre utilisateur et point d'entrée officiel du réseau, représentatif de la multitude. Le format commun des 10 types de graines servait de pivot entre ces deux représentations.

L'ouverture en écriture d'un réseau d'information présente un risque de divergence, avec par exemple une auto-promotion, comme nous le constatons sur les réseaux sociaux. Pour anticiper ce risque, nous avions prévu de nous appuyer à la fois sur l'humain et la technologie, en premier sur l'équipe de coordination, en contact direct et régulier avec les animat.eurs.rices réparti(e)s sur le territoire, pour un alignement des points de vue. Une idée complémentaire, non appliquée, était d'enrichir la représentation par des graines services actives dans l'esprit des systèmes multi-agents. Si les algorithmes ne peuvent analyser directement le sens, ils peuvent s'appuyer sur des méthodes quantitatives pour produire du qualitatif, comme par exemple le nombre de consultations, de renvois ou de citations. Les calculs sont pondérables de multiples façons, suite à différents traitements lors de l'indexation (statique) et la recherche (dynamique) : profilage des utilisateurs, *clusterisation*, statistiques, Traitements Automatiques du Langage (TAL), *machine learning*... Ils peuvent ainsi prendre en compte des éléments comme les thématiques et niveaux hiérarchiques ou les successions, rythmes et historiques d'interactions avec les utilisateurs. Les combinaisons sont infinies et les algorithmes peuvent évoluer en continu, pour implémenter des outils de guidage sous la forme de *bots* ou d'assistants[258], tout en laissant toute liberté à l'utilisateur de suivre son propre cheminement. et sa propre stratégie. Ces réflexions nous ont conduit au développement d'une première version de la méthode d'analyse R5. Présentée aux

258. Types de programmes informatiques qui effectuent des tâches automatisées

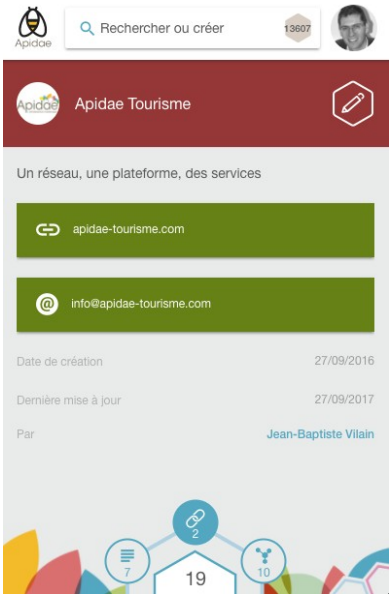
journées d'étude TIC.IS (Informations & Stratégie) en 2017, nous l'avons enrichie en 2019 en la croisant avec l'instrument d'observation R3, formalisant ainsi trois points de vue — commun, individuel, collectif — et mettant en avant un moyen mnémotechnique (la main) pour mémoriser la méthode. En 2020, une nouvelle révision a établi un lien entre les cinq points et les régimes de l'organisation.

Le résultat de cette analyse s'est traduit par le développement d'une application s'appuyant sur les concepts présentés dans les représentations R4 et R5. Les illustrations P1 à P3 présentent trois copies d'écran. On notera une différence dans l'usage des couleurs, qui a été revu depuis. La copie d'écran de gauche illustre le point d'entrée, celle du milieu la vue de détail avec les propriétés de la graine, celle de droite les graines incluses, la vue *assembleur*. On trouvera plus d'informations sur cette application dans nos communications de 2016 à 2019.

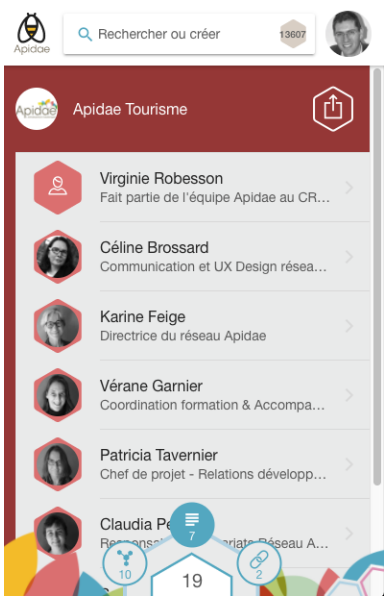
P1 — Point d'entrée



P2 — Vue de détail



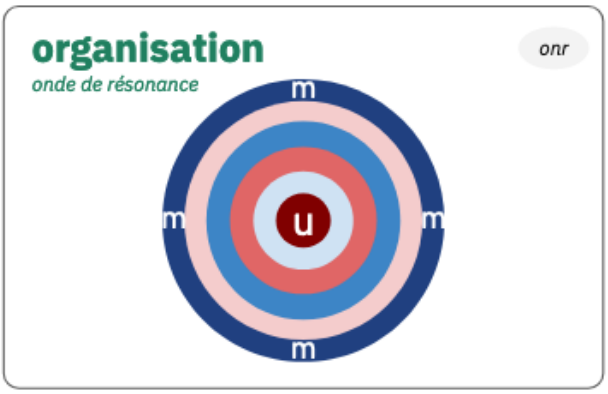
P3 — Vue *assembleur*



Le développement de l'application ayant été interrompu au début de son déploiement, nous n'avons pas pu évaluer la pertinence de ces concepts. Les raisons de cet arrêt sont multi-factorielles. Nous en faisons une brève analyse dans la rubrique suivante.

3.2.1.2. La transformation de l'organisation

Plusieurs facteurs nous paraissent expliquer la suspension du projet. Un premier est politique et économique. Dépendant du Conseil Régional, le CRT a connu une période de turbulence suite à la mise en place des directives de la loi NOTRe, au changement d'équipe de direction et à des restrictions budgétaires. Dans ce contexte, ce projet qui avait une composante forte de recherche n'est pas apparu comme une priorité. D'autres facteurs, d'ordre technique et d'implémentation, ont pu participer à cet arrêt. L'un concerne la performance de la base de données distribuées dont les temps de réponse étaient parfois aléatoires sur des smartphones de 2016. Un autre relève d'améliorations ergonomiques attendues, pour favoriser l'usage du tactile dans la mise à jour du graphe, optimiser l'appel des différentes vues sur la *graine d'information* et le retour graphique sur l'usage de l'*assembleur* (relation d'inclusion). De même, le cryptage des contenus est une amélioration souhaitable, pour des raisons d'éthique. *A posteriori*, nous considérons également qu'un déficit d'incarnation du projet par les acteurs est également un facteur pouvant expliquer sa suspension. Si nous avons constaté un réel enthousiasme pour ce projet, nous n'avons pu identifier un porteur suffisamment aguerri pour lui faire franchir les inévitables obstacles rencontrés. Nous faisons une analyse de cette situation en nous appuyant sur l'illustration précédente qui traduit un phénomène de propagation ondulatoire, entre l'unique, le centre de coordination, et le multiple, les destinataire de l'application. Ce dispositif était conçu pour une transformation de l'organisation sur le mode de la résonance, comme illustré par la carte [*onr*]. Chaque attracteur joue simultanément le rôle d'excitateur et de résonateur. L'état de résonance s'obtient par l'entretien d'une vibration par un excitateur à la fréquence propre du

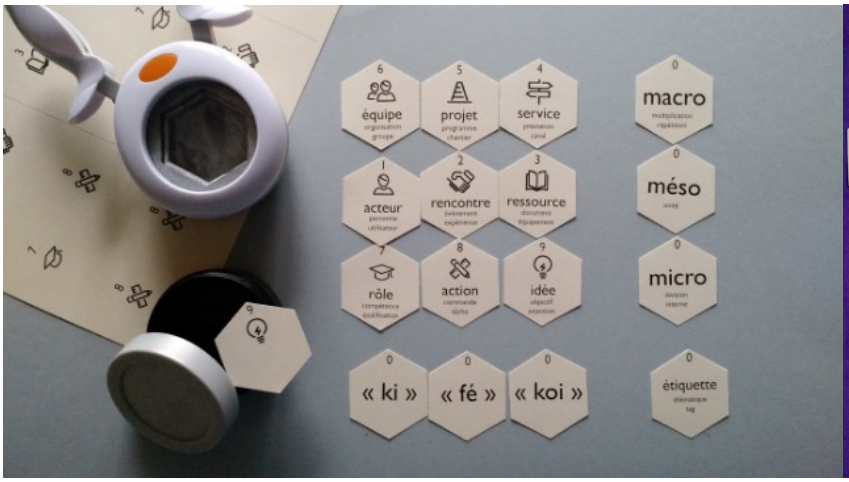


C222 — [onr] — onde de résonance

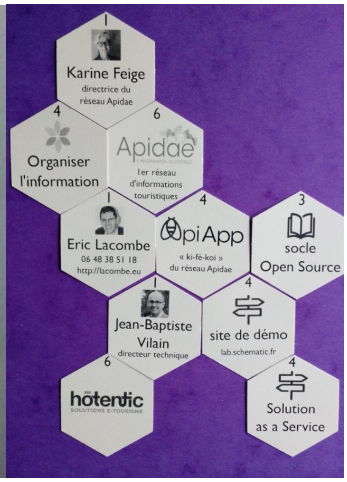
résonateur[259]. Réunir ces conditions n'est pas évident. Une autre façon d'amorcer le dispositif est de permettre à chacun d'être un excitateur. Ce fonctionnement n'était pas privilégié dans ce cas d'application, pour des raisons de gouvernance[260]. Mentionnons également la difficulté à quitter les habitudes. L'architecture que nous proposons s'inscrit dans un nouveau paradigme, celui de l'écosystème dans lequel chaque entité est autonome, et non pas du système, contrôlé par une instance régulatrice. Ainsi, si le développeur est prêt à innover, il conserve parfois les réflexes d'usage d'anciens modèles; si le client est prêt à partager l'information, il conserve un réflexe de garder le contrôle; si le chercheur est prêt à partager ses productions, il se heurte à la difficulté à communiquer sur le changement de paradigme, et au paradoxe consistant à devoir utiliser des systèmes d'information centralisés, les réseaux sociaux, pour promouvoir un dispositif conçu acentré. Développé en Open Source, le projet reste cependant susceptible de redémarrer, après résolution des trois limitations techniques restantes.

Pour minimiser la dépendance à la technologie, nous avons fait le choix de continuer le travail sur cette architecture de l'information sans utiliser le numérique, développant ainsi une version papier des *graines d'information*, cf. photos P4 et P5.

P4 — Version papier des graines d'information, grille



P5 — Graines, exemple



259. Pour plus de précision sur l'interprétation de ce phénomène avec les graines d'information, nous renvoyons à la communication *Le phénomène de résonance à l'ère du numérique. Perspectives et modélisations* (Lacombe & Vieira, TICIS 2019 à paraître en 2021).

260. Qui reste centralisée, comme nous avons pu le constater à l'issue de la seconde mission d'accompagnement, suite au choix du statut de la structure qui héberge le projet informatique, d'après l'analyse de notre collègue.

En janvier 2018, cette orientation a été présentée auprès d'un pôle de compétitivité des technologies du numérique, conjointement avec le développeur[261]. Cette présentation n'a cependant pas eu l'écho attendu. Ayant une forte culture scientifique, nos interlocuteurs, principalement spécialisés dans l'électronique et les automatismes, restaient centrés sur des attentes de contrôle, de performance et d'innovation technique, autrement dit un paradigme opposé à celui que nous mettions en avant, organique et centré sur l'humain. Si ce projet est en *stand-by* depuis quatre ans, l'équipe de développement reste cependant prête à le poursuivre. Sa pertinence est entière[262], les travaux menés depuis n'ayant fait que renforcer nos hypothèses, comme nous pouvons le voir avec les deux projets suivants.

261. Qui s'est réellement investie dans le projet, évidemment dans les contraintes imposées par ses activités parallèles, nous l'en remercions

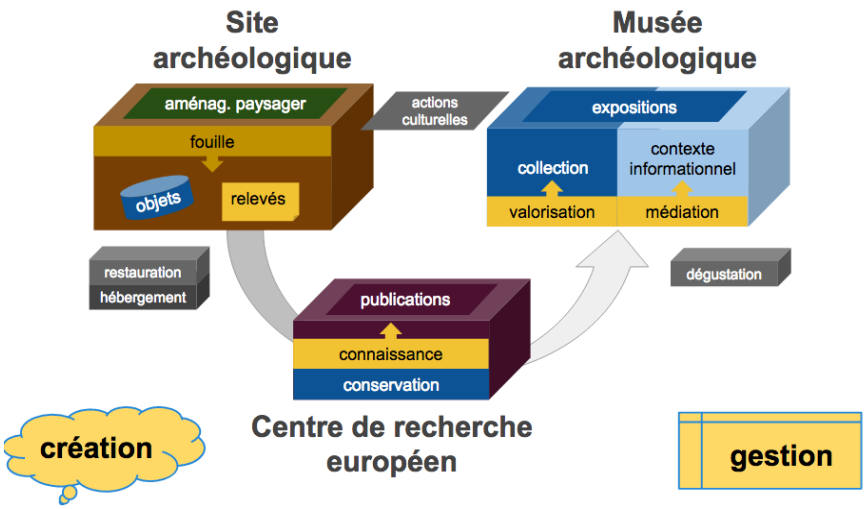
262. Nos communications scientifiques de 2016 à 2019 portaient principalement sur ce cas d'étude. D'après le développeur réinterrogé à ce sujet en décembre 2020, les choix techniques restent tout à fait pertinents.

3.2.2. Bibracte

3.2.2.0. Présentation générale du projet

Suite à l'arrêt de la mission précédente, nous avons abordé le projet archéologique d'une toute autre façon, utilisant toujours pleinement les apports de nos recherches, mais en limitant la communication autour du concept de *graine d'information* pour éviter toute perturbation que pourrait introduire le changement de paradigme. Bibracte, centre européen d'archéologie, est un site *unique*, labellisé *Grand Site de France*. Situé sur le Mont-Beuvray dans le massif du Morvan, il se compose d'un site de fouille, un centre de recherche, un musée, un restaurant gaulois, et de gîtes d'accueil pour les archéologues. L'activité y est *multiple*, fouille, recherche, pédagogie, tourisme, exploitation forestière, dans l'optique d'une valorisation générale du site. Y travaillent une trentaine d'ETP (équivalent temps plein) en relation avec un réseau de chercheurs. Bibracte accueille plus de 40 000 visiteurs par an au musée, le double sur le site archéologique. La mission de conseil que nous y exerçons consiste en un accompagnement à sa transformation numérique pour une durée de 4 ans, de 2018 à 2021. Elle fait suite à des missions ponctuelles d'accompagnement (audit stratégique, site web, projet collaboratif). Le schéma S2 extrait d'un livrable d'une mission antérieure résume le contexte interne. Une illustration équivalente a été produite pour le contexte externe.

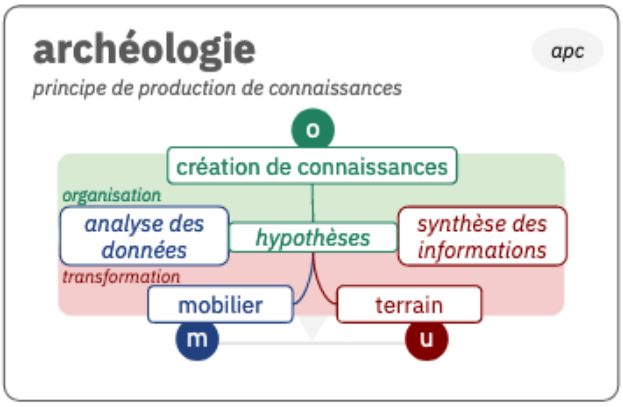
S2 — Bibracte, contexte interne



L'enjeu du projet est l'intégration des nouvelles technologies numériques dans la continuité de l'existant. La dimension patrimoniale est importante, les archéologues construisent des connaissances à partir de l'exploration du passé pour les transmettre dans le futur.

En tant que consultant en stratégie et ergonomie numérique, nous sommes principalement sollicité à la carte pour avis ou validation, sur différents dossiers en fonction des besoins. Nous sommes consulté en particulier sur les orientations stratégiques autour du numérique, ainsi que sur les sujets techniques, avec des interventions plus poussées dans le domaine de l'architecture de l'information. Nous remontons des points de vigilance dès qu'ils sont identifiés. Sur les nouveaux sujets, nous sommes également amené à co-animer des ateliers participatifs. Cette mission est un cadre propice à nos recherches puisque nous sommes face à un ensemble de transformations.

Précisons pour commencer que l'archéologie est intrinsèquement une science paradoxale, dans une logique de *destruction-créatrice*, que l'on pourrait donc qualifier de *schumpeterienne*, car elle détruit le terrain qu'elle fouille, pour créer de la connaissance[263]. Cette double transformation s'effectue de l'*unique* (site) vers le *multiple* (extraction d'objets) et du *multiple* (données du terrain et du mobilier) vers l'*unique* (connaissance). Le processus est schématisé sur la carte [*apc*], les relations sont bidirectionnelles car la création de connaissance pilote la prospection, la fouille, et l'ensemble des traitements qui en découlent. L'activité archéologique fait appel à une multitude d'expertises hautement qualifiées (doctorats), leur parcours étant généralement plus orienté sur les sciences humaines et sociales, que techniques, plus tournées vers le récit que le modèle comme la plupart des sciences historiques (Gardin,



C223 — [apc] — archéologie

263. C'est aussi une re-découverte, une re-naissance.

2012:407). Le terme archéologue est générique, les postes sont spécialisés, sans réellement de doublons à Bibracte. Les échanges s'effectuent à partir d'une base commune. Nous avons cependant pu vérifier lors d'un atelier participatif des différences d'interprétation sur des procédures. Ces différentes caractéristiques conduisent à un système d'information particulier, que l'on pourrait qualifier d'organique.

3.2.2.1. Organisation de l'information

Le système d'information présente plusieurs caractéristiques, tant du côté des outils techniques que des contenus. Le SI a été construit et est géré en interne. Il s'appuie principalement sur un logiciel de gestion de bases de données atypique, FileMaker Pro. Rappelons que cet outil a été développé par une filiale d'Apple avec une intention particulière : être accessible à un maximum d'utilisateurs, sans compétence informatique technique. En conséquence les couches de données et de traitements sont dépendantes[264], a contrario des principes classiques des bases de données. La connaissance technique sur le SI est centralisée, sous la responsabilité du documentaliste, qui n'est pas à plein temps sur le poste informatique. Du fait de la non redondance, le savoir technique reste donc peu partagé. Cette base connaît un développement organique. Appliquant le principe de conservation-adaptation, son modèle de données évolue à une fréquence quasi-annuelle après chaque campagne de fouilles, en relation étroite avec la coordinatrice des chantiers méthodologiques pour la gestion du mobilier et de la documentation archéologiques, à la sous-direction de l'Archéologie, au Ministère de la Culture. Autre point singulier, le site ne bénéficie pas de liaisons haut débit avec l'extérieur à coût supportable du fait de son isolement physique et sa configuration, répartie sur deux départements[265]. Les données étant naturellement produites sur place, ce point ne devient problématique que pour le partage de données avec l'extérieur, et l'accroissement des volumes. Les archéologues travaillant dans la durée avec des budgets optimisés, les choix techniques privilégient les critères suivants :

264. Dissociables depuis la version 7
265. Le musée est en Saône-et-Loire, le centre de recherche à 5 km, dans la Nièvre

l'économie de moyen, la réutilisation de technologies issues d'autres technologies, la sauvegarde.

La production de données numériques a augmenté ces dernières années avec l'usage de capteurs à définition croissance (photo numérique) et les nouveaux modes ou dispositifs de collecte. La collecte numérique s'effectue désormais sur trois niveaux. En plus de celle au niveau du sol, relevés topographiques, photos numériques, elle utilise des dispositifs aériens comme la télédétection par laser (Lidar) ou l'*orthophotographie*[266] par drone, ou des mesures du sous-sol, pour la prospection géophysique, qui utilise diverses technologies. Aux opérations liées au terrain, s'ajoutent celles sur les objets extraits des fouilles, qualifiés de *mobilier*. En plus des traditionnelles données de gestion de l'organisation (comptables, communication…). Bibracte édite et publie une collection d'ouvrages sous forme numérique, des rapports d'activité, communique sur son offre via son site web, et réalise des dispositifs de médiation numérique innovants[267].

Le traitement de données présente deux caractéristiques temporelles, liées à la mémoire. « *L'archéologie met à jour des vestiges de ce qui a vécu. Le vestige est une archive, un document de mémoire bien plus que d'histoire* » (Olivier, 2008). Cette mémoire est fragmentée, soumise à l'imprécision et l'incertitude. Les archéologues raisonnent comme des détectives, s'appuyant sur des indices, et des hypothèses pour combler les vides. Il est par conséquent essentiel, deuxième caractéristique, d'en garder la trace pour sa validation scientifique, et son éventuelle réfutation, après la découverte d'autres indices en contradiction avec les hypothèses. Ce processus a influencé les pratiques, tant de fouille que de conservation du mobilier. Le processus de construction des hypothèses a également été théorisé, en particulier par Jean-Claude Gardin avec le **logicisme** (Gardin, 1979), et plus récemment sur le potentiel du numérique et la modélisation 3D vers laquelle l'archéologie s'oriente (Djindjian, 2016). Gardin précisait en 2012 que « *l'analyse*

266. Images de la surface terrestre sans distorsion, après rectification géométrique et égalisation radiométrique, utilisées comme fond dans les systèmes d'information géographique
267. Cf. http://www.club-innovation-culture.fr/a-bibracte-la-realite-augmentee-la-3d-et-les-tables-tactiles-font-renaitre-la-ville-gauloise/

logiciste vise à exprimer le contenu cognitif des textes scientifiques sous forme de « schématisations » qui mettent en évidence les articulations du raisonnement sans en altérer la substance ni porter de jugement à leur sujet. » Notre logique de description de la transformation des organisations, qui utilise la schématisation, s'inscrit pleinement dans cette approche. Sans être réellement remis en question, le programme logiciste a rencontré quelques résistances, tant culturelles que techniques, et n'a pu être véritablement appliqué jusqu'à présent. Sensibilisé à ces aspects, Bibracte travaille cependant dans cette direction, utilisant par exemple une application de création de *diagrammes stratigraphiques*[268] et de contrôle de cohérence de l'*enregistrement chronostratigraphique*, appelée le *stratifiant* (Desachy, 2008, 2012). De même, la cellule éditoriale a établi avec cet auteur une distinction claire entre *référentiel de données* et *description raisonnée* dans sa chaîne de production documentaire (Desachy et al., 2012). Ayant pu partager et débattre du potentiel des graines d'information pour mettre en œuvre ce programme, un projet exploratoire est envisagé dans le cadre de la suite du contrat actuel.

Contrairement au projet du tourisme, le *langage de description* (R4) n'a pas encore eu l'occasion d'être déployé dans sa version numérique. Cependant, nous en avons fait des usages partiels à différents niveaux, tant stratégiques que organisationnels et opérationnels, en complément avec l'*instrument d'observation* (R3) dont les trois axes — existentiel/spatial, opérationnel/temporel, architectural/organisationnel — cadrent parfaitement à l'archéologie. Nous présentons ainsi trois cas d'application représentatifs, en phase d'analyse, de synthèse ou de validation, suivi d'un quatrième s'appuyant sur la *méthode d'analyse* (R5).

L'objectif poursuivi dans le premier était double, « *construire une chaîne de production de la connaissance archéologique qui s'appuie sur le potentiel du numérique et organiser la connaissance pour une diffusion auprès des différents*

268. En archéologie, la stratigraphie est une « m*éthode de travail consistant à différencier, sur un site, les couches superposées d'occupation humaine, afin d'établir entre elles une chronologie d'abord relative puis, après l'étude du matériel recueilli, absolue et de reconstituer l'histoire du site*. » (CNRTL) La chronostratigraphie établit la relation absolue au temps.

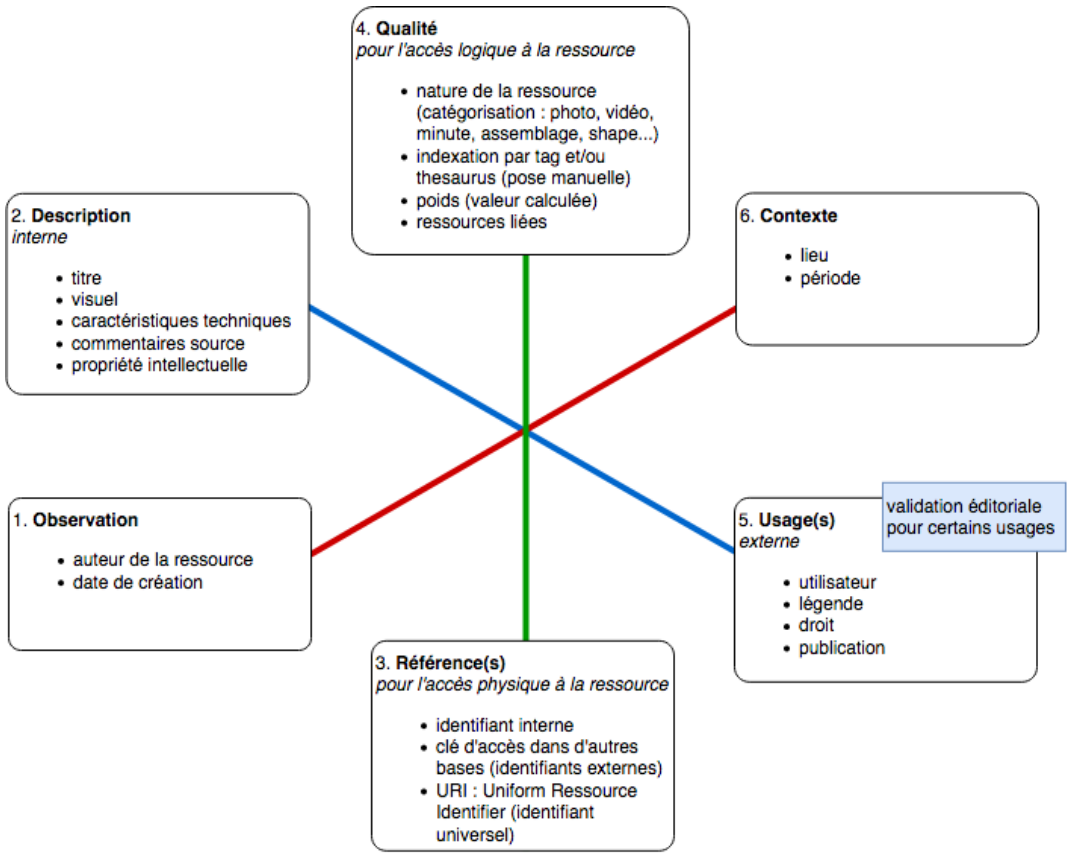
publics », en identifiant et caractérisant les différents livrables, les tâches associées, dont celles reliées aux autres projets, infrastructure, collecte, médiation. Au cours de trois séries d'ateliers participatifs (de novembre 2018 à mars 2019), avec plusieurs groupes de travail, nous avons ainsi produit un document collaboratif présenté comme un DopA, *Document pour l'Action* (Zacklad, 2005). Ce document a recueilli la production des ateliers au cours desquels nous avons présenté et utilisé R3 et R4. Il a servi de référentiel, incluant des cartographies des processus qui se sont appuyées sur la typologie des *graines d'information*, utilisant des *post-it* de 4 couleurs pour représenter les graines. Cette méthode a permis une structuration rigoureuse des productions pour chacun des ateliers et une interopérabilité entre les productions de ces différents ateliers. La photo P6 montre le résultat final.

P6 — Bibracte, ensemble des planches réalisées en février 2019



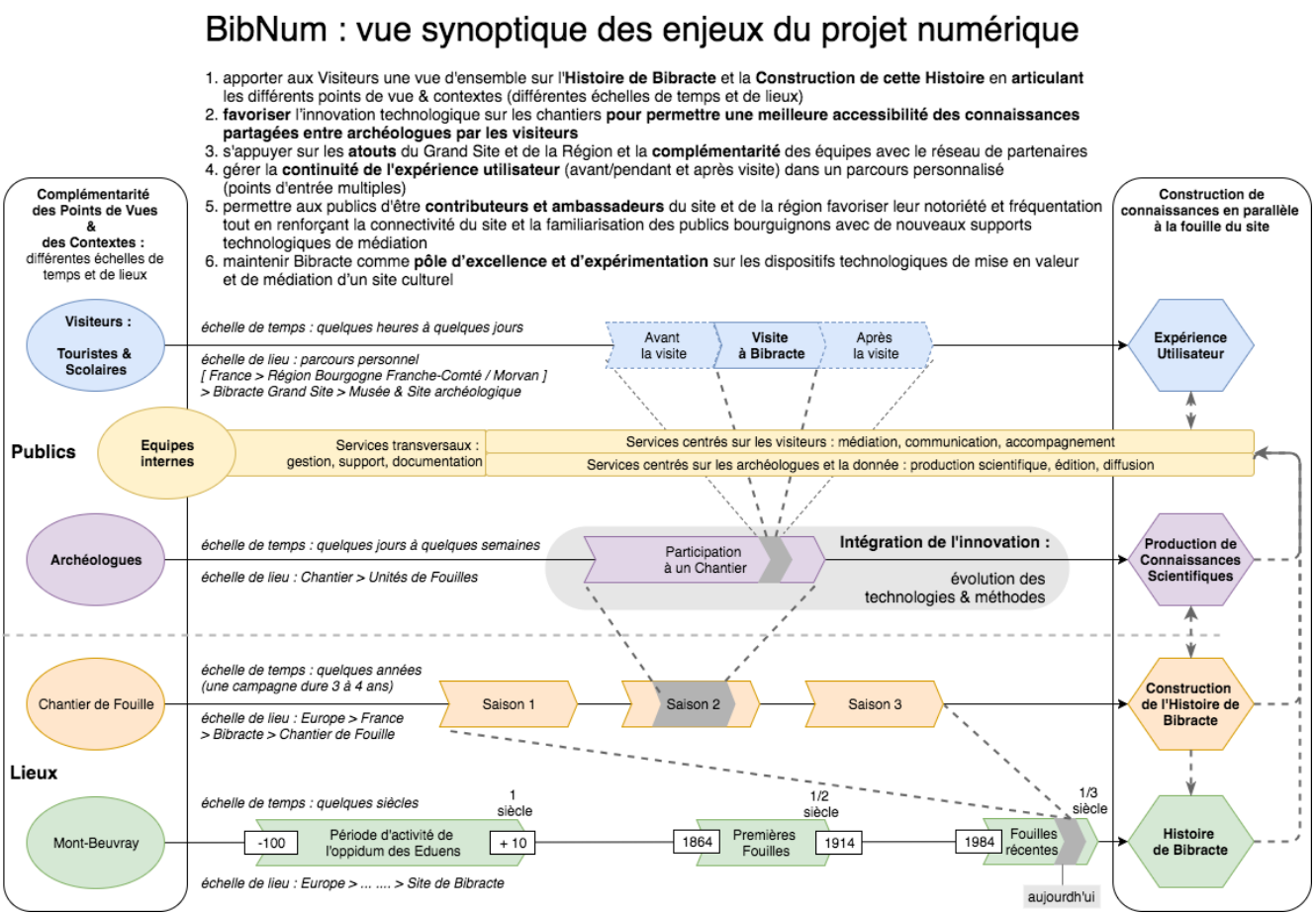
Dans un de ces ateliers, centré sur l'évolution de la photothèque, l'application de R3 (cf. schéma S3) a ouvert de nouvelles perspectives d'usages, comme l'ont reconnu avec intérêt les participants.

S3 — Modèle logique de données pour les ressources graphiques



Un deuxième exemple concerne la production de documents de synthèse comme une vue synoptique des enjeux du projet, ou l'analyse du contexte de médiation numérique. Le premier document — cf. schéma S4 — s'appuie sur le modèle des *graines d'information* pour traduire la diversité des *acteurs*, *rôles*, *ressources*, et l'emboîtement de leurs contextes, temporalités et localisation. Le second document fait de même — cf. schéma S5. Centré sur les dispositifs techniques de médiation (les *ressources*), il croise plusieurs axes d'analyse, répartition, dimension et nature — matérielle et informationnelle — du double point de vue du visiteur et de Bibracte (*acteur* et *groupe*). Précisons que le code couleur de ces différentes illustrations est propre au projet sans chercher à respecter celui que nous avons formalisé et fait évoluer postérieurement à ces exemples.

S4 — Vue synoptique des enjeux du projet numérique avec R3

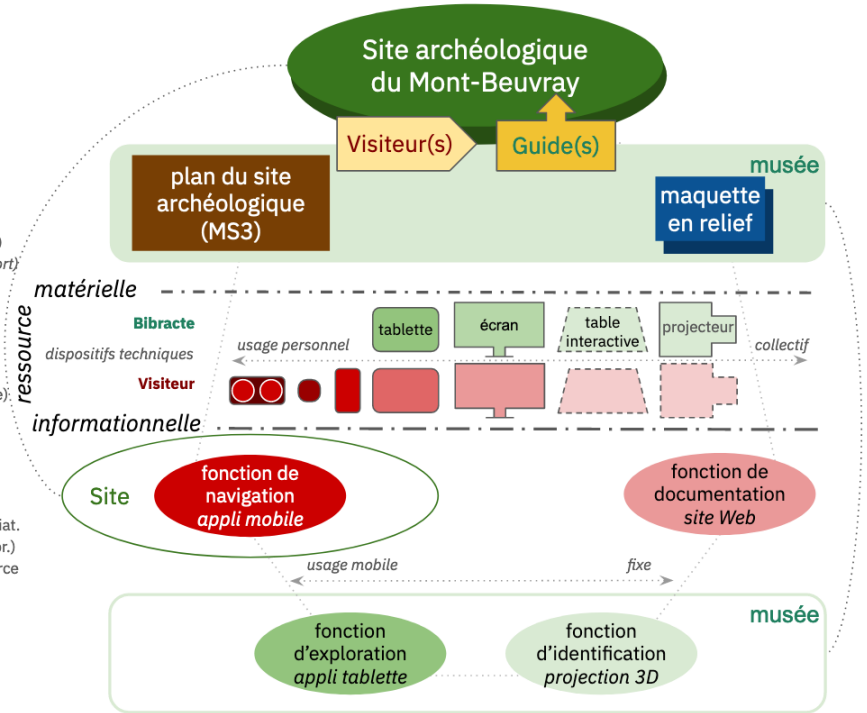


S5 — Analyse du contexte de médiation numérique avec R3

Analyse du contexte

Selon les 3 axes :

- X, existentiel => dimensions spatiales
  - P D Proche, Distant / Bibracte
  - E I Extérieur, Intérieur
  - F M Fixe, Mobile / Visiteur
  - 2d 3d Dimension / représentation (support)
  - *rapport surf. phys. num. / représentation (support)*
    - e1 terrain
    - e2 plan 20 m² (4mx5m)
    - e3 maquette
    - e4 grand écran 30"
    - e5 petit écran (100 cm²)
- Y, opérationnel => dimensions temporelles (rythme, suite)
  - Q S Rapide, Lent / Visiteur
  - B N A Avant, Pendant, Après / Bibracte
- Z, architectural => dimensions organisationnelles
  - U G Personnel, Groupe / Bibracte
  - A S Acteur, Spectateur / Visiteur
  - H T Humaine, Technique / dispositif médiat.
  - B V Bibracte, Visiteur / équipement (propr.)
  - R N matérielle, informationnelle / ressource
  - *modes / représentation (contenu) :*
    - d1 narration
    - d2 visuel
    - d3 image + narration
    - d4 volume + narration

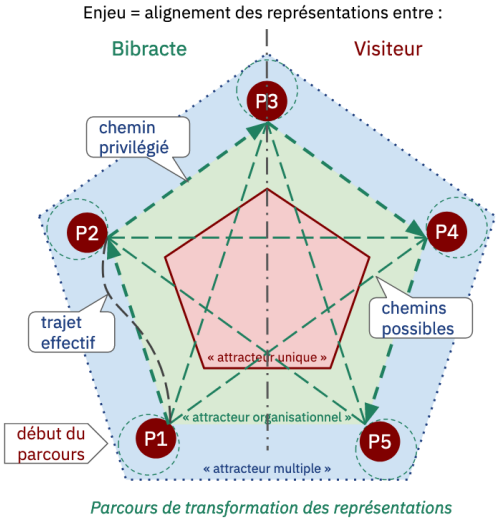


Précisons également que l'analyse de la dimension temporelle est particulièrement complexe en archéologie car les temps sont multiples, construits sous forme d'hypothèses relationnelles, en s'appuyant sur des méthodes d'investigation variées comme la datation au Carbone 14 ou la dendrochronologie (à partir des cernes des arbres). « *Il n'existe pas pour les archéologues de conception unique du temps, qui serait un socle commun pour la discipline. Le temps archéologique est une construction hétérogène qui mobilise plusieurs sortes de temps : temps stratigraphique de la formation d'un site, temps fonctionnel des étapes de production et d'utilisation des objets, temps sériel et statistique de l'évolution supposée des traits culturels, temps calendaire mesuré des « datations », jusqu'au temps « synthétique » des grandes divisions chrono-culturelles. »* (Desachy, 2018:79). La dimension spatiale est également multiple, s'inscrivant dans différentes échelles, du fragment prélevé à la carte européenne des oppida. Elle concerne autant les positionnements que les mouvements, appliqués aux objets, terrains et même acteurs. Cette double complexité n'a pu mettre en défaut notre modélisation de l'information, désormais reliée aux principes génériques de transformation des organisations. Nous avons été en mesure d'appréhender ces dimensions tant dans les représentations des espaces externes, objectifs et partagés, que celles des espaces internes, subjectifs et personnels.

Dans le troisième exemple, nous avons utilisé R3 pour valider la pertinence de la nouvelle architecture des serveurs de fichiers. Ce chantier entamé suite à des recommandations d'une mission antérieure, a été finalisé au premier semestre 2020. L'usage de l'instrument d'observation en mode heuristique a permis de vérifier la cohérence des arborescences et la pertinence de la nomenclature, en s'assurant d'un non recoupement. Ces résultats ont été validés par les participants des différents pôles. Quant à l'usage de l'outil R5, la *méthode d'analyse* a été mise en œuvre dans le cadre de réflexions sur le parcours de médiation, en réponse à deux objectifs complémentaires : d'une part, identifier et qualifier des « points de bifurcation » afin de faciliter l'organisation et la navigation dans le « réseau d'information » de Bibracte, sur support physique et sous forme numérique, et

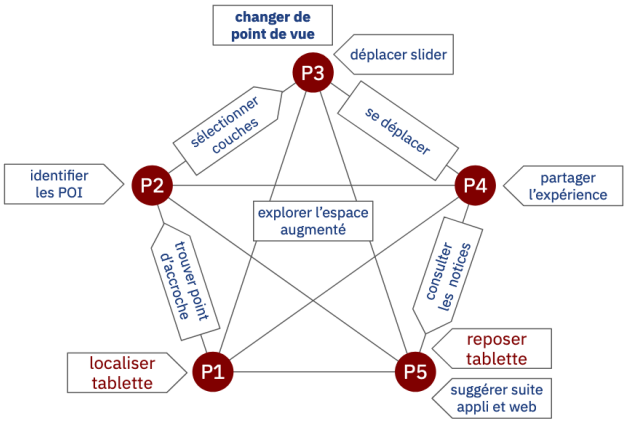
d'autre part, faciliter le parcours de transformation des représentations, c'est-à-dire la construction de connaissances à partir de l'organisation de l'information. Nous en avons envisagé trois usages possibles : 1) l'identification du parcours de transformation, en suivant l'ordre logique des étapes des points de bifurcation, 2) la construction de parcours, libre en fonction du visiteur, ou supervisé avec guidage par profil, thème, points incontournables 3) la mesure du retour d'expérience utilisateur. L'enjeu est d'obtenir un alignement des représentations entre Bibracte et le visiteur.

Un autre usage de R5 s'est focalisé sur l'analyse des actions dans l'interface utilisateur d'un dispositif de médiation. Le schéma S6 présente les graphes de ces deux usages.



Parcours de transformation des représentations

S6 — Deux usages de R5 en médiation



Le repérage et la navigation dans les contenus est en effet un point critique car les données archéologiques sont multiples et diversifiées. Les plus anciens documents traités à Bibracte sont les plans et carnets de fouille des archéologues du XIXe siècle, Bulliot et Déchelette, qui ont redécouvert Bibracte, capitale éduenne enfouie sous la forêt. Bibracte mène ainsi de front des projets de numérisation de fonds anciens, de constitution de Thésaurus, et de maquettage en 3D. Dérivé des appels à projets, opportunités de développement, le calendrier de ces chantiers impose le rythme de la transformation de l'organisation. Nous nous efforçons d'identifier et

évaluer les tensions et pressions, liées à cette nouvelle organisation de l'information, pour s'assurer qu'elles agissent dans la direction souhaitée, inclusive et pérenne.

3.2.2.2. Transformation de l'Organisation

Les points de vigilance dans la transformation de l'organisation sont multiples et de différents niveaux. La cohérence des investissements est prioritaire. Nous exerçons une vigilance particulière sur la répartition entre l'humain et la technologie, ainsi qu'aux fonctions que peut apporter une informatisation avancée.

Pour le premier point, ce n'est pas le remplacement de l'archéologue qui est à craindre, la probabilité étant très faible de 0.0077[269] (Frey et Osborne, 2013:269). En revanche, le coût croissant des équipements numériques impacte le ratio investissement dans la technologie sur investissement dans l'humain. Cela conduit à une recherche de mutualisation donc au développement du réseau de partenaires. Cette pratique est courante en archéologie[270] et conduit au besoin d'interopérabilité des systèmes d'information. Elle est par ailleurs favorisée par les directives européennes puisqu'à partir de 2020, les projets financés par l'Europe doivent produire des données FAIR (*Findable Accessible Interoperable Reusable*).

Concernant les services apportés par l'informatique, celui d'automatiser n'est pas prioritaire du fait de la diversité des cas à traiter. En revanche, ceux de relier, des données toujours plus nombreuses, et de simuler, afin de tester des hypothèses, sont centraux. Centrés sur ces besoins, nos résultats de recherche pourraient donc trouver prochainement un terrain d'expérimentation élargi.

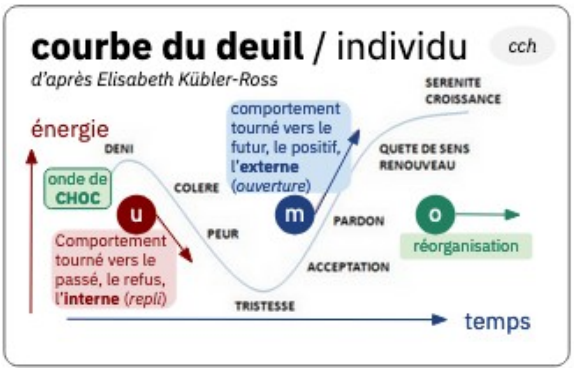
En attendant, nous restons attentif aux effets de la **courbe du changement**, que nous avions initialement présentée et qui illustre l'inévitable phase de perturbations induite par l'arrivée d'un nouveau projet : à l'activité courante s'ajoute de nouvelles tâches qui perturbent les procédures et routines existantes. Nous interprétons désormais cette courbe sous l'influence des attracteurs de transformation, comme

269. '0' (not computerisable) or '1' (computerisable),
270. Service public pour lequel la concurrence présente plus d'inconvénients que d'avantages

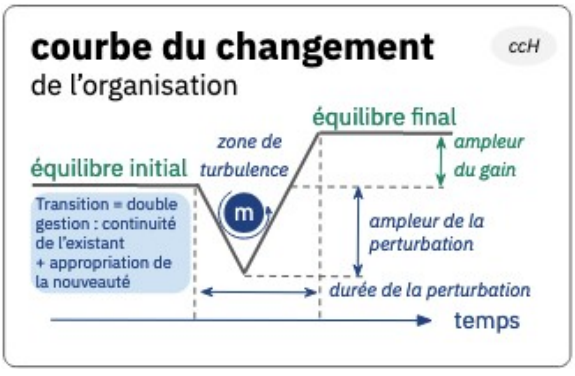
présenté dans l'encadré E40.

E40 — Courbe du deuil et courbe du changement

La *courbe du changement* évoque la **courbe du deuil** (Kübler-Ross, 1969). Elle se différencie cependant sur deux points. La courbe du deuil s'applique à l'individu et concerne un événement non souhaité. La courbe du changement s'applique au groupe, niveau macro de l'organisation. Le changement peut très bien être souhaité, et même générer de l'enthousiasme. Dans ce cas, le sujet n'est pas confronté à un choc et aux phases de déni, colère et peur qui l'accompagnent, mais simplement à une charge supplémentaire induite par le nouveau projet porteur d'inévitables imprévus. Cette charge s'ajoute à la charge courante de gestion de l'existant, avec laquelle elle peut entrer en contradiction, nécessitant une double gestion. Cette période de turbulences est de durée et d'ampleur variable. Une progression incrémentale par petits pas limite les effets déstabilisants. Par expérience, nous avons constaté qu'au démarrage d'un nouveau projet souhaité, l'enthousiasme induit un *biais d'optimisme* accompagné d'un biais cognitif, *le besoin d'agir vite*. Nous recommandons ainsi d'accommoder les emplois du temps pour prendre en compte les surcharges liées à tout nouveau projet. Les cartes [*cch*] et [*ccH*] illustrent ces deux courbes.



C224 — [cch] — courbe du deuil



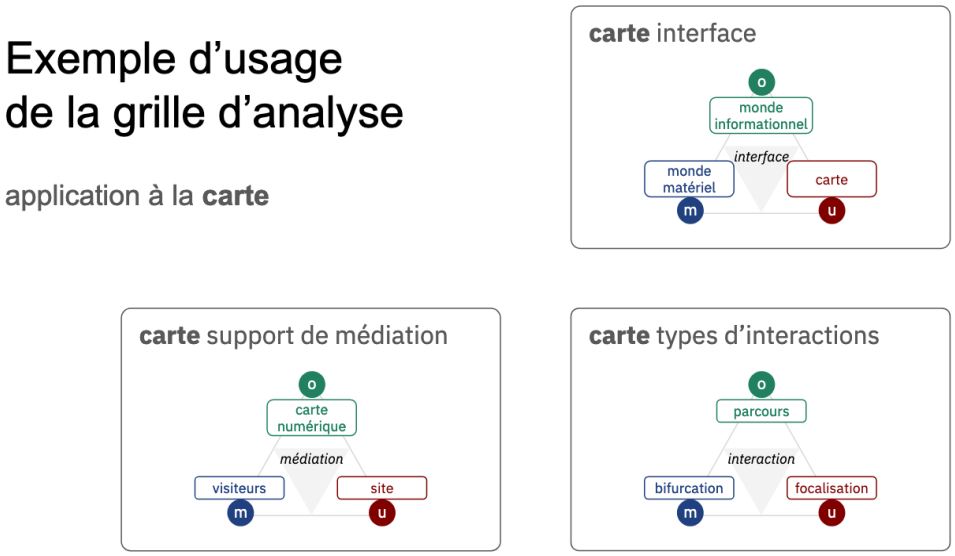
C225 — [ccH] — courbe du changement

On remarquera que leur forme évoque celle de l'onde de choc. Sur la courbe du deuil, l'attracteur unique modélise un repli interne, le multiple traduit une ré-ouverture sur l'extérieur, l'attracteur organisationnel conduit vers un nouvel

équilibre. Sur la courbe du changement, l'attracteur multiple est le seul représenté. Il a un effet inverse, traduisant l'augmentation de la charge, source de dispersion. Il est alors nécessaire de rester centré sur l'objectif initial du changement, pour trouver, aidé de l'attracteur organisationnel, le nouvel équilibre.

Les différents exemples abordés illustrent des usages ponctuels. Les travaux de fond sur l'organisation de l'information sont progressifs, la transformation s'effectuant dans le cadre de contraintes tant externes que internes. Nos résultats de recherche sont donc transmis progressivement, mais sous forme de plus en plus explicite. Fin juillet 2020, nous avons ainsi transmis un document d'information, production hors contrat réalisée sur notre temps de recherche, suite à des échanges sur l'usage de la cartographie numérique. Illustré de quelques exemples applicatifs présentées sous formes de cartes (cf. schéma S7), ce support résume explicitement les six représentations de la modélisation de la transformation des organisations. Il a pour objectif d'ouvrir des possibles dans le champ des transformations.

S7 — Extrait d'un support transmis en juillet 2020



Nous introduisons à présent un troisième projet, plus récent, qui trouve une application directe et immédiate de nos résultats de recherche.

3.2.3. Expérimentation à la MDA

3.2.3.0. Présentation générale du projet

La présentation de ce 3e cas sera plus succincte car ce projet d'accompagnement est en démarrage. Il est néanmoins significatif car il s'appuie entièrement sur nos résultats de recherche dès le démarrage du projet. Ainsi, il présente l'opportunité de mettre en place une gestion de projet et de co-construire des méthodes qui s'appuient sur la boucle OitO (R0) et font usage de l'instrument d'observation (R3), du langage de description (R4) et de la méthode d'analyse des transformations (R5). Par rapport au cadre de notre recherche, nous considérons que ce troisième projet est centré sur l'*organisation de la transformation* pour la raison présentée ci-après. Comme les deux précédents, nous le pilotons par l'*organisation de l'information*. La *transformation de l'organisation* induite est observée avec attention afin que la transformation soit d'une part inclusive, d'autre part ne décentre pas l'association de son projet social (Moine et Eynaud, 2019). Ce point a été partagé dès le départ du projet avec la présentation d'une part d'une *courbe du changement*, d'autre part de « *l'organisation vue comme flux et transformation* » comme évoqué précédemment (cf. § 1.3.5.).

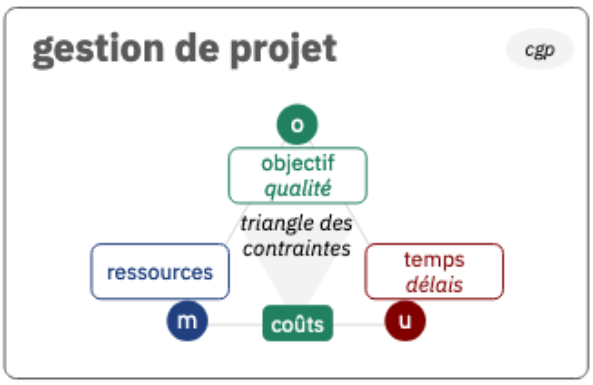
Le projet consiste à accompagner une MDA, Maison des Adolescents[271], dans sa transformation numérique. Créée en 1993 à l'initiative de professionnels locaux du secteur social, médico-social et de l'insertion, la MDA est titulaire de l'agrément Maison des Adolescents qui lui a été délivré en 2009 par le ministère de la santé. L'organisation est en réseau, à deux niveaux : interne, en fédérant des *professionnels des domaines sanitaire, médico-social, social, éducatif ou judiciaire intervenant dans le champ de l'adolescence*[272], et externe, par ses relations avec l'Association Nationale des Maisons des Adolescents (ANMDA)[273]. L'objectif général

271. « *Les Maisons des adolescents (MDA) sont en France des structures d'accueil et de soins destinées aux adolescents, qui se développent depuis la Conférence sur la famille de 2004. Les MDA accueillent les 11- 25 ans ainsi que leurs familles pour apporter une réponse aux souffrances liées à l'adolescence (décrochage scolaire, questionnement lié à la sexualité, aux addictions…).* » source Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Maison_des_adolescents

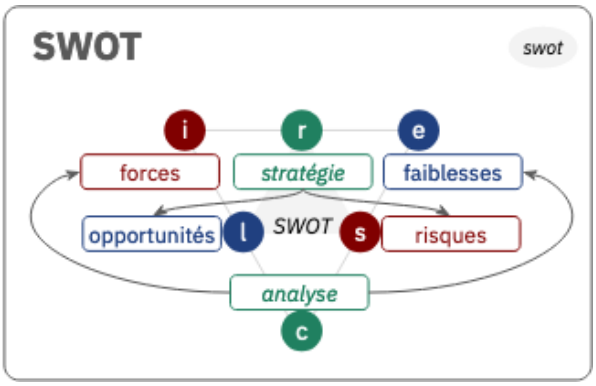
272. Extrait du document de présentation de l'association

273. La MDA accompagnée est membre de la commission éthique au niveau fédéral.

est la montée en compétence des membres et partenaires de l'association dans le domaine du numérique via une assistance dans la mise en place de méthodes et d'outils adaptés et pérennes. Le cadre d'intervention est délimité par le budget, fixé pour une première période de six mois à une journée d'intervention par mois sous la forme d'ateliers participatifs, et d'un aménagement des emplois du temps des pilotes des projets en interne. La transformation est envisagée sur le mode de l'énaction. Le triangle des contraintes de la gestion de projet — coût, délai, qualité — est par conséquent reconnu comme ajustable. Nous constatons que dans cette structure, le changement constitue un état permanent, et qu'il est négocié, d'après la matrice de typologie du changement (Autissier et al., 2013). Cette mission de recherche-intervention présente donc l'opportunité de co-construire un cadre de suivi et d'analyse de la transformation de l'organisation en nous appuyant pleinement sur le concept de *graine d'information* pour organiser l'information et donc transformer l'organisation. Le fonctionnement dans la logique du tiers-inclus nous amène à prendre en compte, parallèlement à nos outils, plusieurs autres méthodes et outils, en fonction des besoins. Nous transmettons ces clés au client, les traduisant en parallèle dans notre référentiel. A titre d'exemple les cartes [*cgp*] et [*swot*], qui traduisent les contraintes de la gestion de projet et le modèle SWOT également dit de Harvard, ont été partagées lors de la réunion de démarrage du projet.



C226 — [cgp] — gestion de projet



C227 — [swot] — matrice SWOT

3.2.3.1. Organisation de l'information au démarrage du projet

L'organisation de l'information poursuit deux objectifs : le premier est bien sûr

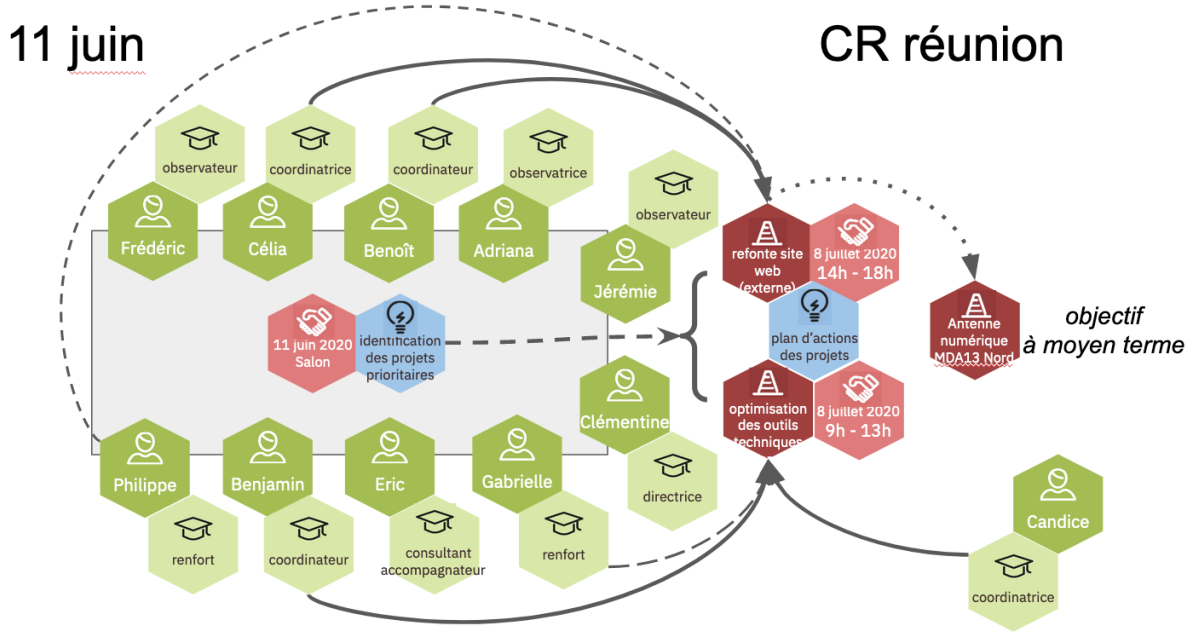
centré sur les besoins et attentes du client. Le second est de structurer la mission pour obtenir des indicateurs de transformation. Nous utilisons le même *langage de description* pour y répondre, assurant une économie globale du projet : création d'un minimum de *graines d'information* et gestion des graines pertinentes en contexte. Dans un premier temps le tableau de bord utilisé est un simple tableur partagé, chaque ligne représentant une graine. Les onglets sont réorganisés à façon, en fonction de l'avancement du projet. Des représentations graphiques sont générées en fonction des besoins. Nous exploitons également notre base de cartes pour transmettre les différents concepts au fil des échanges, en fonction des cas rencontrés. La base est enrichie en retour, suite aux interactions. Le tableau T45, récapitulatif des rencontres et événements clés, illustre un usage des *graines d'information* avec notre codage dont nous précisons la signification dans la troisième colonne. Le codage est minimaliste, les attributs des graines ne sont pas représentés. Ce tableau sert d'aide-mémoire et n'a pas été présenté aux participants, contrairement au schéma S8 qui expose une version illustrée de l'usage des graines, synthèse du premier atelier. En construisant le tableau récapitulatif, nous avons par ailleurs pu identifier les cinq points de bifurcation (R5) qui ont conduit à la relation de confiance et au démarrage du projet, d'après notre point de vue[274]. La succession d'événements qui ont conduit au projet se résume ainsi : ße) octobre 2017, présentation des *graines d'information* à l'un des futurs animateurs, ßr) octobre 2019[275], mise en relation avec la directrice à la recherche d'un accompagnement à la transformation numérique de l'association, par cet animateur, récent dans la structure, ßv) février 2020, prise de RV, reporté de mars à mai suite à la pandémie du Covid-19, ßi) mai 2020, première rencontre de présentation de la méthodologie à l'équipe de direction, ßc) juin 2020 signature du contrat : démarrage de la mission au rythme d'une journée en présentiel par mois.

274. D'autres points de vue seraient celui de la directrice ou de l'animateur qui nous a mis en relation
275. Deux ans se sont écoulés entre la première rencontre et la demande d'une proposition, avec des contacts intermédiaires d'échanges d'information sur les graines en avril, juin et juillet 2018 par mail

T45 — Récapitulatif des premières rencontres

Date	*Codage*	*Signification*
2017-10 **ße**	œ1:BBA—œ2:GI	Benoît B....A assiste à une présentation des graines d'informations
2019-10 **ßr**	œ6:MDA—œ9:besoin— œ4:proposition—œ1:ELE	Expression du besoin de la MDA auquel répond Eric L...E avec une proposition d'accompagnement
2020-03 **ßv**	œ2:MDA0	Premier RV (reporté en mai suite à la pandémie)
2020-05 **ßi**	œ2:Présent—œ6:MDA— œ9:alignement—œ1:ELE œ6:MDA—œ3:contrat— œ1:ELE	Réunion d'alignement (avant-vente) : présentation des besoins du client et de la méthodologie du consultant
2020-06 **ßc**	œ2:ATE1—œ5:Gestion œ2:ATE1—œ5:Web #œ1—œ7:pilote—œ5 —œ7:copilote—œ1	Signature du contrat Atelier 1, définition de deux projets prioritaires, de gestion des outils internes et du site Web (externe) Pattern : identifier un pilote et un co-pilote sur chaque projet
2020-07	œ2:ATE2.1—œ5:Gestion œ2:ATE2.1—œ5:Inclusion œ2:ATE2.1—œ5:Mediatek œ2:ATE2.2—œ5:Web #œ6:partenaires@œ5:Web	Deux ateliers 2 (2 groupes), lancement de deux autres projets (transversaux) lors du premier atelier Pattern : intégrer les partenaires dans le projet Web
2020-09	œ2:ATE3—œ5:Gestion—... œ2:ATE3—œ5:Web—... œ2:ATE3—œ5:Inclusion—... œ2:ATE3—œ5:Mediatek—...	Atelier 3, revue des 4 projets en cours Pattern : identification des tensions et gestion des risques
2020-10	œ2:ATE4—... (màj)	Atelier 4, revue des 4 projets en cours Pattern : spatialiser l'information
2020-11	œ2:ATE5—... (màj)	Atelier 5, revue des 4 projets en cours Pattern : le point (lieu, moment, attention, intérêt, bifurcation)
2020-12	œ2:ATE6—... (màj)	Atelier 6, revue des 4 projets en cours Pattern : se servir des « écarts »

S8 — Compte-rendu du premier atelier



Ce tableau et ce schéma appellent quatre remarques. Premièrement, ces portions de graphes, qui portent uniquement l'information essentielle, sont connectables si nécessaire, pour constituer une base de connaissance à structure de graphe dont les nœuds sont directement compréhensibles et manipulables par l'humain. Deuxièmement, la visualisation illustre l'intérêt d'une spatialisation de l'information. Cette thématique a par ailleurs été abordée lors de l'atelier n°4. Le positionnement des pastilles qui représentent les participants autour de la table (rectangle gris) facilite la mémorisation des noms. Une personne absente est même intégrée dans le schéma, en bas à droite. Troisièmement, l'usage d'une application informatique n'est pas obligatoire. Par exemple, il est possible de générer l'illustration du compte-rendu du premier atelier directement sur un panneau d'information à partir d'éléments magnétiques, pour le rendre visible à tous, en continu, sans dispositif numérique[276]. Rappelons que l'information numérisée nécessite l'usage d'un support de restitution, comme l'écran, support unique de surface limitée autorisant l'affichage de multiples documents. Ne pouvant donc afficher simultanément qu'un nombre limité d'informations, l'écran questionne la hiérarchie spatiale et temporelle de l'affichage dans l'espace physique. Cette limite de la taille des écrans est initialement liée au coût de production. Leur réduction conduit à une multiplication

276. Un prototype est à l'étude

des dispositifs créant un environnement pervasif comme l'a présenté l'entrepreneur Rafi Haladjian (2010) dans une conférence sur *L'internet des objets*[277]. Ce point a été partagé avec le groupe et a conduit au lancement d'un projet spécifique, nous le détaillons donc dans l'encadré E41. Quatrièmement, nous introduisons lors de chaque nouvel atelier un *pattern*, bonne pratique issue de nos recherches, en adéquation avec l'évolution du projet.

Avec le numérique cette dynamique de fragmentation[278], en œuvre à la fois dans le temps et l'espace, ne facilite pas le développement des usages collaboratifs comme souhaité sur ce projet. On notera que l'usage des afficheurs numériques de grand format — panneau d'affichage par leds, tables tactiles numériques ou tableaux numériques interactifs — reste généralement limité à des usages de promotion, avec une approche d'influence descendante (*top-down*), par exemple pour diffuser des publicités dynamiques ou des cours magistraux, en simple réponse à la sensibilité naturelle des organismes vivants, donc de l'humain, aux phénomènes saillants. De même, le manque de systèmes d'exploitation adaptés à ces supports de grand format, prenant en compte les interactions gestuelles et tactiles multi-touches, est également un frein aux pratiques numériques collectives. C'est pourquoi celles-ci restent encore souvent limitées au simple partage de documents bureautiques.

Pour pallier ces limites, il est néanmoins envisageable de concevoir dès à présent un système d'information ouvert qui englobe l'affichage mural, dont la dynamique peut être générée ou simulée manuellement, sous réserve d'un rythme d'actualisation suffisamment faible. Cette réflexion est à la source d'un projet spécifique de communication sur le projet général de transformation numérique. Son intérêt est d'aborder la réduction de la fracture numérique sans numérique, ce qui est un atout pour s'adresser aux réticents du numérique, dont la contribution est par ailleurs riche d'enseignement, du fait de leur plus forte sensibilité aux manques des systèmes numériques ou aux dysfonctionnements qu'ils induisent.

277. Conférence TEDxParis 2011 : https://youtu.be/T68CLqAIAdg
278. Cf. le concept de *bombe à fragmentation* de Bachimont, vu précédemment

E41 — Evolution des objets techniques

L'évolution parallèle à la multiplication des objets techniques dans un environnement **pervasif** (du latin "*pervadere*" pour "*s'insinuer, se propager, s'étendre, envahir…*") est illustrée par trois exemples de fonctionnalités qu'ils apportent : l'heure, la musique et le calcul. Le tableau T46 complète le tableau initial de Rafi Haladjian par des critères associés : coût, analyse de critères associés aux objets, afin de montrer son inscription dans notre logique de représentation des transformations.

T46 — Illustration de l'environnement pervasif

partie 1 exemples illustrés par Rafi Haladjian					
objets	*un / multiple*	*un / quelques*	*personnel*	*massif*	*pervasif*
heure (temps)	horloge de clocher	pendule	montre gousset	montre bracelet	four, cafetière, téléphone…
musique (son)	salle de concert	gramophone	Walkman, Sony	iPod, Apple	peluche, téléphone, liseuse
calcul	ordinateur (Eniac…)	mini-ordinateur station de travail	micro-ordinateur portable	smartphone	balance, jouet
partie 2 : critères associés aux objets techniques					
coût de l'objet	élevé	niveaux intermédiaires			faible
répartition spatiale	rareté	niveaux intermédiaires			abondance
accès temporel	limité	niveaux intermédiaires			permanent
intégration dans l'env.	au niveau macro, H		au niveau méso, h		au niveau micro, µ
usage centré sur	communauté collectif d'individus	foyer	individu		environnement de l'individu
gestion associée	schéma d'organisation		graine d'information	data gérées par algorithmes	

Nous relevons effectivement un double mouvement antagoniste. D'une part, une

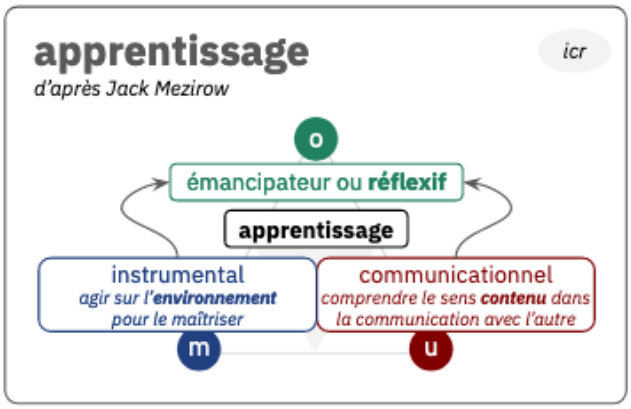
dilution des objets et des contenus en parallèle à la croissance des réseaux de transport et de communication, qui conduit au développement d'un nouvel espace, numérique, le cyberespace. D'autre part une concentration autour des individus, avec une répartition non homogène de ces ressources qui a pour effet une augmentation des inégalités. Ce phénomène de multiplication d'*objets techniques*[279] d'abord pour le foyer puis l'individu (voiture, ordinateur…), devenant biens privés, semble s'effectuer au détriment de développement d'outils et de pratiques collectives. Le collectif est traité au sein de systèmes et d'institutions, souvent avec des finalités régulatoires, en s'appuyant sur la standardisation et le contrôle[280]. Ce mouvement paraît en effet échapper à l'individu, conduisant insidieusement au développement de technologies centrées sur la surveillance et la régulation des flux, et par ricochet des individus. Il apparaît donc pertinent de sortir d'une logique binaire opposant l'individu au collectif, et de prendre en compte celle du tiers-inclus, déplaçant le point focal de la *data* vers la *graine d'information*, et les schémas d'organisation de ces graines pour une gestion collective.

279. Cf. Simondon, *du mode d'existence des objets techniques*
280. Cf. Foucault, *surveiller et punir*

3.2.3.2. Premier bilan

Cette mission de recherche-intervention ne faisant que commencer, il est ambitieux de vouloir dresser un premier bilan. Nous avons pu néanmoins constater dès la troisième rencontre des retours significatifs et encourageants de la part des participants, comme l'identification de la relation entre la *boucle OitO* et la *courbe du changement*, présentés lors de la première rencontre. Cette remontée illustre un apprentissage émancipateur ou réflexif, qui dépasse l'apprentissage instrumental et communicationnel de Jack Mezirow, précédemment évoqué.

La carte [*icr*] illustre cet apprentissage dans la grille de transformation. Les prémisses d'une transformation de l'organisation, de l'intérieur et en profondeur, semblent également repérables dès à présent. La transformation numérique appelle le déploiement d'un ensemble de projets. La difficulté est de fixer les priorités et d'évaluer leurs interdépendances. Si les deux premiers projets identifiés pouvaient apparaître évidents, centrés sur les outils internes de gestion et externe de communication, nous avons néanmoins pu constater l'appropriation de deux premiers patterns (mentionnées dans le tableau T45 § 3.2.3.1). De même, l'émergence de deux nouveaux projets centraux lors du deuxième atelier est le signe d'une transformation en profondeur. Des rôles se sont redistribués dans le respect des bonnes pratiques. Signalons pour conclure que nous avons mis en place des indicateurs pour suivre l'acquisition des fondamentaux et leur diffusion progressive, des pilotes et copilotes des projets vers l'ensemble du personnel et des parties prenantes, professionnels, jeunes, familles et partenaires.



C228 — [icr] — apprentissage

3.2.4. Autres évaluations

Pour conclure cette partie sur la validation expérimentale, nous mentionnons deux présentations de nos résultats de recherche, formant le contexte d'une validation de type *guérilla* en reprenant la terminologie de Carine Lallemand (2018). Nous mentionnons également deux approches qui nous ont permis de raffiner les représentations, l'une que nous pourrions qualifier de procédurale et incrémentale, et l'autre d'algorithmique et exploratoire.

3.2.4.1. Rencontres Moustic (juin 2019)

La méthode d'analyse R5 issue du projet P1 a été présentée au Rencontres MOUSTIC de Montpellier en juin 2019. Les Rencontres MOUSTIC – initialement Mise en œuvre des usages sociaux des TIC[281] — sont « *nées de la mise en réseau de plusieurs structures dont Montpellier Supagro* ». Elles « *ont été pensées pour tester, imaginer, apprendre, découvrir, forger, penser, inventer, expérimenter pour faire de nos outils et méthodes des briques pour améliorer nos collaborations*. »[282]

Lors d'ateliers de co-construction, nous avons ainsi présenté une évolution de la méthode des *Points de connexions* à l'aide d'un jeu de 8 cartes. En conclusion de la rencontre, les participants à l'atelier ont désigné cet outil comme l'une des *pépites de la journée*. Les cartes présentées ont été rendues disponibles en libre téléchargement sur notre site web.[283]

281. Des TIC, *Technologies de l'Information et de la Communication,* est aujourd'hui traduit par *des Technologies et de l'Intelligence Collective*
282. Cf. https://moustic.info/?HistoriquE
283. Cf. http://lacombe.eu/

3.2.4.2. Intervention BSH (nov. 2019)

Cette intervention expresse, d'une journée, était consacrée à la présentation des travaux de la thèse (en particulier des représentations R1, R2 et R4) avec une première mise en application sur une question liée à une problématique de l'organisation. Nous retenons cet exemple pour les raisons suivantes. Il a conduit à deux améliorations en relation directe avec cette intervention : le changement du référentiel de couleur entre les attracteurs unique et multiple, l'inversion de la représentation de l'organisation, la pointe en bas. Cette dernière nous a été suggérée par la responsable de la communication lorsque nous présentions l'équilibre dynamique de l'organisation. Nous avons également eu deux autres résultats notables. A l'issue de la journée, le directeur de la structure nous a suggéré de présenter ces recherches à l'*Association progrès du management* (Apm[284]), association professionnelle internationale de dirigeants francophones exerçant dans le domaine de la formation managériale. Enfin, une modélisation rapide des processus organisationnels en utilisant les *graines d'information* (représentation R4) a permis de relever en une après-midi les principales menaces et opportunités auxquelles la structure est confrontée, confirmant ainsi l'intérêt de l'usage de la logique de l'énergie et la pertinence du paradigme biologique sur lesquels nous nous sommes appuyés : une gestion incomplète du cycle de vie des logements sociaux depuis la création du dispositif oblitère aujourd'hui le modèle du logement social.

284. Cf. https://www.apm.fr/

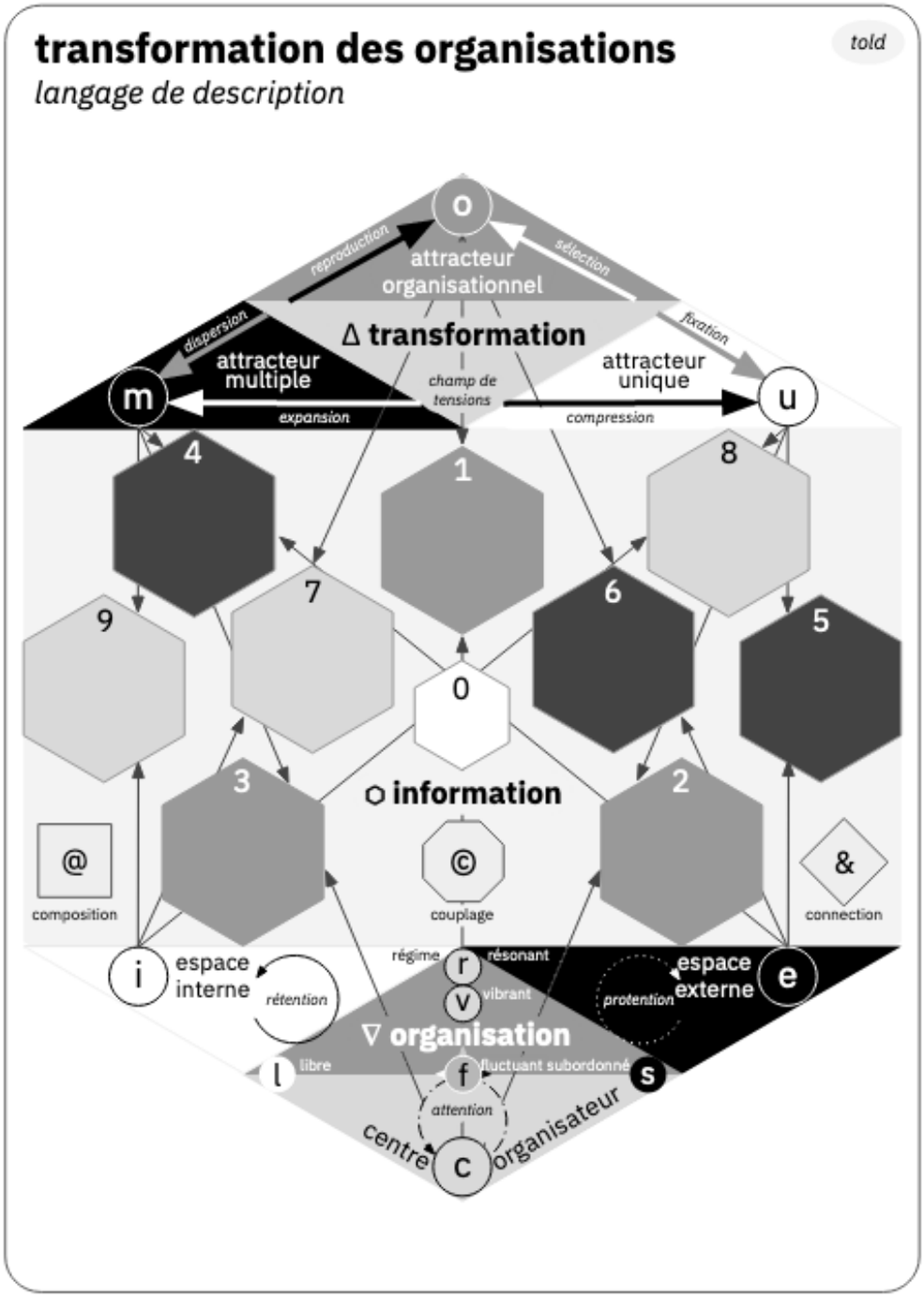
3.2.4.3. Validation procédurale itérative (continue)

Notre rapport comporte de nombreuses illustrations dont la préparation nous a permis d'affiner progressivement le design des représentations. Nous avons également produit des prototypes et maquettes de futurs matériaux pédagogiques. Ces outils nous permettent de tester la compréhension de notre modèle auprès d'un public élargi. Ainsi, nous avons conçu fin 2019 une pyramide tétraédrique, dont les 4 faces illustrent les représentations R1 à R4, invitant nos interlocuteurs à la réaliser physiquement lors des échanges. Par rapport aux précédentes présentations, nous avons ainsi pu constater, lors de l'intervention de novembre 2019, que ce passage en mode opératoire, inclusif et ludique, avait facilité la compréhension et la mémorisation des principes. L'échantillon étant réduit, l'expérimentation reste à reproduire.

Par la suite, début 2020, nous avons également projeté ces représentations sur un cube en intégrant deux faces complémentaires : notre hypothèse de départ R0, et une cinquième représentation, R5.

De même, suite à un séminaire de présentation de la logique de l'énergie au LIRMM le 5 juin 2020, nous avons synthétisé cette représentation sur un seul hexagone, qui regroupe les représentations R1 à R4, comme l'illustre la carte [*told*]. Elle est présentée en noir & blanc, dans un souci de faciliter sa reproduction sur tout type d'imprimante.

Fréquemment appliqué en design, ce processus de maquettage participe à l'obtention d'une solution *idoine*. Ce processus est à rapprocher de celui de *concrétisation de l'objet technique*, tel que identifié par Gilbert Simondon. Nous avons également poursuivi ces expérimentations en nous appuyant sur des supports de médiation interactifs, nous orientant vers une exploration algorithmique, suivant ainsi le principe de la *simulation numérique*.


transformation des organisations
langage de description
told
o
attracteur organisationnel
reproduction
sélection
Δ transformation
dispersion
attracteur multiple
champ de tensions
attracteur unique
fixation
m
expansion
compression
u
4
1
8
7
6
9
5
0
3
information
2
@
composition
©
couplage
&
connection
i
espace interne
rétention
régime
r
résonant
v
vibrant
espace externe
e
protention
∇ organisation
l
libre
f
fluctuant subordonné
s
attention
centre
c
organisateur

3.2.4.4. Vers une validation algorithmique exploratoire

En effet, pour présenter des principes de transformation et d'organisation nous nous heurtons à la rigidité des supports. Il nous a semblé pertinent d'utiliser la programmation pour illustrer les transformations. Pour cela notre cahier des charges était réduit aux termes suivants : interactivité, esthétique, interopérabilité, simplicité d'apprentissage, possibilité de simulation des processus naturels. Nous avons présélectionné trois environnements : SMA, Erlang/Elixir, Processing. Dans un premier temps, notre choix s'est tourné vers le langage **Processing**, d'accès plus immédiat, envisageant à terme un couplage avec *Arduino* ou *Raspberry*[285] que nous présentons dans l'encadré E42.

E42 — Processing, Arduino et Raspberry

Processing est un environnement de développement libre créé par deux artistes américains, Benjamin Fry et Casey Reas en 2001. C'est le « prolongement multimédia » de l'environnement de programmation graphique *Design by numbers*, développé au *Media Lab du Massachusetts Institute of Technology* par John Maeda. Utilisé pour le *Design génératif*, le fonctionnement de base s'appuie sur deux déclarations. La fonction *setup* qui initialise le dispositif, la fonction *draw* qui est une boucle d'affichage sur le ou les périphériques de sortie. La dimension temporelle est essentielle : elle permet non seulement de gérer des cycles mais également de simuler des processus génératifs. *Processing* a influencé d'autres langages, comme *Arduino*.

Arduino est un projet libre, développé par Massimo Banzi, dans un but pédagogique. Il s'agit d'un microcontrôleur qui peut être utilisé pour du prototypage rapide, comme la construction d'objets interactifs indépendants. Il peut également être connecté à un ordinateur afin de communiquer avec ses logiciels, en gérant les signaux d'entrées et sorties. Dans la même philosophie, sont disponibles des nano-ordinateurs de la taille d'une carte de crédit, destinés à encourager l'apprentissage de la programmation informatique et pouvant piloter

285. Cf. les sites https://processing.org/, https://www.arduino.cc/ et https://www.raspberrypi.org/

des dispositifs embarqués, du fait de leur faible consommation électrique.

Raspberry Pi est est un nano-ordinateur de la taille d'une carte de crédit, conçu à partir de 2006 par des professeurs du département informatique de l'Université de Cambridge, pour démocratiser l'accès à l'informatique et à la fabrication numérique (digital making). Comme sur Arduino, la plateforme est équipée d'un ensemble de ports d'entrées/sorties à usage général (GPIO) qui permettent de communiquer avec des composants électroniques et circuits externes. pour détecter des signaux, capter des données et contrôler des commandes. Son faible prix a facilité une large diffusion.

Nous avons ainsi à notre disposition, non seulement de l'équipement *hardware*, léger, peu coûteux, à basse consommation d'énergie, et répandu, mais également un ensemble d'exemples et de bibliothèques logicielles qui nous permettent de donner corps à nos idées. Nous envisageons la prolongation de ces premières recherches, et même leur extension en y associant artistes et étudiants. Dans les suites envisagées, notons la connexion à des objets réels, capteurs et effecteurs, afin d'explorer le potentiel interactif, ainsi que la connexion à des bases de données orientées graphes, afin de gérer du volume et d'identifier des patterns.

Une documentation riche[286] nous a permis de produire rapidement des premiers scripts. La réalisation, avec ses possibilités et ses obstacles, a participé à l'affinage de nos modèles de représentation, comme nous le verrons avec les exemples présentés dans l'approche abductive.

286. Citons par exemple l'ouvrage *The Nature of Code* de Daniel Shiffman (2012), consultable en ligne sur le site dédié : https://natureofcode.com/ [consulté le 2020-07-14]

3.3. Approche abductive

3.3.0. Introduction

Dans cette *approche abductive* nous avons utilisé la propriété *méta* du modèle pour illustrer deux capacités particulières : l'une, *heuristique*[287], l'autre *holistique*, Ces capacités nous ont conduit à esquisser une hypothèse sur un processus universel de transformation des organisations, que nous désignons sous l'acronyme *tao* pour *transformation adaptative des organisations*[288]. Cette hypothèse s'appuie sur différents modèles et théories, principalement en anthropologie, psychologie, sociologie et théorie des organisations, répertoriés dans le tableau T47. Elle se décline en quatre parties. Les trois premières sont corrélées à la *triade constitutive du concept d'homme* de Morin précédemment abordée.

T47 — Modèles et théories sollicités par « tao »

Hypothèse « tao » de la « transformation adaptative des organisations »	
1. l'individu	*« tao-i »*
Développement psychosocial	Pythagore; Freud; Erikson, 1998
Distance proxémique	Hall, 1978
Empan mnésique	Miller, 1956; Farrington, 2011
Nombre de Dunbar	Dunbar, 2010
2. la société	*« tao-s »*
Croissance des organisations	Greiner, 1972
3. l'espèce	*« tao-e »*
Spirale dynamique intégrale	Clark, 1970; Beck, 2005; Wilber, 2014
4. l'univers	*« tao-u »*
Théorie d'auto-organisation de l'univers	Jantsch, 1980

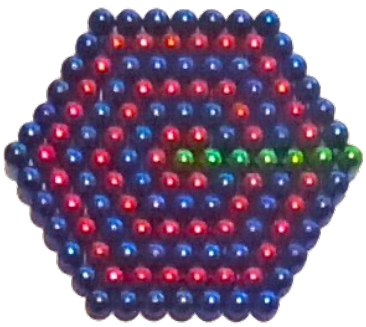
287. Qui aide à la découverte
288. Ce sigle évoque évidemment le taoïsme, non sollicité dans cette recherche mais avec lequel nous entrapercevons des corrélations, que nous laissons à l'appréciation des spécialistes.

Sont traités dans l'ordre l'individu, la société, puis l'espèce. La quatrième partie est une généralisation sur l'auto-organisation de l'univers. Nous poursuivons cette introduction, par une présentation des conditions d'émergence et du processus de développement de cette hypothèse, avant d'exposer l'hypothèse elle-même, ainsi que ses différentes déclinaisons. Nous terminons par une analyse critique et une présentation de quelques perspectives en relation directe avec cette hypothèse. Les perspectives élargies font l'objet de la quatrième et dernière partie.

3.3.0.1 Emergence de l'hypothèse

L'hypothèse *tao* est le résultat d'une « *vraie sérendipité* » (Royston, 1989). Le point de départ a été la réalisation de motifs en utilisant des billes aimantées pour représenter les relations entre des *graines d'information*. Ayant généré un pavage hexagonal, des chiffres clés ont alors retenu notre attention par leur corrélation à des âges remarquables de la vie. Signalons que le pavage hexagonal est l'un des trois pavages réguliers du plan euclidien. C'est la partition du plan en surfaces égales ayant le plus petit périmètre, qui correspond à la structure en nid d'abeilles. La forme hexagonale est par ailleurs utilisée dans une méthode de *brain-storming* (Idon, 2000). Le motif retenu utilise des billes de trois couleurs. En partant d'une bille centrale, nous générons un premier hexagone avec 6 billes; nous les entourons d'un second avec l'ajout de 12 autres, d'un troisième avec 18 supplémentaires, puis d'un quatrième, cinquième et sixième avec respectivement 24, 30 et 36 billes. Ces 6 tours consomment 126 billes, en plus de la centrale que nous ne compterons pas par la suite (numéro 0). A chaque tour les couleurs alternent. La photo P7 illustre la construction ainsi obtenue.

P7 — Pavage hexagonal avec des billes aimantées



La ligne de couleur verte marque le passage d'un hexagone à celui de taille supérieure. Avec une numérotation de 0 à 126, cette forme hexagonale correspond à la série A028896 dans *l'encyclopédie en ligne des séquences d'entier*[289]. Le groupement par paires des hexagones, en partant du centre (non compté), utilise respectivement 18 (6+12), 60 (6+12+18+24) et 126 (6+12+18+24+30+36) billes.

Nous avons constaté les corrélations suivantes : 18 correspond à l'âge de la majorité civile pour la grande majorité des pays, avec une variation de 15 à 21 ans; 60 ans correspond à l'âge d'une « personne âgée » pour l'OMS[290]; et 126 correspond approximativement à la longévité maximale de l'espèce humaine. Parmi les personnes dont la date de naissance a été vérifiée, le record est de 122 ans, détenu par la française Jeanne Calment (1875-1997).

A partir de ce premier constat, nous avons cherché à affiner la correspondance avec les âges en considérant les hexagones intermédiaires ainsi que les demi-hexagones. Du fait de l'alternance des couleurs, nous qualifions de période chaque paire d'hexagones, désignés par un code, de p1 à p3. Les hexagones sont codés de h1 à h6, et découpés en deux parties égales, que nous distinguons par les lettres a et b. Le tableau T48 présente ce découpage et les correspondances possibles avec des âges remarquables.

289. Cf. https://oeis.org/A028896
290. Cf. https://www.who.int/healthinfo/survey/ageingdefnolder/en/

T48 — Découpage des périodes par demi-spire et âges remarquables

période	*hexagone*	*âges*	*âges remarquables*
p1	h1a	0* - 3	selon deux subdivisions, 1) 0 - 18 mois : nourrisson 2) jusqu'à 3 ans : petite enfance avec l'affirmation de soi : "c'est moi", "âge du non"
	h1b	4 - 6	6 ans : "tout se joue avant six ans" (Dodson, 1970)**
	h2a	7 - 12	12 ans : début de l'adolescence
	h2b	13 - 18	18 ans : âge de la majorité civile pour la grande majorité des pays (variation de 15 à 21 ans)
p2	h3a	19 - 27	27 ans : « club des 27 »***
	h3b	28 - 36	36 ans : pleine force de l'âge, d'après une étude de Rob Anderson[291]
	h4a	37 - 48	48 ans : « crise » du milieu de vie
	h4b	49 - 60	60 ans : « personne âgée » pour l'OMS
p3	h5a	61 - 75	-****
	h5b	76 - 90	90 ans : « âge de la sagesse »
	h6a	91 - 108	-
	h6b	109 - 126	126 ans limite biologique de l'humain

Notes associées au tableau :

(*) La correspondance commence à la naissance (âge 0) La période prénatale que nous ne prenons pas en compte ici mériterait évidemment d'être étudiée puisque différents stades de développement sont considérés. Signalons simplement que l'embryogenèse humaine compte cinq grandes phases jusqu'à la formation du fœtus, à la huitième semaine : segmentation, prégastrulation, gastrulation, délimitation et organogenèse. D'autres étapes sont significatives dans le développement du fœtus : 15, 25, 38 semaines. Au terme de son développement, entre la 35e et la 19e semaine, l'ensemble des organes est fonctionnel, à l'exception des organes reproducteurs, dont le développement s'effectue

291. Cf. https://www.dailymail.co.uk/health/article-2702180/36-age-start-thinking-healthier-Death-family-warning-doctors-unflattering-photos-type-events-make-people-think-differently.html

à l'adolescence. De même, notre analyse ne considère que l'espèce humaine, mais un travail comparable mériterait d'être mené ultérieurement sur d'autres espèces, tant animales que végétales.

(**) Le type de relations affectives expérimentées durant la petite enfance conditionnent et influencent les relations à l'âge adulte mais tout n'est évidemment pas déterminé avant cet âge.

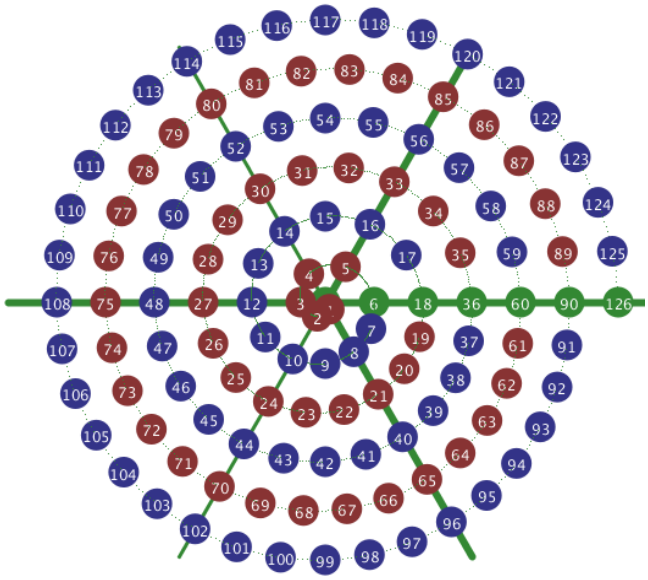
(***) Cette hypothèse concerne les musiciens qui ont eu un renommée internationale[292].

(****) Les âges de 75 et 108 ans ne sont pas particulièrement représentatifs, si ce n'est que 75 est considéré comme un âge qui justifie des programmes de santé adaptés[293] et que 108 est un nombre sacré dans plusieurs religions orientales.

Ce tableau est à la source de notre hypothèse suite à trois opérations : a) la projection des hexagones sur une spirale, b) le développement de la spirale, et c) sa projection sinusoïdale. Nous les précisons ci-après. Les graphiques ont été générée à l'aide d'un programme développé dans le langage *Processing*[294].

a) La projection des hexagones sur une spirale est illustrée par l'illustration P8.

P8 — Projection des hexagones sur la spirale « compacte »



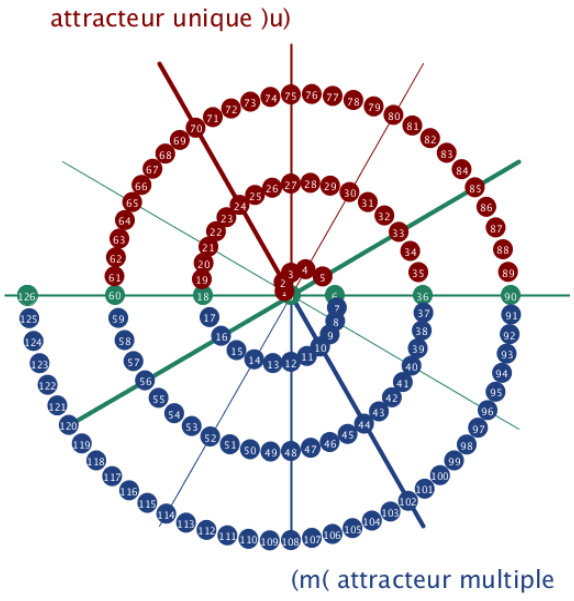
La spirale apparaît plus appropriée pour représenter la continuité des âges de la vie car elle gomme les angles de l'hexagone. Mais comme « *certaines transformations*

292. Cf. https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/visuel/2014/06/06/les-artistes-ont-ils-vraiment-plus-de-risque-de-mourir-a-27-ans_4433903_4355770.html
293. Cf. http://paerpa-centre.fr/
294. Cf. https://processing.org/ Le script est disponible en annexe.

s'effectuent par saut et non graduellement », comme le rappelle Stephen Jay Gould dans la préface de Formes et Croissance de (D'Arcy Thompson, 1994:11), nous avons cependant conservé trace des discontinuités. Elles restent visibles grâce aux axes en vert qui marquent les six côtés. Cette représentation a été générée par programme; les légères variations dans l'écartement des billes, autour des billes vertes, sont dues à l'augmentation progressive du diamètre de la spire car la répartition des âges a été uniformisée par spire et non pas sur l'ensemble des spires. Cette première spirale est qualifiée de « compacte ».

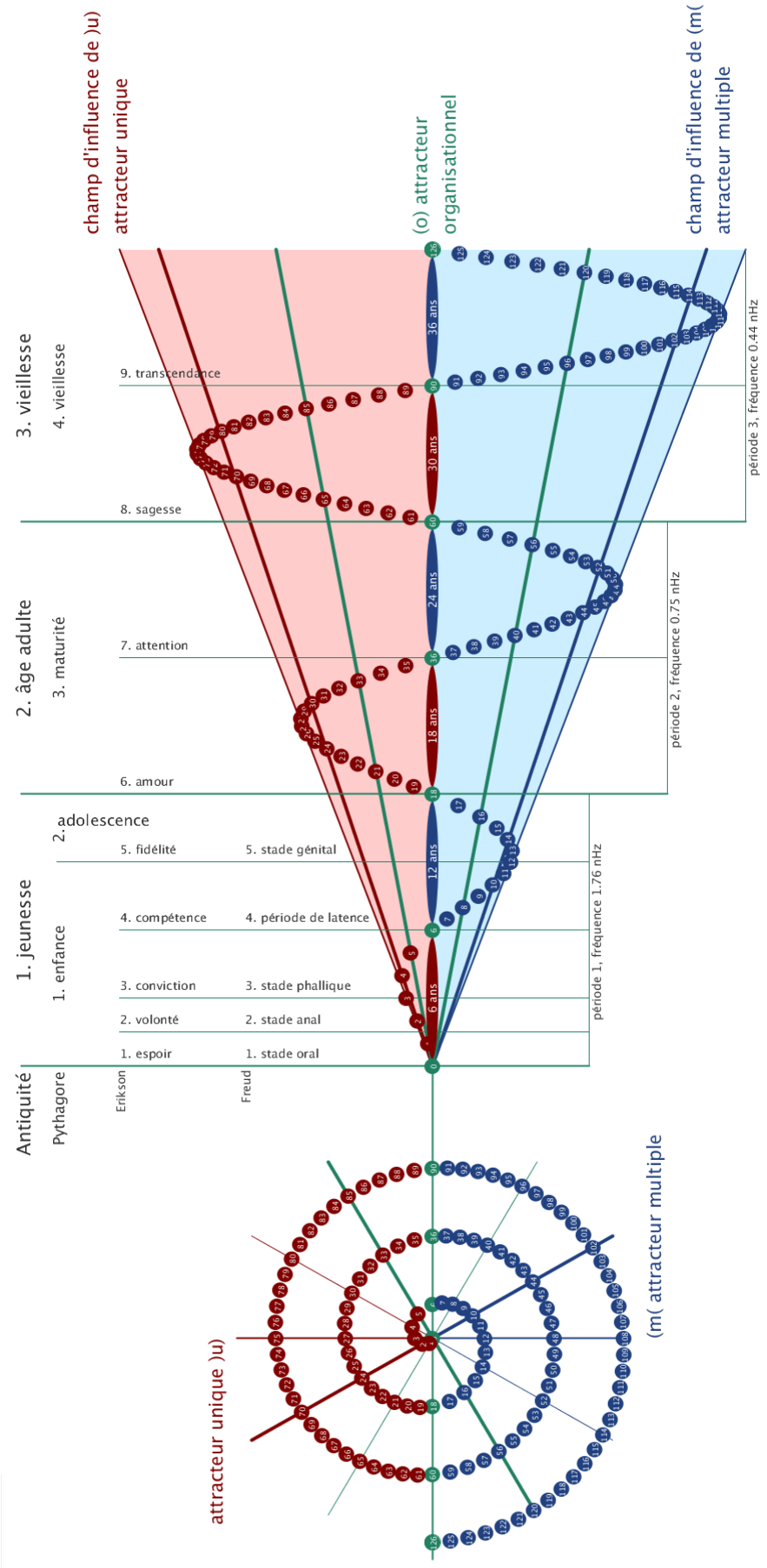
b) La seconde opération a consisté à développer cette spirale. Dans cette spirale, qualifiée de « développée » pour la distinguer de la première, le nombre de spires est divisé par deux. L'alternance des couleurs s'en trouve redistribuée comme l'illustre P9. La trace des axes des hexagones s'en trouve également dédoublée. Cette représentation fait clairement apparaître l'influence oscillante des deux attracteurs, unique et multiple.

P9 — Spirale « développée »



c) La troisième opération a été de considérer la sinusoïde associée. Sur cette courbe, nous avons fait correspondre différentes théories sur le développement psychosocial de l'humain, formulant notre hypothèse d'une *transformation adaptative des organisations* appliquée à l'individu dans ce premier cas. La vue d'ensemble de cette hypothèse est représentée sur l'illustration P10.

P10 — Représentation graphique de l'hypothèse « tao-i »



3.3.1. Transformation adaptative des organisations - l'individu (TAO-I)

La construction graphique de la page précédente agrège différentes théories du développement sur une même représentation sinusoïdale, en prenant appui sur le modèle des attracteurs de transformation. Nous montrons ensuite comment cette hypothèse peut constituer un modèle heuristique de la psychologie du développement. Nous commençons par présenter la mise en relation de différentes théories du développement, puis exposons la triple corrélation que nous avons établie : la première, cyclique, avec la perception du temps, la seconde, périodique avec les ondes gravitationnelles, la troisième, relationnelle, avec la théorie proxémique de Hall. Poursuivant l'exploration de cette dernière, nous proposons une quantification de ces relations. Nous concluons la présentation de cette hypothèse par une analyse critique, questionnant en particulier d'autres représentations formelles, complétée par une mise en perspective d'usages possibles.

3.3.1.1. Théories du développement liées aux âges de la vie

Dans les multiples **théories du développement** (Lerner, 2001) nous en avons retenu cinq qui prennent en considération les âges de la vie et apparaissent comme globalement compatibles avec notre hypothèse, malgré quelques différences. Notons que ces différences s'accentuent avec l'âge, ce que notre modèle est en mesure d'expliquer. Les théories retenues sont complémentaires.

La première théorie date de l'antiquité. Elle ne distingue que 3 périodes — 1. la jeunesse, 2. l'âge adulte, 3. la vieillesse — qui coïncident avec les 3 grandes périodes que nous avons identifiées : de 0 à 18, de 19 à 60, après 61. L'âge de la vieillesse reste subjectif et variable selon les époques. Nous nous référons à la limite actuellement retenue par l'OMS.

La seconde théorie est due à Pythagore, qui a divisé la première période en deux, distinguant l'enfance et l'adolescence. Dans notre représentation, cette frontière se

situe à 12 ans, ce qui est l'âge habituellement considéré.

La troisième est la **théorie psychanalytique** de Freud. Freud a plus particulièrement étudié le développement de la sexualité chez l'enfant (Freud, 1905). Il distingue 5 périodes : 1. le « stade oral », de la naissance à 18 mois, le « stade anal » de 18 mois à 3 ans, le « stade phallique » de 3 à 6 ans, la « période de latence » qui démarre à 7-8 ans, puis le stade génital, à l'adolescence. Un siècle après leur formulation, les périodes de cette théorie sont toujours valides et étudiées, comme par exemple la « période de latence » (Arbisio, 2007).

La quatrième théorie est celle de Jean Piaget sur les **stades du développement intellectuel** de l'enfant (Piaget, 1947). Il distingue quatre stades, qui ne sont cependant pas représentés sur l'illustration P10 pour des raisons de lisibilité. Dans les deux premiers, « *stade sensori-moteur* » et « *stade pré-opératoire* », Piaget propose un découpage plus fin que celui que nous abordons mais les deux suivants, « *stade opératoire concret* » et « *stade opératoire formel* », qui ont une temporalité respectivement de 6/7 à 11/12 ans et à partir de 12 ans, s'inscrivent précisément dans le découpage considéré. Les étapes de la construction des opérations qui caractérisent l'intelligence selon Piaget passent ainsi « *d'une pensée symbolique et préconceptuelle* » à « *en continuité intime avec la précédente, une pensée intuitive, dont les articulations progressives conduisent au seuil de l'opération* », puis « "*les opérations concrètes", c'est-à-dire les groupements opératoires de la pensée portant sur des objets manipulables ou susceptibles d'être intuitionnés* » pour que « *s'élabore enfin la pensée formelle, dont les groupements caractérisent l'intelligence réflexive achevée.* » (*ibid*., p.147-148)

La cinquième théorie est celle des **stades du développement psychosocial** d'Erik Erikson. Elle s'inscrit dans la continuité de celle de Freud dont Erikson a été l'élève, tout en étant psychanalysé par sa fille Anna. Les cinq premiers stades sont communs, complétés par trois autres auxquels un neuvième a été ajouté tardivement (Erikson, 1998). Le premier intérêt de la théorie d'Erikson est qu'il prolonge la dynamique du développement tout au long de la vie. Les neuf stades

sont successivement nommés « *espoir* », « *volonté* », « *conviction* », « *compétence* », « *fidélité* », « amour », « *attention* », « *sagesse* » et « *transcendance* ». Erikson apporte un éclairage particulier. Chaque stade est source d'une nouvelle crise identitaire qui oppose deux tendances : une crise non résolue est enfouie et peut resurgir ultérieurement; l'identité est re-questionnée selon de nouveaux critères. Notre représentation s'accorde à la théorie d'Erikson sur plusieurs points. Nous précisons le découpage temporel, le principe d'opposition, le phénomène de résurgence. Si pour les premières étapes du développement notre temporalité est parfaitement en phase, nous notons un léger décalage, qui augmente avec le temps. Pour les âges supérieurs, nous ne sommes ainsi pas complètement en accord avec les âges pris en compte par Erikson. La transition est notée autour de 34-35 entre les stades 6 et 7, et après 65 entre 7 et 8, mais ceci avant la prise en compte du 9e stade. Notre courbe nous indique 36, 60 et 90. Mais Erikson signale qu'il ne cherche pas à dater précisément les derniers stades : « *il existe une telle variété dans le calendrier du développement humain qu'aucune spécification de l'âge ne pouvait être validée pour chaque stade indépendamment des critères et des pressions sociales* » (Erikson, 1998:105). Pour le dernier stade, il mentionne cependant des âges à partir de 80 et 90 ans. Sans nommer précisément la force vitale à ce stade, ni parler de crise identitaire, il évoque l'allégement et la transcendance. Dans la continuité des stades précédents, nous proposons alors d'opposer « l'attachement » à « l'allégement ». Concernant le choix des dates, rappelons également que notre modèle résulte d'une construction théorique. Confronté à la réalité, le développement n'est jamais parfaitement conforme au modèle. Le modèle étant génératif, il est logique que l'imprécision augmente avec le temps. D'autre part, les stades avancés ont été moins étudiés que les premiers stades de développement. Premièrement pour une raison pratique, car ils s'étalent sur une durée plus longue. Deuxièmement, ils s'enroulent autour des précédents qui influent sur leur développement, et sont donc plus difficiles à cadrer temporellement. Pour plus de clarté, nous avons calé les périodes 7 à 9 sur la sinusoïde, sachant que nous introduisons deux points de bascule supplémentaires.

Le principe d'opposition est au cœur de la théorie d'Erikson. A chaque stade de son développement, l'individu est face à un choix, source d'une crise identitaire. C'est la force adaptative qui l'aide, au stade éponyme, à dépasser cette crise. Notre interprétation à l'aide d'une paire d'attracteurs énantiologiques s'accorde à cette représentation. Dans le tableau T49, nous avons établi la correspondance en précisant pour chaque stade, la période et le cycle — terme que nous retenons pour désigner la demi-période, en référence au tours de la spirale compacte — correspondant ainsi que l'influence de l'attracteur dominant. Les oppositions s'établissent et doivent se résoudre sur des durées plus courtes pendant la petite enfance. La spirale illustre ces changements de direction : les tensions sont liées aux variations d'angles. Nous les avons relevées dans le tableau.

T49 — Correspondance avec les stades du développement (Erikson)

âge	*crise identitaire*		*stade, force adaptative*	*correspondance : période, cycle, attracteur, angle*
0 - 18 mois	Confiance	Méfiance	Espoir	p1 c1 (u) π/2
18 mois - 3 ans	Autonomie	Honte & Doute	Volonté	p1 c1 (u) π/2
3 - 6 ans	Initiative	Culpabilité	Conviction	p1 c1 (u) π
6 - 11 ans	Travail	Infériorité	Compétence	p1 c2 (m) π
12 - 18 ans	Identité	Confusion des rôles	Fidélité	p1 c2 (m) π
18 - 34 (36)	Intimité	Isolement	Amour	p2 c3 (u) 2π
35 - 65 (60)	Générativité	Stagnation	Attention	p2 c4 (m) 2π
> 65	Intégrité	Désespoir	Sagesse	p3 c5 (u) 2π
années 80 et 90	Allégement	Attachement	Transcendance	p3 c6 (m) 2π

La représentation par une spirale permet également de prendre en compte les phénomènes de *résurgence*. Des moments privilégiés de résurgence sont ainsi

détectables par la proximité ou l'éloignement avec les cycles antérieurs, que constituent les premières spires. La proximité est ainsi potentiellement génératrice d'activation de la résurgence, alors que l'éloignement est un générateur potentiel de tension. Des recherches complémentaires seraient à mener avec des psychanalystes pour évaluer la pertinence de cette proposition. Par l'alternance de l'influence des trois attracteurs, unique, multiple et organisationnel, notre construction théorique apporte un éclairage complémentaire à la théorie du développement psychosocial d'Erikson. A chaque cycle correspond l'influence dominante d'un attracteur, qui semble activer un processus de développement. La forme spiralaire permet de supposer qu'un processus de développement activé ne s'arrête pas à la fin du cycle. De même, en considérant le paradigme de la cognition incarnée, c'est-à-dire la *théorie de l'énaction* de Varela, nous pouvons postuler que l'influence des attracteurs porte à la fois sur le développement physique et psychique. Ce postulat a plusieurs conséquences. Agissant en interne, le processus est inévitablement perturbé par les interactions avec le monde extérieur. Une distinction est à prendre en compte par rapport non seulement au sexe mais également au genre. Par exemple, si le lien entre la reproduction – qui par ailleurs peut être associée à un système de dispersion dans l'espace pour certaines espèces (influence de l'attracteur « multiple ») — et le démarrage du « stade génital » est noté autour de 12 ans, il est plus précoce pour le sexe féminin. De même l'âge climatérique (ménopause) et l'hypogonadisme (andropause) ne partagent pas les mêmes symptômes ni les mêmes temporalités. Ces points méritent d'être approfondis ultérieurement. Les âges relevés sont donc à considérer comme simplement indicatifs. Nous nous contentons pour l'instant d'identifier et décrire les âges remarquables du modèle. Nous proposons pour cela une terminologie spécifique.

Nous proposons un premier terme, « **âge de bifurcation** », pour désigner l'ensemble des changements de direction qui correspondent à chaque sommet de l'hexagone. Ils sont au nombre de 36 puisqu'il y en a 6 pour chacun des 6 cycles. Dans ces âges, nous établissons une première distinction en introduisant trois notions : « *âge*

pivot », « *âge de bascule* » et « *âge de transition* ». L' « **âge pivot** » correspond au changement de cycle. Ce sont donc les points d'inflexion de la sinusoïde. Signalons un pivot particulier, le point de symétrie centrale, situé à 36 ans, âge qui semblerait correspondre à la pleine force de l'âge d'un point de vue biologique comme nous l'avons précédemment évoqué. Se pose cependant la question de l'influence biologique de la reproduction sur cet âge, à traiter ultérieurement lors d'un approfondissement du modèle. L' « **âge de bascule** » correspond aux maxima et minima de la sinusoïde, c'est-à-dire au changement de signe de la tangente à la courbe. Les bascules sont dans la prolongation de la ligne verte de la « spirale compacte ». Elles sont bien identifiés pour la première période : 3 ans correspond à la bascule entre les stades 2 (anal chez Freud, volonté chez Erikson) et 3 (phallique chez Freud, conviction chez Erikson), 12 ans correspond à la bascule entre les stades 4 (latence chez Freud, compétence chez Erikson) et 5 (génital chez Freud, fidélité chez Erikson). Pour la troisième période, nous les identifions autour de 75 et de 108 ans. A l'inverse on notera que la bascule entre le stade 1 (oral chez Freud, espoir chez Erikson) et le stade 2 (anal chez Freud, volonté chez Erikson) n'apparaît pas dans le tableau. Cet âge de 18 mois est cependant situé à une position remarquable : exactement entre 0 et 3 ans, il est à mi-distance du premier pivot et de la première bascule. Les autres bifurcations correspondent à des âges auxquels l'influence des attracteurs est notable. Nous proposons le terme « **âge de transition** » pour les qualifier et distinguons six cas, produit de deux paramètres. Le premier paramètre est l'attracteur, au nombre de 3. Le second est le niveau d'activité du paramètre, avec 2 tendances, croissante ou décroissante, notées respectivement avec les signes plus et moins. La transition s'effectue toujours entre l'attracteur organisationnel et l'un des deux attracteurs énantiologique, noté (ae). Sur l'illustration P10, les transitions sont positionnées à l'intersection de quatre droites : une pour chacun des attracteurs énantiologiques qui influencent un cycle sur deux et deux pour l'attracteur organisationnel puisqu'il intervient à chaque changement de cycle.

L'ensemble des âges de bifurcation sont répertoriés dans le tableau T50. On notera

que l'écart augmente à chaque cycle. Nous l'interprétons comme un besoin de temps, croissant avec l'âge, pour que l'organisme puisse opérer sa transformation, l'augmentation de sa complexité allant de pair avec sa perte de plasticité.

T50 — Âges de bifurcation par cycle

	attracteur dominant	(o) -	(ae) +	bascule	(ae) -	(o) +	pivot
cycle 1	u	1	2	3	4	5	6
cycle 2	m	8	10	12	14	16	18
cycle 3	u	21	24	27	30	33	36
cycle 4	m	40	44	48	52	56	60
cycle 5	u	65	70	75	80	85	90
cycle 6	m	96	102	108	114	120	126

Nous terminerons la présentation du modèle par un tableau de synthèse. Chacune des périodes étant alternativement centrée sur l'interne et l'externe. Nous proposons dans le tableau T51 une interprétation des processus de développement activés par les attracteurs lors de chacun des cycles.

T51 — Influence des attracteurs sur les cycles de développement

période & cycle	*âges*	*attracteur dominant*	*processus de développement activé*	*âge pivot*
p1 c1	0 - 6	(u)	construction du moi	6 ans
p1 c2	7 - 18	(m)	constitution d'une communauté	18 ans
p2 c3	19 - 36	(u)	reproduction du moi	36 ans
p2 c4	37 - 60	(m)	diffusion à sa communauté	60 ans
p3 c5	61 - 90	(u)	préservation du moi	90 ans
p3 c6	91 - 126	(m)	transmission mémorielle	126 ans

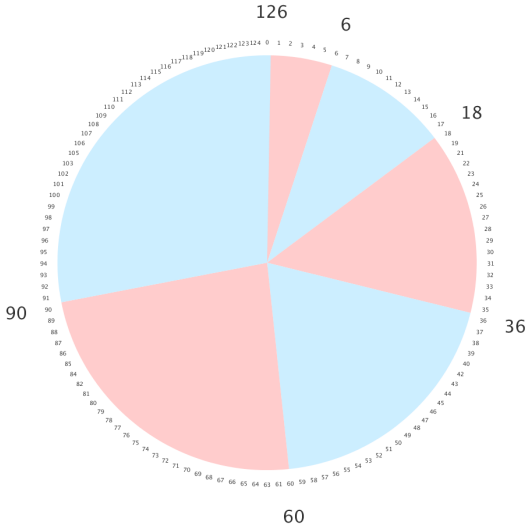
Cette confrontation avec la théorie d'Erikson reste succincte. Nous n'avons pas encore étudié l'influence des fonctions biologiques et des facteurs sociaux. Mais

compte tenu de ces premiers résultats, l'analyse mériterait certainement d'être approfondie et affinée, en particulier avec des travaux plus récents. Par exemple, nous avons relevé un découpage du sixième stade d'Erikson (18-36 ans) en deux sous stades, autour de l'âge de 24 ans, « âge de transition » dans notre modèle : « *Later adolescence (18 to 24) Early adulthood (24 to 34)* » (Newman & Newman, 2012:67). Spécialistes des théories du développement humain, ces auteurs ont par ailleurs classé dix théories clés en trois catégories : selon qu'elles mettent l'accent sur les systèmes biologiques, les facteurs environnementaux ou qu'elles reflètent une interaction entre les deux (Newman & Newman, 2015). Le rôle des attracteurs dans la modélisation des organisations que propose notre modèle permet de le classer sans ambiguïté dans la troisième catégorie. Cet axe de recherche est pour l'instant en suspens, ayant donné la priorité à l'examen d'autres corrélations du modèle : la première est cyclique, la seconde périodique, et la troisième relationnelle. Elles sont développées ci-après.

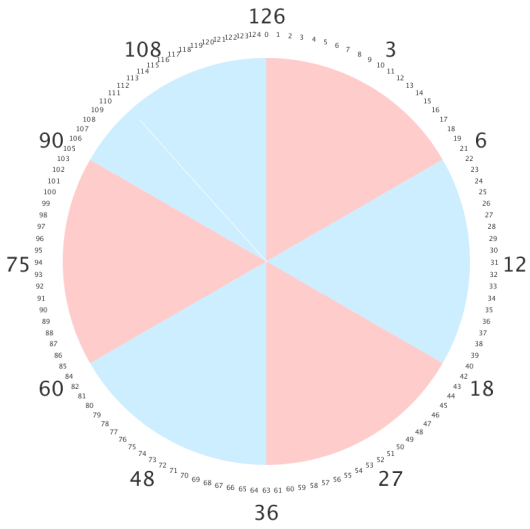
3.3.1.2. Corrélation cyclique : perception du temps

Le constat que « *le temps semble s'accélérer avec l'âge* » est partagé par une majorité d'actifs bien qu'il soit nuancé par ceux qui, seuls ou immobilisés, sont confrontés à l'ennui ou l'attente. Un simple rapport entre le temps écoulé et le temps vécu fournit une première explication du sentiment d'**accélération du temps** : une année pour un enfant de 3 ans correspond au tiers de sa vie; chez un adulte de 30 ans, elle n'en représente qu'un trentième. L'étirement de la sinusoïde nous apporte un autre point de vue. Pour l'illustrer, nous avons développé une seconde fois la spirale, la projetant sur un cercle, simulant ainsi le cadran d'une horloge. Deux projections sont considérées : dans la première, les 126 années sont équitablement réparties, dans la seconde, ce sont les secteurs des attracteurs. Dans ces deux représentations, les âges sont indiqués à l'identique pour faciliter la comparaison. Les *âges pivots* sont mis en évidence. Sur la seconde projection, celle des secteurs équidistants, nous avons ajouté les *âges de bascule*. En comparant l'âge au point bas, c'est-à-dire à six heures sur une horloge classique et à mi-parcours sur notre échelle de 126 années, la première projection indique 63 ans et la seconde 36 ans, exprimant une différence de temporalité qui est susceptible d'agir sur le ressenti. Les illustrations P11 et P12 mettent en parallèle ces deux projections, traduisant deux perceptions différentes du temps.

P11 — Horloge Chronos



P12 — Horloge Aiôn



Reprenant notre précédente projection du concept de temps sur la grille d'analyse des transformations, nous nommons *Chronos* la première horloge, celle du temps standardisé et *Aiôn* la seconde, celle du temps biologique. L'horloge *Kairos*, non représentée, serait alors celle de la mémoire. A la différence des deux autres, cette troisième horloge est personnelle. C'est celle d'un individu, qui a sélectionné et enregistré des épisodes marquants de sa vie, leur donnant une place variable et évolutive, puisque l'enregistrement est remodelé lors de la remémoration des événements au cours du temps (Damasio, 2017:201). L'artiste numérique Bertrand Planes a produit deux œuvres qui présentent des similarités avec nos deux horloges. Nous les présentons dans l'encadré E43.

E43 — « Life Clock » de Bertrand Planes

Sur son site Web — cf. http://www.bertrandplanes.com/ — Bernard Planes présente ses deux œuvres ainsi : « ***Life Clock*** *est une horloge dont le mécanisme est ralenti 61 320 fois afin que l'aiguille des heures effectue un tour de cadran non pas en 12 h mais en 84 ans, soit l'espérance de vie à la naissance des femmes nées l'année de la création de l'œuvre. La* ***Life Clock 3*** *se distingue par un relatif basé sur la perception du temps*. » On notera que la différence entre cette représentation et notre modèle concerne essentiellement l'échelle de référence. Elle est de 84 ans chez l'artiste qui l'a calé sur l'espérance de vie, et de 126 ans dans notre cas, âge considéré comme limite biologique. Ce changement d'échelle influe cependant sur le rapport de perception, calculé ci-après.

P13 — Life Clock, 2011



P14 — Life Clock #3, 2015



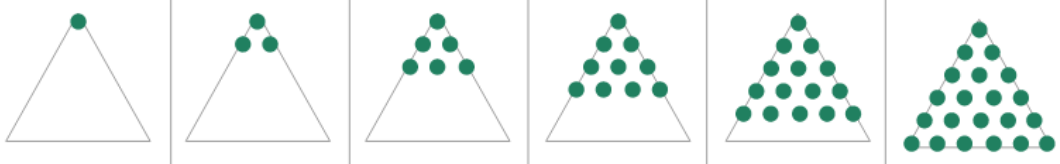
Le rapport entre les âges sur les horloges *Aiôn* et *Chronos*, que nous désignons par la lettre k, est variable et fonction du cycle, désigné par la lettre c. Il se calcule à partir de la décomposition des âges pivot de *Aiôn* et de leur correspondance dans *Chronos* en facteurs simples, comme établie dans le tableau T52. Le tableau fait apparaître les chiffres 3 et 7 pour *Chronos*, 6 et les nombres triangulaires pour *Aiôn*. Les nombres triangulaires sont connus depuis les Grecs. Ce sont des projections dans l'espace des réalités mathématiques (Ouaknin, 2004 : 237). La suite 1, 3, 6, 10, 15, 21 correspond à la suite A000217 de l'OEIS (cf. https://oeis.org/A000217). Sa formule, illustrée par le tableau T53, est :

n(n+1)/2

T52 — Rapport de perception entre les deux horloges

cycle	horloge *Chronos*	horloge *Aiôn*
c = 1	21 ans = **7** x 3 x c	6 ans = 6 x **1**
c = 2	42 ans = **7** x 3 x c	18 ans = 6 x **3**
c = 3	63 ans = **7** x 3 x c	36 ans = 6 x **6**
c = 4	84 ans = **7** x 3 x c	60 ans = 6 x **10**
c = 5	105 ans = **7** x 3 x c	90 ans = 6 x **15**
c = 6	126 ans = **7** x 3 x c	126 ans = 6 x **21**

T53 — Construction des nombres triangulaires

nombres triangulaires : suite n(n+1)/2					
ordre 1	ordre 2	ordre 3	ordre 4	ordre 5	ordre 6
1	**3**	**6**	**10**	**15**	**21**
1	1+2	1+2+3	1+2+3+4	1+2+3+4+5	1+2+3+4+5+6
					

Le rapport k se calcule alors ainsi : k = (c + 1) / 7

soit **k = (c + 1) / (6 + 1) avec c ≤ 6**

La suite s'arrête au 6e terme. Nous remarquons que ce chiffre 6 est très présent dans notre modélisation. Il correspond au nombre de bifurcations par cycle. De même son carré est égal à l'âge pivot central : 6^2 = 36. Pour information et illustration de notre cheminement réflexif, nous mentionnons dans l'encadré E44 d'autres correspondances et singularités.

E44 — Correspondances et singularités du chiffre 6

Physiquement, le chiffre 6 correspond aux 6 directions de l'espace — Est, Ouest, Nord, Sud, Zénith, Nadir — mais également aux 6 degrés de liberté, soit 3 translations sur chacun des axes du repère orthonormé, plus 3 rotations autour de ces 3 axes.

Géométriquement, il correspond au nombre de faces du cube mais également au nombre de sommets de l'octaèdre, son dual. Arithmétiquement, 6 est le premier nombre parfait. Selon le dictionnaire des mathématiques précédemment cité « *un nombre parfait est un entier naturel n dont la somme ∑(n) de ses diviseurs est égale à 2n.* » (p. 676). Ainsi : 1 + 2 + 3 + 6 = 2 x 6.

6 est parfois considéré comme doublement parfait car l'addition et la multiplication de ses diviseurs donnent un nombre égal à lui même et des liens particuliers l'unissent à ses diviseurs (Ouaknin, 2004 : 221) : 6 = 1 + 2 + 3 = 1 x 2 x 3 et 1^2 x 2^2 x 3^2 = 1^3 + 2^3 + 3^3 = 36

De toutes ces corrélations, nous ne pouvons cependant faire d'autre constat que celui de Galilée « *La nature est un livre écrit en langage mathématique* » avec la nuance qu'apporte Nicolas Bourbaki, mathématicien imaginaire dans *Éléments de mathématiques, XVII, théorie des ensembles,* p. 6-7 : « *La mathématique formalisée ne peut être écrite toute entière* ».

Cette formule nous permet d'affiner les correspondances entre les âges des deux horloges *Aiôn* et *Chronos*, en segmentant le cycle selon le pourcentage effectué par année. Le premier cycle est le plus significatif puisqu'il intègre les trois premiers stades des théories de Freud et Erikson. En première approximation[295], les valeurs de c varient de 0 à 1 par 1/6. Les résultats des calculs sont reportés dans le tableau T54. Le calcul est également fait pour 18 mois, soit un an et demi, qui correspond au passage du *stade Espoir* au *stade Volonté* chez Erikson.

T54 — Correspondance entre les années Aiôn et Chronos (cycle 1)

% du cycle	0/6	1/6	3/12	2/6	3/6	4/6	5/6	6/6
âge	pivot	transition	18 mois	transition	bascule	transition	transition	pivot
années *Aiôn*	0	1	1,5	2	3	4	5	6
années *Chronos*	0	6	8,4	10,5	14	16,8	19,1	21

Ces chiffres illustrent le développement intensif des premiers mois, à la fois physique, moteur, psychologique, aussi bien affectif que cognitif, mais également social. La prise en compte de la période prénatale semble cependant essentielle pour affiner ces premiers résultats.

Le coefficient k est proportionnel à c, comme l'âge. Le rapport entre les années *Aiôn* et *Chronos* est donc en c au carré. La courbe est une **parabole**.

Une *parabole* est le lieu des points équidistants d'un point fixe F, le **foyer**, et d'une droite fixe Δ, la **directrice**. Une parabole est également représentative d'une fonction polynomiale de second degré, qui s'écrit sous la forme :

$$y = ax^2 + bx$$

a,b désignent des constantes, et y est une variable fonction de la variable x.

295. Le changement de cycle induit un changement de pourcentage de 1/6 entre 5 et 6 ans puis de 1/12 entre 6 et 7 ans. Le pourcentage serait sans à linéariser pour affiner les résultats. Nous conservons cependant ces ruptures, dans l'esprit de l'origine hexagonale du modèle.

Dans notre cas a = 1/147 (précisons que $147 = 3x7^2$) et b = 1/7. Réduite en éléments simples, l'équation est donc :

$$y = x(1 + (x/7)/3)/7$$

Cette courbe modélise le développement psycho-social de l'humain, dont la trajectoire est parabolique. Elle illustre notre hypothèse des trois *attracteurs de transformation* en considérant que le *foyer* est l'*attracteur unique*, la *droite directrice* est l'*attracteur multiple*, la *trajectoire de vie* est pilotée par l'*attracteur organisationnel*, à équidistance du *foyer* et de la *directrice*, c'est-à-dire des deux attracteurs *unique* et *multiple*.

A partir de cette équation nous pouvons calculer les positions du *foyer* et de la *directrice*.

La position du *foyer* de la *parabole* est donnée par l'équation :

$$x_F = 0 \text{ et } y_F = 1/4a$$

Nous obtenons ainsi :

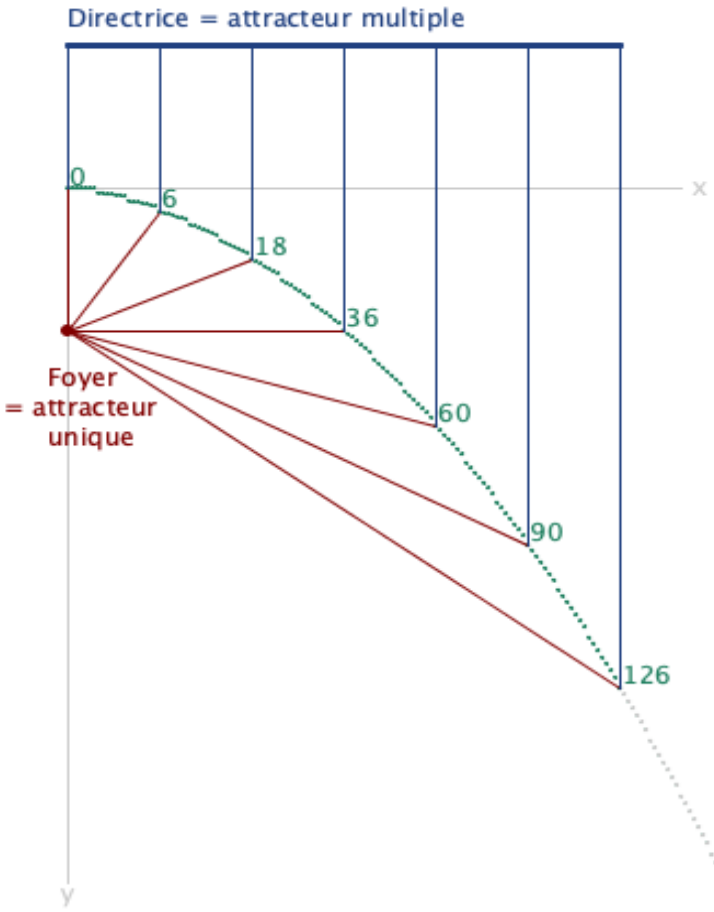
$$y_F = 36{,}75 = 3(7/2)^2$$

La *directrice* est la droite d'équation :

$$y = -1/4a \qquad \text{soit } \mathbf{y = -36{,}75} = -\,3(7/2)^2$$

Cette valeur correspond à la distance minimale entre les deux *attracteurs*. C'est un rapport de deux grandeurs de même unité, donc un simple **scalaire**, une grandeur sans unité. Notons cependant que sa valeur est très proche de notre *âge pivot* de symétrie (36 ans). La représentation graphique de cette trajectoire est illustrée par l'illustration P15. L'axe x est horizontal et l'axe y vertical, descendant.

P15 — Trajectoire parabolique du développement psycho-social de l'humain



Sur l'illustration nous observons l'augmentation croissance de la distance entre le *foyer* et les points de la courbe. Cette distance est maximale en 126 et prend pour valeur 162,75 (= 36,75+126). Le rapport entre les extrêmes est donc de **4,43** (= 162,75 / 36,75). Nous proposons dans l'encadré E45 une interprétation de cette distance par analogie avec l'électromagnétisme. La trajectoire représente une demi-parabole mais nous sommes partis d'un développement à la naissance. Nous pouvons alors investiguer sur trois points : les paramètres à l'origine, la trajectoire avant l'origine, la complétion de la parabole par une possible symétrie. Sur le premier point, nous ferons appel aux *lois de la gravitation*. Pour aborder le second point nous reviendrons à la spirale. Le troisième point, plus spéculatif, ne sera pas développé ici.

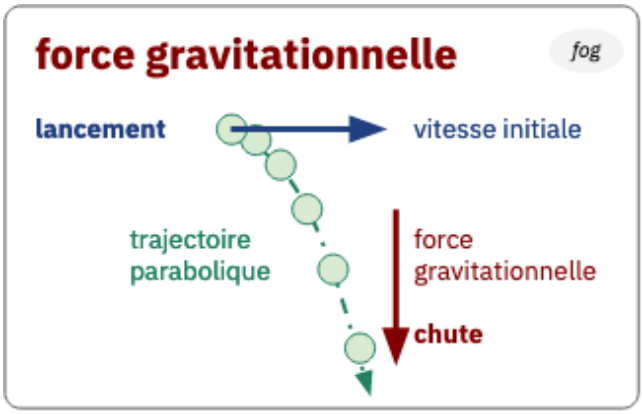
D'après les *lois de Kepler* et *Newton*, nous savons que la trajectoire d'un objet soumis à la force d'attraction gravitationnelle est une parabole si l'on néglige, la courbure de la Terre, la variation de la gravité avec la hauteur, et les frottements

susceptibles de ralentir l'objet.

E45 — Analogie avec l'électromagnétisme

Nous proposons une interprétation de la distance des attracteurs à la courbe par une analogie avec la formule de la *puissance électrique*, définie comme le produit de la *tension* par l'*intensité*, soit « *P = U.I* ». Nous considérons ainsi l'hypothèse d'une « *puissance organisante* » qui serait le produit d'une « *intensité organisante* » par une « *tension organisante* ». La distance entre le *foyer* et la *courbe* représenterait alors cette « *tension organisante* ». Si, de plus, l'on considère que la « *puissance organisante* » est constante, nous pouvons faire l'hypothèse d'un transfert de *tension* en *intensité*. Ce processus pouvant rencontrer une *résistance*, nous pouvons enrichir l'analogie précédente avec le calcul de la *résistance* en appliquant la formule « *U = R.I* ». Nous pouvons également poursuivre cette analogie en considérant l'influence des deux attracteurs comme la source d'un courant alternatif. Enfin, la variation d'un courant générant un *champ magnétique*, nous pourrions faire intervenir dans ce modèle un équivalent des *forces de Lorentz* et de *Laplace*. Ces hypothèses ouvrent la voie à l'étude de champs organisateurs générés par la présence de plusieurs organisations.

Cette modélisation est illustrée par la carte [*fog*]. Cette représentation introduit deux concepts : le *lancement* et la *chute*. Les paramètres du *lancement* sont la *vitesse initiale* et l'*angle* par rapport à la force gravitationnelle, que nous avons pris de 90° dans l'exemple, soit une vitesse de lancement à l'horizontale en redressant la courbe. La *chute* correspond à un retour sur terre. Dans notre cas, le retour sur terre est la décomposition de l'organisme, un retour à la terre.



C229 — [fog] — force gravitationnelle

Connaissant l'équation de la trajectoire, nous somme donc en mesure de calculer une *vitesse initiale* pour une *force d'attraction* donnée, car elles sont interdépendantes. Cette force de lancement n'est pas sans évoquer le concept d'*élan vital* de Bergson pour expliquer l'évolution et le développement des organismes (Bergson, 1907).

La vie sur la planète terre s'est développée sur une fine couche en surface. Nous pouvons alors poser l'hypothèse que l'organisation du vivant résulte d'un élan vital en opposition et en lien avec la force gravitationnelle. La force d'attraction terrestre étant centrifuge, l'élan vital doit logiquement être centripète. Nous retrouvons l'opposition entre nos deux attracteurs de transformation *unique*, de la gravité, et *multiple*, qui conduit à la diversité du vivant. Pour les calculs, les données suivantes sont à prendre en compte : le rayon moyen de la Terre (6371.009 km)[296] et les rayons maximal et minimal, qui sont respectivement de 6384.4 km et 6352.8 km. L'épaisseur de la couche est donc de 31.6 km, soit moins de 0.5 %.

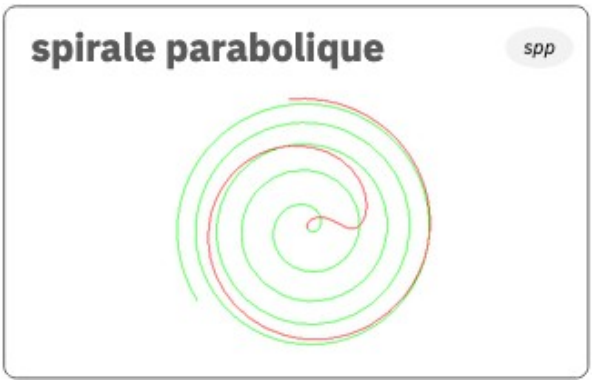
Cette hypothèse énergétique est compatible avec celle de la « *tension organisante* » précédemment évoquée. Elle est à rapprocher des **relations allométriques** en écologie et en particulier à la *loi de Kleiber*, qui établit une relation entre la masse corporelle et le métabolisme. Le métabolisme de base correspond au besoin énergétique minimal de l'organisme. Pour les vertébrés il est proportionnel à la masse corporelle élevée à la puissance ¾. Ce sujet est à approfondir avec les spécialistes de ces disciplines.

La *parabole* précédemment définie nous renseigne sur la nature de la spirale associée : *la spirale parabolique*. La **spirale parabolique** est une courbe d'équation polaire : $(r-a)^2 = b^2\theta$ La courbe possède deux branches imbriquées. En considérant une demi-parabole nous n'en retenons donc qu'une. Dans le cas ou a = 0, nous obtenons une **spirale de Fermat** d'équation polaire : $\rho^2 = b^2\theta$

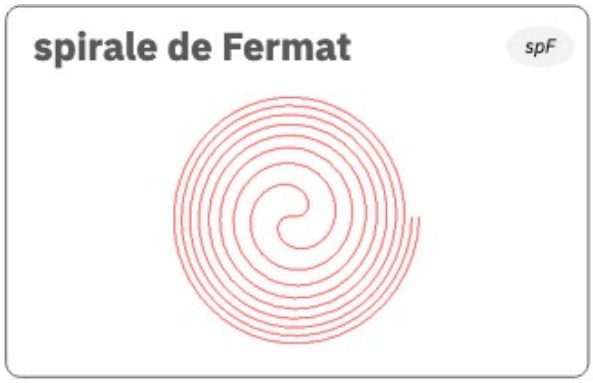
L'inverse de centre O de la *spirale de Fermat* est le **lituus**, également appelée *crosse de l'évêque*. La *radiale* — lieu de l'extrémité du vecteur rayon de courbure, attaché à

296. Source wikidata

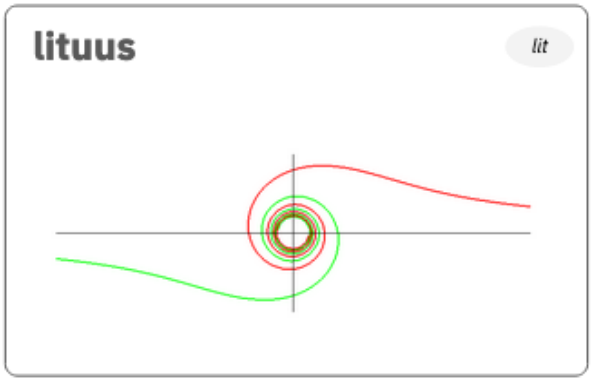
un point fixe — de la *lituus* est la **clothoïde** ou *spirale de Cornu*, courbe plane dont la courbure est proportionnelle à l'abscisse curviligne, distance mesurée le long de la courbe. Cette courbe intervient dans le problème de détermination des trajectoires les plus courtes. Ces quatre courbes sont représentées[297] sur les cartes [*spp*], [*spf*], [*lit*] et [*clo*].



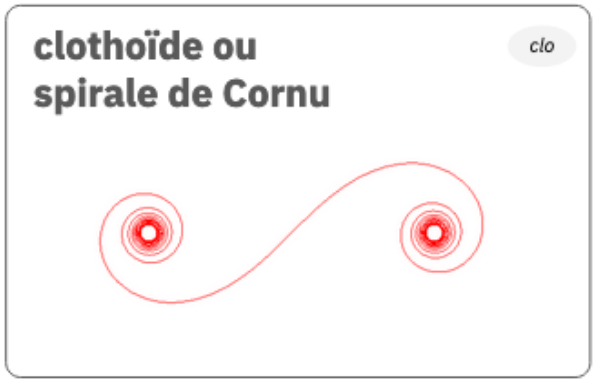
C230 — [spp] — spirale parabolique



C231 — [spF] — spirale de Fermat



C232 — [lit] — lituus



C233 — [clo] — clothoïde

Notons que la *spirale de Fermat* présente des particularités remarquables. La surface entre chaque spire est constante. Cette propriété appelle une corrélation avec la « *puissance organisante* » dans le cas de l'hypothèse de la conservation de l'énergie globale de l'organisation. C'est également la courbe qui sépare le *Yin* du *Yang* dans la figure *Taijitu*, en limitant la courbe d'équation $\rho^2 = \theta$ au cercle de rayon 1 (Banakh et al., 2010).

L'*inversion* est une hypothèse d'étude de la courbe avant la naissance. Pour

297. Source des illustrations : https://www.mathcurve.com/

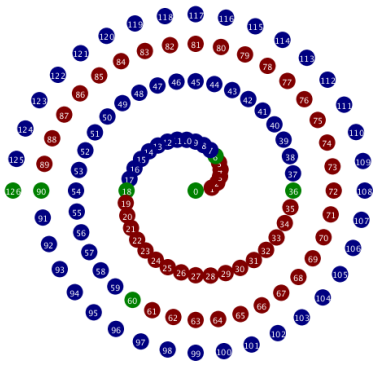
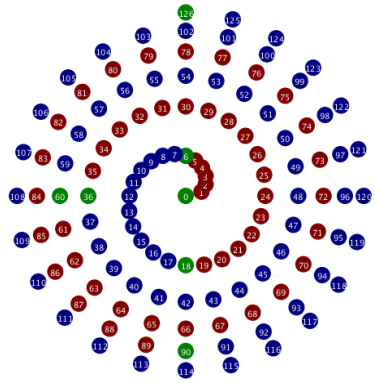
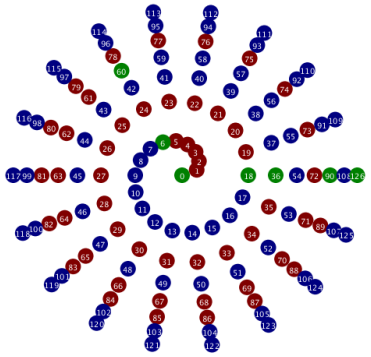
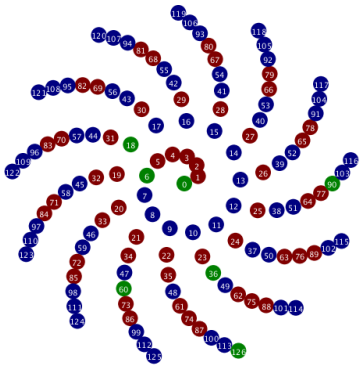
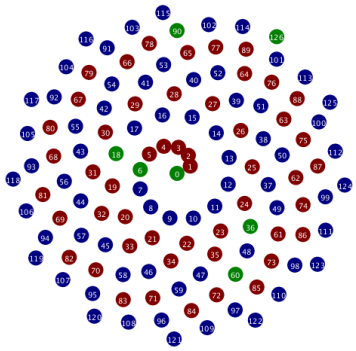
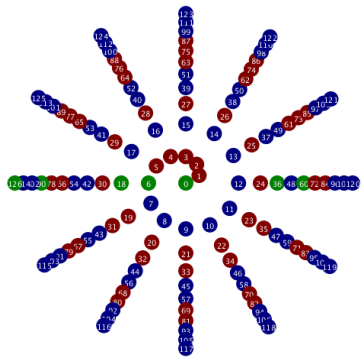
l'approfondir nous serons amené à considérer également les **spirales anallagmatiques**, invariantes par inversion, dont l'étude[298] est récente (Masurel, 2013).

Pour étudier le développement aux conditions initiales, une autre hypothèse est à prendre en compte, celle de la vitesse d'enroulement de la spirale. Nous pouvons simuler ce phénomène en faisant varier l'angle entre les âges. Pour visualiser l'influence de ce facteur, nous avons utilisé, en l'adaptant, un projet d'étude réalisé par la designer Anita Lillie sur la *spirale de Fermat*[299]. Reprenant notre code couleur pour les âges (*pivot* en vert, *cycles impairs* en rouge, *pairs* en bleu) nous avons ainsi généré différentes configurations, avec un angle constant pour l'ensemble des spires sachant que dans notre représentation initiale de la spirale l'angle augmentait à chaque cycle. Ainsi, l'angle de 10° est celui du 6e cycle, soit 36 années sur 360°, L'angle de 15° est celui du 4e cycle de 24 années, l'angle de 20° est celui du 3e cycle de 18 années et l'angle de 30° est celui du 2e cycle de 12 années. En faisant varier simplement d'un degré l'angle moyen, nous observons que les motifs générés sont très différents. La deuxième ligne du tableau T55 illustre cet effet pour des angles de 28°, 29° et 30°.

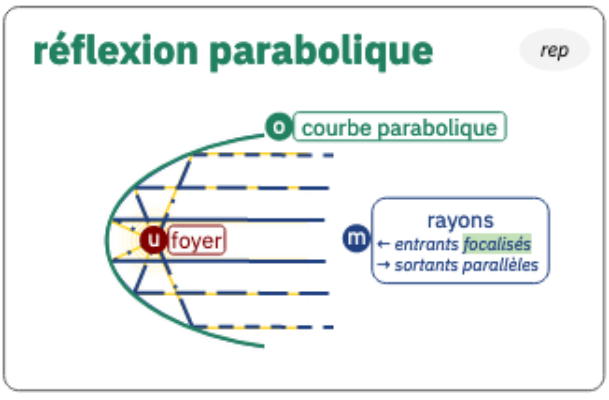
Par ces différentes représentations du développement psycho-social, nous montrons ainsi la forte sensibilité aux conditions initiales. Nous retrouvons ainsi des phénomènes comparables à ceux mis en évidence par la *théorie du chaos*.

298. Cf. le site web : http://christophe.masurel.free.fr/
299. Source du projet : http://flyingpudding.com/projects/florets/applet/

T55 — Sensibilité aux conditions initiales

angle 10° (6ème cycle)	angle 15° (4ème cycle)	angle 20° (3ème cycle)
		
angle 28°	**angle 29°**	**angle 30° (2ème cycle)**
		

Rappelons également, avant de clore cette étude sur la corrélation cyclique, quelques propriétés remarquables de la parabole, qualifiée d'*ellipse qui accroche l'infini*[300]. La carte [*rep*] illustre les lois de la réflexion. Tout onde lumineuse ou sonore parallèle à l'axe de la parabole, est réfléchie par la parabole selon une droite passant par le foyer. Réciproquement, tout rayon partant du foyer et réfléchi par la parabole suit une direction parallèle à l'axe de la parabole. C'est le principe de l'antenne parabolique. Cette représentation

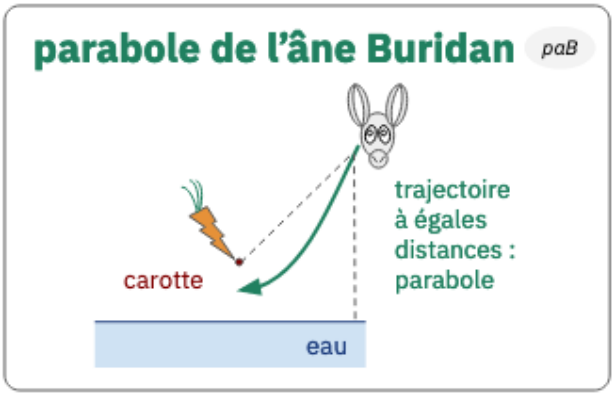


C234 — [rep] — réflexion parabolique

300. Source : http://accromath.uqam.ca/2018/09/les-coniques-une-grande-famille/

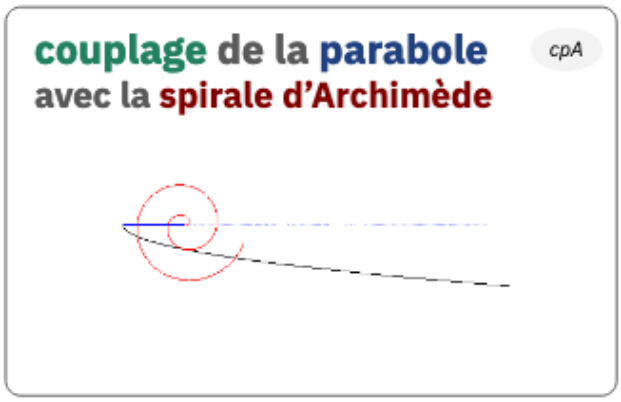
introduit les concepts de captation, réception, concentration, émission, réflexion. Nous considérons que la parabole est organisatrice des rayons entrants ou sortants.

Mentionnons également cette représentation du paradoxe de l'*âne de Buridan*, illustré par la carte [*paB*]. La parabole est une courbe d'indécision pour l'âne Buridan[301] face au double choix entre une carotte située au foyer de la parabole, et de l'eau au niveau de la directrice. Cette expérience de pensée traduit les conséquences de l'indécision entre deux choix; pour l'âne, boire ou manger.



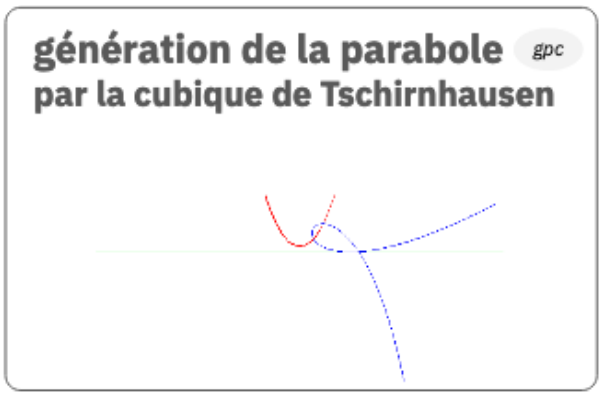
C235 — [paB] — parabole de l'âne Buridan

La parabole est la conjuguée de la spirale d'Archimède avec laquelle elle forme un couple roue-route : le moyeu de la spirale a une trajectoire rectiligne tandis que la spirale roule sans glisser sur la route parabolique. Cette propriété est utilisée dans les engrenages. Cette représentation introduit le concept de *couplage*. C'est une méthode de génération de la parabole, comme illustré par la carte [*cpA*][302].



C236 — [cpA] — couplage de la parabole

Il existe d'autres méthodes de génération de la parabole comme celle illustrée par la carte [*gpc*] : « *La roulette*



C237 — [gpc] — génération de la parabole

301. Attribué à Jean Buridan (1292-1363), instigateur du scepticisme religieux en Europe, ce problème ne figure pas explicitement dans ses œuvres mais, posé par Aristote, est repris par Spinoza.
302. Source de l'illustration : https://www.mathcurve.com/courbes2d/engrenage/engrenage2.shtml

du foyer d'une cubique de Tschirnhausen roulant sur une droite est une parabole. »[303]

Enfin, comme pour les autres coniques, signalons que la parabole s'obtient par l'intersection d'un *cône de révolution* avec un *plan*. A cette *corrélation cyclique*, s'ajoute également une *corrélation périodique*, en calculant la fréquence de la sinusoïde.

3.3.1.3. Corrélation périodique : ondes gravitationnelles

La sinusoïde ne compte que 3 périodes sur 126 ans. Ces périodes varient au cours du temps, dans un rapport de 1 à 6. La première demi période est de 6 ans, la dernière de 36 ans. Nous avons calculé la fréquence correspondant pour chacune des spires.

La fréquence est le nombre de fois où un phénomène périodique se reproduit par unité de mesure du temps. Dans le *Système international*, cette unité est le *hertz* (Hz). L'unité de mesure du temps est la *seconde*. La reproduction du phénomène court sur plusieurs années, nous commençons par la conversion de l'année en secondes :

1 année

= 60 (secondes) x 60 (minutes) x 24 (heures) x 365,25 (jours)

= **31 557 600 s**

Les 6 premières années forment une demi-période. Calculée sur le même rythme, la période serait de 12 ans. la fréquence correspondante est alors de :

1 / (31 557 600 x 12) = $2{,}64.10^{-9}$ Hz soit **2,64 nHz**

De même, la dernière demi-période est de 36 ans, ce qui nous donne 72 années pour la période complète. La fréquence correspondante est alors de :

1 / (31 557 600 x 72) = $2{,}64.10^{-9}$ Hz soit **0,44 nHz**

303. Idem, cf. : https://www.mathcurve.com/courbes2d/tschirnhausen/tschirnhausen.shtml

En prenant en compte les périodes réelles, soit respectivement 18 ans (6+12) pour la première, 42 pour la seconde (18+24) et 66 pour la troisième (30+36), nous obtenons les valeurs suivantes :

Période 1 : 1 / (31 557 600 x 18) = $1{,}76.10^{-9}$ Hz soit **1,76 nHz**

Période 2 : 1 / (31 557 600 x 42) = $0{,}75.10^{-9}$ Hz soit **0,75 nHz**

Période 3 : 1 / (31 557 600 x 66) = $0{,}48.10^{-9}$ Hz soit **0,48 nHz**

Cette période est extrêmement faible ce qui rend compliqué l'observation d'un phénomène de fréquence comparable. Nous avons néanmoins relevé deux correspondances.

La première est avec la planète Saturne, dont la période de révolution est d'environ 29 ans. Saturne tourne autour du Soleil à un rythme de **1,08 nHz**.

La seconde est avec les **ondes gravitationnelles**, propagation des vibrations de l'espace temps. Leur existence a été prédite par Einstein en 1916 dans le cadre de la *théorie de la relativité générale*, qui décrit comment les masses déforment l'espace temps. Ces ondes se propagent à la vitesse de la lumière. Leur fréquence dépend de leur source. Elle varie dans des ordres de grandeur qui vont de la milliseconde au milliards d'années (Schutz & Vitale, 2011). Recherchées à partir des années 1960, leur existence n'a été confirmée qu'en 2016 (Abbott et al., 2016), soit 100 ans après la théorie d'Einstein. Leur détection s'est faite grâce aux interféromètres aux sols *Virgo* et *LIGO*, qui comportent des bras de plusieurs kilomètres. Les recherches se poursuivent avec le projet spatial LISA[304], pour *Laser Interferometer Space Antenna*, développé par l'Agence Spatiale Européenne[305] et la NASA[306]. Cet observatoire spatial est le plus grand objet construit par l'homme. Il est constitué de trois satellites en orbite héliocentrique qui forment un triangle équilatéral de 2,5 millions de kilomètres de côté et sont reliés par des faisceaux laser.

304. Cf. https://www.lisamission.org/
305. Cf. https://www.cosmos.esa.int/web/lisa
306. Cf. https://lisa.nasa.gov/

Les trous noirs supermassifs binaires — SMBH, pour *Super Massive Black Holes* — dans les galaxies lointaines sont sources d'ondes gravitationnelles dans des périodes de l'ordre du nanoHertz (Maggiore, 2018:232). La détection de ces fréquences s'effectue grâce aux réseaux de synchronisation de pulsars ou PTA, pour *Pulsar Timing Arrays.* Les **pulsars** constituent des horloges d'une remarquable stabilité (ibid, p.723). Un réseau de synchronisation de pulsars, en particulier ceux dont la période de rotation est de l'ordre d'une à dix millisecondes, est un ensemble de pulsars qui est analysé pour rechercher des signatures corrélées dans les temps d'arrivée des impulsions. Ils sont aujourd'hui étudiés par le consortium IPTA[307], *International Pulsar Timing Array*, qui regroupe trois consortium : l'EPTA[308], pour *European Pulsar Timing Array*, NANOGrav[309], pour *North American Nanohertz Observatory for Gravitational Waves* , et le PPTA[310], pour *Parkes Pulsar Timing Array*.

Le rapprochement entre l'onde que nous avons caractérisé à l'échelle de l'individu à des ondes liés à des phénomènes astronomiques peut s'envisager par le fait que notre modélisation s'appuie sur la *logique de l'énergie* de Lupasco, elle-même issue de la *physique quantique*. Cependant nous ne pouvons scientifiquement aller plus loin que ces observations et descriptions, sans être en mesure de proposer d'interprétation autre qu'une corrélation entre deux théories.[311]

Mais en nous focalisant sur les deux premières périodes, nous avons établi une troisième corrélation, d'ordre relationnel, avec la *distance proxémique* de Hall.

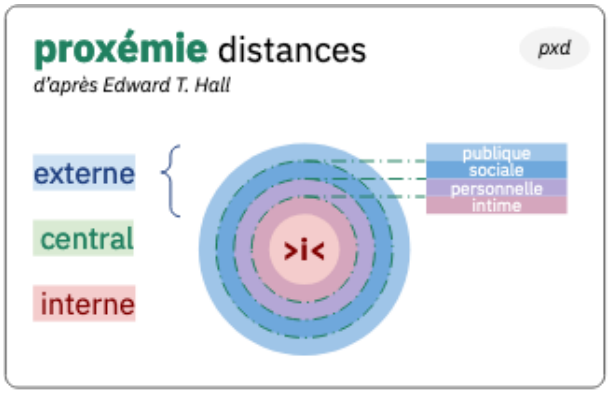
307. Cf. http://ipta4gw.org/
308. Cf. http://www.epta.eu.org/
309. Cf. http://nanograv.org/
310. Cf. https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/ppta/
311. On notera une deuxième corrélation, entre cette onde de développement humain et les ondes de télécommunication de la 4G et 5G, qui sont de fréquence inverse. Pour la 4G, les fréquences sont attribuées en 1.8 GHz 2.1 GHz et 2.6 GHz. Pour la 5G, elles passent de 5 à 30 GHz. Le GHz (10^9 Hz) est la fréquence inverse du nHz (10^{-9} Hz). On trouvera une analyse plus détaillée de ces bandes de fréquence avec les cartes [lgn] [puh] [puH] [puμ] et [psf] au § 4.2.1.2

3.3.1.4. Corrélation relationnelle : proxémie

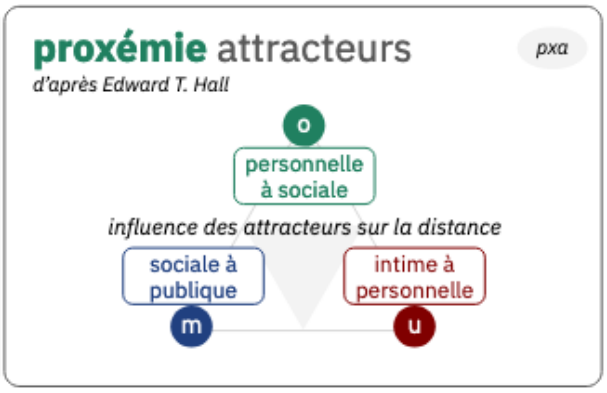
Notre modélisation du développement humain traduit schématiquement une alternance entre développement centré sur soi et développement tourné vers les autres. La distance entre soi et les autres est abordée par la *théorie de la proxémie* (Hall, 1971). Avec la dimension cachée, l'anthropologue fait référence à l'espace nécessaire à l'équilibre de tout être vivant, animal ou humain, c'est-à-dire son territoire. La perception de l'espace s'effectue via différents récepteurs : récepteurs de contact ou internes, peau et muscles, et récepteurs à distance, yeux, oreilles et nez, qui déterminent des espaces visuels, sonores et olfactifs. Ces sens portent des charges informationnelles variables. Chez l'homme cette dimension devient culturelle. Expérimentalement, Edward Hall détermina quatre distances d'emprise croissante, qui correspondent, selon sa dénomination, à la *sphère intime*, la *sphère personnelle*, la *sphère sociale* et la *sphère publique*. La distance intime est celle du contact, du toucher. La distance personnelle peut être imaginée « *sous la forme d'une petite sphère protectrice, ou bulle, qu'un organisme créerait autour de lui pour s'isoler des autres* ». (*ibid.*, p.150). La frontière entre la distance personnelle et sociale marque « *la limite du pouvoir sur autrui* ». (*ibid.*, p.152) La distance publique situe la limite « *hors du cercle où l'individu est directement concerné* ». (*ibid.*, p.155). Hall relevait également ceci : « *La faculté d'identifier ces différentes zones affectives ainsi que les activités, les relations et les émotions qui leur sont respectivement associées, est devenue aujourd'hui d'une importance considérable* ». (*ibid.*, p.159)

En supposant une appropriation progressive de l'espace lors du développement de l'individu, nous avons étudié une possible corrélation entre les espaces proxémiques de Hall et les cycles et périodes. Nous avons ainsi fait correspondre une distance proxémique privilégiée avec chacun des cycles. Le premier, celui de la *construction du moi*, correspond à l'apprentissage de la *distance intime*. Le second, au cours duquel se développent les relations avec son cercle d'amis proches, correspond à l'apprentissage de la *distance personnelle*. Le troisième, relatif au démarrage et développement d'une activité professionnelle, correspond à

l'apprentissage de la *distance sociale*. Au quatrième cycle, le développement de l'activité professionnelle appelle à plus de responsabilités et à l'apprentissage de la *distance publique*. Nous avons ensuite considéré que la troisième période, l'activité professionnelle diminuant, c'est la *distance sociale* qui est d'abord réinvestie. Puis, la diminution progressive des capacités physiques invite à un recentrage sur la *distance personnelle*.



C238 — [pxd] — proxémie, distances



C239 — [pxa] — proxémie, attracteurs

Nous avons également interprété les quatre distances proxémiques de Hall dans la modélisation avec les trois *attracteurs*, chacun influençant la transition entre deux distances comme l'illustrent les cartes [*pxd*] et [*pxa*] (voir aussi encadré E31). Mais la proxémie n'est que l'une des nombreuses théories traitant des relations de l'individu : « *Le problème des relations de l'individu avec ses semblables et avec son groupe s'est posé dès les temps les plus reculés.* » (Bion, 1965:86). Notre idée-clé reste donc à confronter à d'autres théories, en remontant aux travaux sur la dynamique de groupe initiés par *Lewin*. Ce champ d'étude est large, il intègre de multiples disciplines au sein des sciences humaines. Citons en particulier les travaux sur la *dynamique des groupes restreints* (Anzieu & Martin, 1968) et l'étude des communications selon l'analyse systémique, selon l'approche par la modélisation des relations (Mucchielli, 2004), le développement des réseaux sociaux numériques ayant donné un nouvel élan à ces recherches. Un autre axe d'investigation consisterait à s'appuyer sur la modélisation des attracteurs pour étudier une typologie des émotions, dans le prolongement de l'analyse esquissée au § 3.1.3.2 et illustrée avec la carte [esé], afin de mettre en relation la proxémie avec

les émotions et leur ambivalence, pour chercher à modéliser dans un paradigme bio inspiré les relations entre « *l'intelligence émotionnelle* » (Vieira, 2017) et « *l'intelligence informationnelle* » (Vieira, 2020). Pour compléter cette analyse, nous avons cherché à caractériser le développement progressif des relations de l'individu durant chacun des cycles, en les qualifiant dans un premier temps, puis en les quantifiant.

3.3.1.5. Qualification et quantification des relations

Pour qualifier le développement des relations de l'individu, nous avons retenu quatre termes — « *soi* », « *équipe* », « *tribu* », « *ethnie* » — pour les six cycles. Sur l'aspect quantitatif nous nous appuyons sur des limites biologiques anthropologiques.

Par le « soi », nous désignons l'identité de l'individu. L'individu commence son développement ex-utero sur le premier cycle de la première période, sous l'influence de l'*attracteur interne*. Du nourrisson à l'enfant, il va progressivement construire et prendre conscience de son intégrité physique et psychique. Cette transformation se prolonge tout au long de la vie. La quantification associée est l'unité.

Toujours dans la première période, le second cycle est sous l'influence de l'*attracteur externe*. Dès les débuts de la sociologie, Gabriel Tarde a mis en évidence le rôle de l'imitation comme essence du social (Tarde, 1890). Puis, comme nous l'avons vu précédemment, Abraham Maslow a relevé les besoins complémentaires d'appartenance et de reconnaissance. Nous proposons d'associer ce cycle au terme « équipe », entendant un groupe restreint qui ne dépasse pas 12. Comme le relève Jean-Michel Cornu, « *la quasi-totalité des équipes dans les sports collectifs est limitée à 12 joueurs ou moins* » (Cornu, 2016). Ce chiffre correspondrait à la capacité à percevoir l'ensemble des relations dans un groupe et non plus seulement l'ensemble des relations entre nous et chacune des personnes du groupe. (Cornu, 2013:13). Pour 12 membres d'une équipe, le nombre d'interactions est de 144 (12 x 12). Ce nombre est à rapprocher de la limite naturelle de la taille du réseau social

d'un humain. Suite à une étude sur les primates, l'anthropologue Robin Dunbar a constaté que ce nombre dépend de la taille du néocortex (Dunbar, 1992). Il serait aux alentours de 150 pour l'humain (Dunbar, 1998). Ce nombre est également à rapprocher d'une autre limite cognitive, la capacité de la **Mémoire à Court Terme** (MCT) ou « *empan mnésique* ». Sa valeur serait de 5 à 7 éléments (Miller, 1956; Farrington, 2011), voire de 4 (Cowan, 2001). Nous remarquons que dans une équipe, le mouvement des joueurs est en attaque ou en défense. Les 12 joueurs vont être en mouvement dans un sens ou dans l'autre, une répartition homogène correspond à cette limite. Considérant que cette capacité « holoptique » — cf. l'encadré E46 — se développe en particulier à l'adolescence, nous proposons le terme « équipe » et sa quantification associée, 12, pour le deuxième cycle de la première période.

E46 — Proposition d'un néologisme : « holoptisme »

Dans un document intitulé « intelligence collective, la révolution invisible »[312] Jean-François Noubel a proposé le néologisme de **holoptisme** pour désigner « *un espace qui permet à tout participant de percevoir en temps réel les manifestations des autres membres du groupe (axe horizontal) ainsi que celles provenant du niveau supérieur émergeant (axe vertical)* » et qu'il oppose au panoptisme, l'architecture spatiale imaginée par les frères Bentham, « *organisée de telle sorte que la totalité de l'information converge vers un point central tout en étant que partiellement — voire pas du tout — accessible aux autres.* » (Noubel, 2007:23)

Par rapport à la première, la deuxième période est amplificatrice. C'est celle de l'âge adulte ou de la maturité, durant laquelle l'individu va construire sa famille et développer son réseau social, par ses diverses activités, professionnelles ou non.

Nous empruntons les deux termes suivants à l'anthropologie pour désigner des groupes de taille différentes : la « tribu » et « l'ethnie ». Selon le CNRTL, la tribu

312. Ce document ne semble plus disponible en ligne, mais est encore mentionné à cette adresse : https://noubel.com/premiers-pas-et-premieres-lectures-pour-entrer-dans-lintelligence-collective/ nous nous référons à une copie précédemment téléchargée (publication : 15 novembre 2004, révision : 24 août 2007)

désigne un « *groupe social, généralement composé de familles se rattachant à une souche commune, qui présente une certaine homogénéité* ». Il s'établit ainsi une relation personnelle avec la tribu, ce qui n'est pas le cas avec l'ethnie, qui désigne un « *groupe d'êtres humains qui possède, en plus ou moins grande part, un héritage socioculturel commun, en particulier la langue* ». Pour quantifier le réseau social naturel de l'adulte, sa « tribu » qu'il développe lors du troisième cycle, nous reprenons donc le nombre de Dunbar approché, soit 12[2].

Durant le quatrième cycle, l'acquisition d'expérience professionnelle conduit à l'élargissement du groupe des relations. Nous sollicitons donc le terme d' « ethnie » pour le qualifier. La quantification de cette « ethnie » sera relativement variable, en fonction de l'organisation sociale dans laquelle s'insère l'individu, et des responsabilités prises. Les limites "naturelles" sont dépassées grâce aux réseaux de transport et communication, et des « technologies organisationnelles ». Supposant une organisation en équipes hiérarchiques optimisées, c'est-à-dire avec des groupes de 12 personnes, nous obtenons des puissances de 12 en déployant la hiérarchie. Ces résultats entièrement théoriques peuvent cependant être mis en parallèle avec les différents types d'aires urbaines et découpages administratifs, ce que nous avons fait dans le tableau T56. Notons qu'une chaîne qui comporte 6 niveaux hiérarchiques est mémorisable en *Mémoire à Court Terme*.

Si nous avons pu trouver facilement des exemples pour chacun des niveaux, nous ne pouvons bien entendu aucunement affirmer que le découpage administratif suit ce modèle. D'une part, les échelles de l'administration territoriale intègrent plus de niveaux et chacun des niveaux présente des variations qui englobent plusieurs de nos niveaux. Il suffit de prendre quelques extrêmes pour trouver des communes sans habitants, village martyrs détruits pendant la guerre ou victimes de l'exode rural au cours du XXe siècle et des pays de plus d'un milliard d'habitants comme la Chine ou l'Inde. D'autre part, si la population des tribus respectait la limite calculée par Dunbar, depuis le néolithique, le découpage des territoires n'est globalement pas issu d'un auto-organisation ascendante mais plutôt d'une volonté de contrôle,

en particulier par l'impôt ou en fonction des ressources minières. Nous proposons cependant de conserver 12^n avec n>2 pour quantifier l'ethnie, ce nombre correspondant à une organisation hiérarchique ascendante organique adaptée aux limites cognitives de l'humain.

T56 — Hiérarchies d'équipes de 12 individus

niveau	*quantité*	*niveau*	*exemples*
0	$12^2 = 144$	-	réseau social personnel
1	$12^3 = 1\,728$	village	Sernhac (30), Pamproux (79) : 1 728 hab.
2	$12^4 = 20\,736$	"petite" ville	Orly, Blagnac, Fougères, Sedan, Voiron environ 20 000
3	$12^5 = 248\,832$	"grande" ville	Rennes, Lille, Bordeaux (216, 232, 252 000 en 2016)
4	$12^6 = 2\,985\,984$	région	Bourgogne Franche Comté, Normandie (2,8 et 3,3 millions en 2019)
5	$12^7 = 35\,831\,808$	pays	Pérou, Arabie Saoudite, Afghanistan, Maroc, Canada, Pologne (de 32 à 38 millions en 2018)
6	$12^8 = 429\,981\,696$	union de pays	UE : 446 millions (fév. 2020)

Sur la troisième période, l'activité décline progressivement. Sur le 5e cycle, dans lequel s'inscrit la retraite pour les pays qui l'ont développé, nous supposons un recentrage sur les rapports humains, en direct en limitant l'usage des technologies organisationnelles, plutôt déployées au sein des organisations professionnelles. Marquant la symétrie avec les deux cycles précédents, nous reprenons le terme de « tribu » avec sa quantification. Dans le 6e et dernier cycle, la réduction du nombre de relations se poursuit, liée à celle des capacités physiques. L'individu perd progressivement les proches de sa génération, et devient dépendant d'une « équipe » de proches pour l'assister, familial et/ou corps médical.

Le tableau T57 présente une synthèse de cette configuration.

T57 — Synthèse relationnelle

périodes & cycles	*âges*	*distance proxémique privilégiée*	*relations*	
			qualification	*quantification*
p1 c1	*0-6*	*intime*	*moi*	$12^0 = 1$
p1 c2	*7-18*	*personnelle*	*équipe*	$12^1 = 12$
p2 c3	*19-36*	*sociale*	*tribu*	$12^2 = 144$
p2 c4	*37-60*	*publique*	*ethnie*	12^n *avec* $n>2$
p3 c5	*61 - 90*	*sociale*	*tribu*	$12^2 = 144$
p3 c6	*91 - 126*	*personnelle*	*équipe*	$12^1 = 12$

Avant de conclure sur la présentation de cette première hypothèse, nous établissons une relation aux *phases de l'organisation*.

3.3.1.6. Relation aux phases de l'organisation

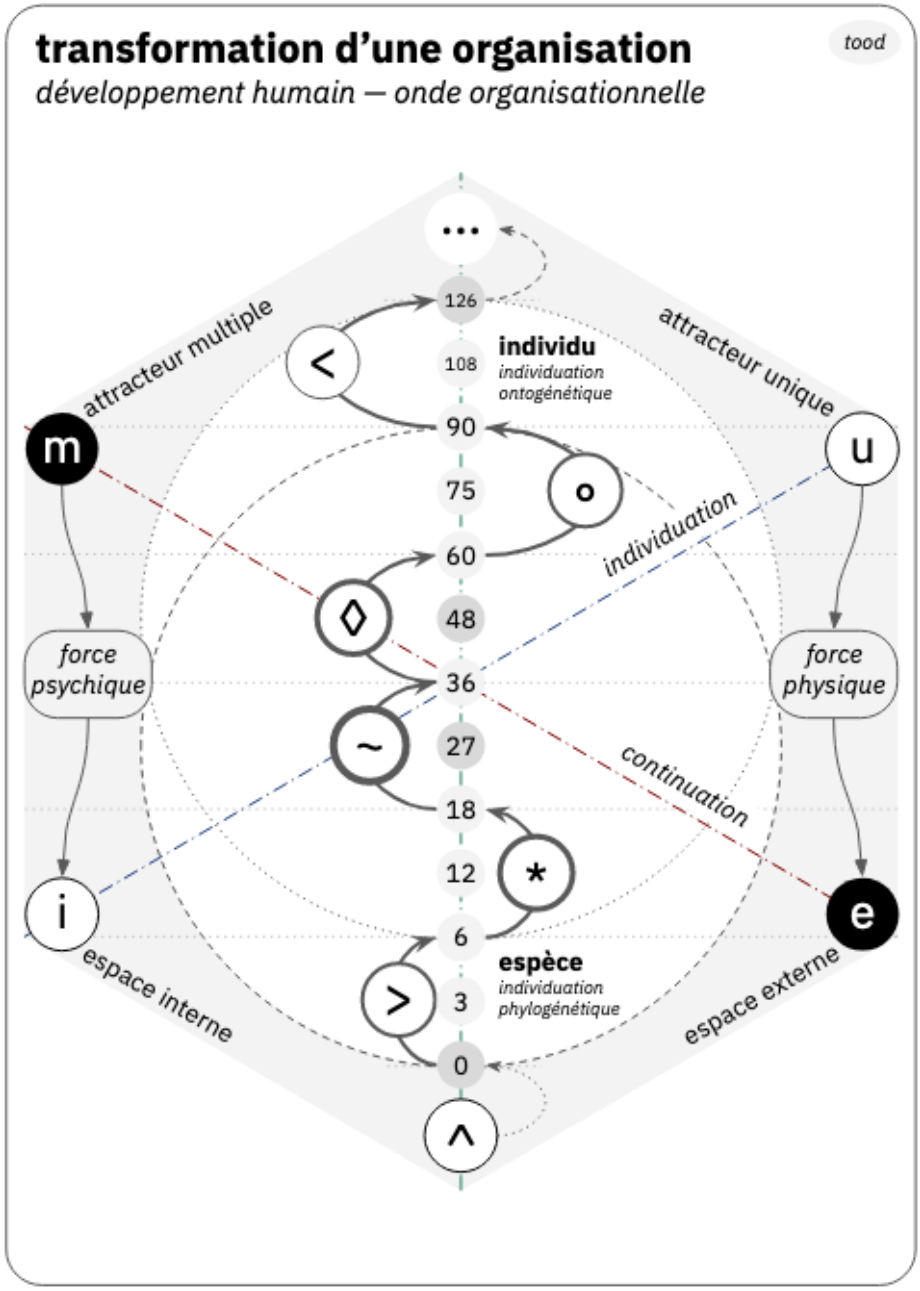
Notre modélisation de l'organisation comporte 8 phases. Or nous avons relevé une corrélation entre les 6 cycles et 6 de ces phases, sachant que les deux dernières traduisent les deux transformations extrêmes, initiale et finale, soit naissance et mort : les phases *éclosion* (^) et *décohésion* (...) sont assimilables à des portes d'entrée et de sortie. Ainsi, après l'*éclosion*, le premier cycle enclenche un parcours de croissance. Le second ouvre à un état de *manifestation*, le troisième s'approche de l'*équilibration*. Dans les trois cycles suivants, le parcours est progressivement décroissant. La *contradiction*, qui apparaît dans la prise de conscience des limites et de la finitude, trouve une réponse dans la *conservation*. L'*atténuation*, inévitable, s'achève par la *décohésion*, qui clôture l'ensemble de ces 6 cycles, symétriquement à l'*éclosion*. Les 6 phases centrales se regroupent ainsi par deux en 3 périodes. Le tableau T58 présente cette corrélation avec les stades d'Erikson. Le sens de lecture est ascendant.

T58 — Corrélation entre cycles et phases de l'organisation

cycles. âges	*stades, Erikson*	*phases de l'organisation*
c6. 90-126	*Transcendance*	*< atténuation*
c5. 60-90	*Sagesse*	*° conservation*
c4. 36-60	*Attention*[313]	*◊ contradiction*
c3. 18-36	*Amour*	*~ équilibration*
c2. 6-18	*Compétence Fidélité*	** manifestation*
c1. 0-6	*Espoir Volonté Conviction*	*> amplification*

La carte [*tood*], également de lecture ascendante, présente cette corrélation sous forme graphique, en faisant apparaître les 3 attracteurs et les 3 composants de l'organisation. Elle illustre également l'hypothèse d'un double développement, l'un lié à l'espèce, avec une fonction principale de *continuation*, « *fait d'assurer la suite* » (CNRTL), l'autre lié à l'individu, avec une fonction principale d'*individuation*, le second commençant avec un léger décalage. Le premier sollicite une *force physique*, issue de l'attracteur multiple et s'exerçant sur l'*espace externe*. Le second sollicite une *force psychique* s'exerçant sur l'*espace interne*. Dans cette modélisation, on notera le conflit entre les deux développements qui apparaît entre 36 et 60 ans lorsque les facultés physiques de l'individu vont commencer à décroître, ce qui correspond à la phase de *contradiction*. Notre représentation marque fortement le point de bascule par inversion de la sinusoïde du fait du croisement entre les attracteurs de transformation et les composantes de l'organisation. Le développement psychique de l'individu ne connaît pas cette décroissance sous réserve que ses facultés cognitives ne soient pas atteintes d'une maladie dégénérescente, comme celle d'Alzheimer.

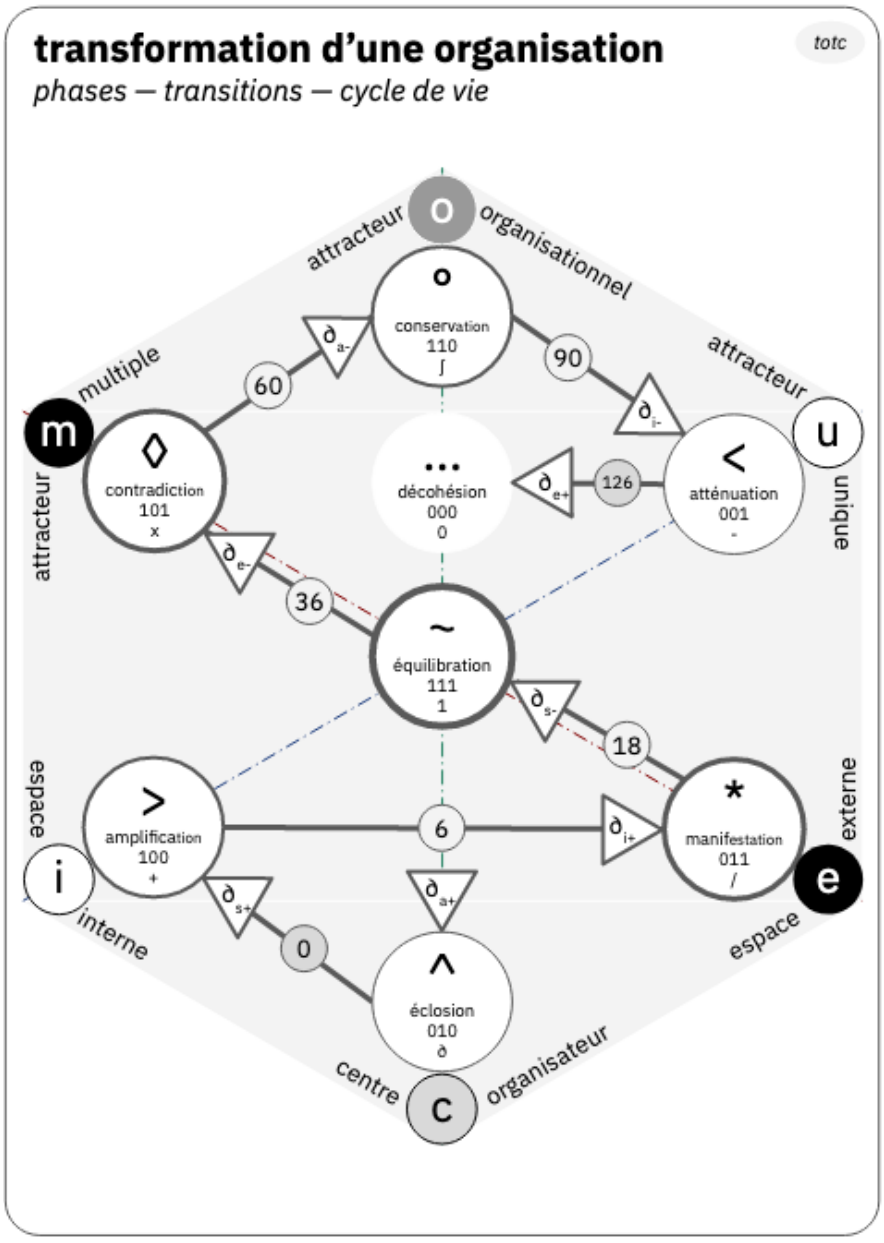
313. A ne pas confondre avec notre *boucle d'attention*



C240 — [tood] — transformation d'une organisation, onde organisationnelle

Si cette construction théorique semble présenter une certaine cohérence, cette modélisation n'est pas encore complète car il reste des points à éclaircir comme les conditions d'activation ou de blocage lors du passage d'une phase à la suivante, que nous décrivons avec les opérateurs de transformation.

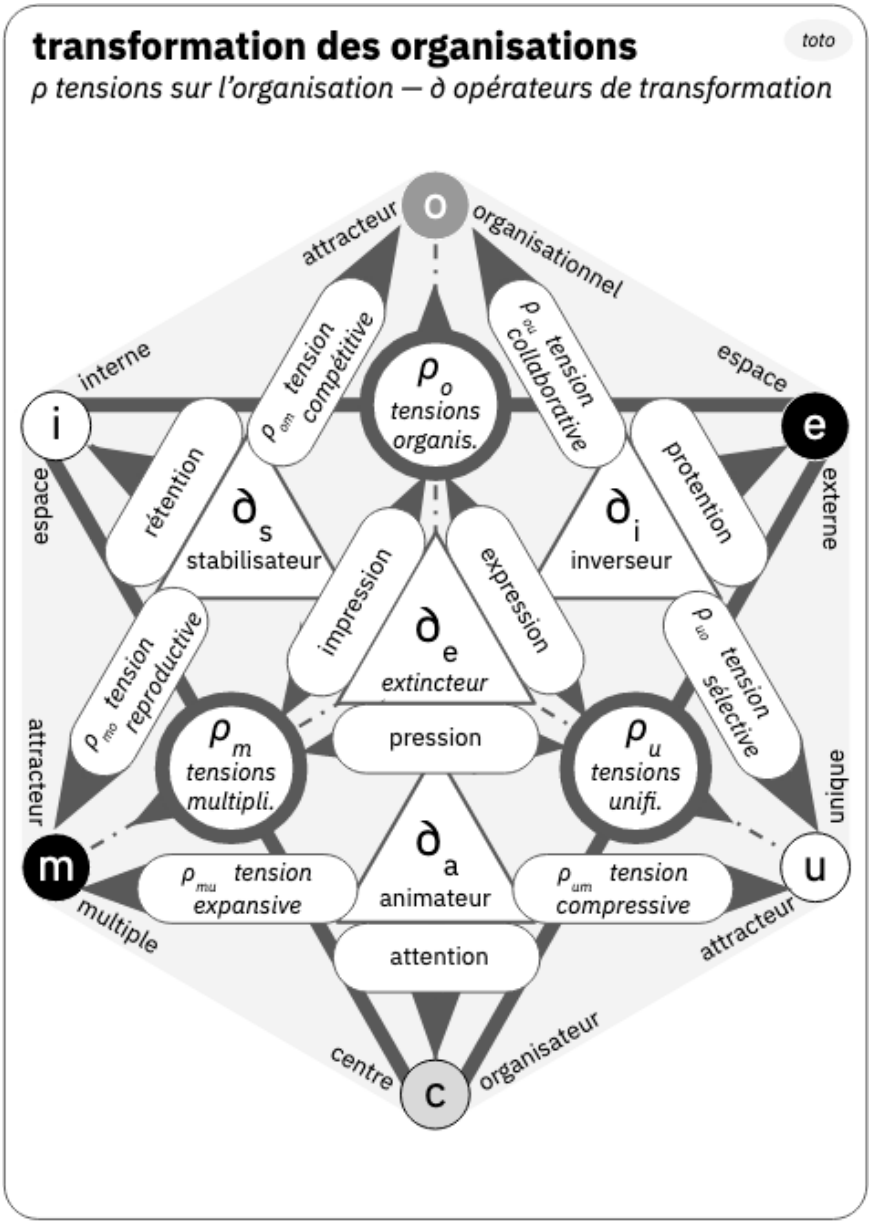
La carte [*totc*] illustre plus précisément ces transitions de phase associées au cycle de vie. Le passage d'une *phase* à l'autre se modélise à partir des quatre *opérateurs de transformation*, dans leur deux versions *majeure* et *mineure*. Associée à l'espèce, la version *majeure* se manifeste dans la première partie de vie puis à la fin. La version *mineure* est quant à elle associée à l'individu.



C241 — [totc] — transformation d'une organisation, transitions, cycle de vie

La carte [*toto*] remet en perspective les tensions sur l'organisation et les opérateurs

de transformation, sans distinguer leurs versions majeures et mineures, en les reliant à leur effets sur l'organisation, au niveau interne psychique (attention, rétention, protention) et externe physique (pression, impression, expression).



C242 — [toto] — transformation des organisations, tensions, opérateurs

Nous concluons la présentation de cette première hypothèse par une brève analyse critique, avant d'aborder les premières perspectives.

3.3.1.7. Critiques et perspectives

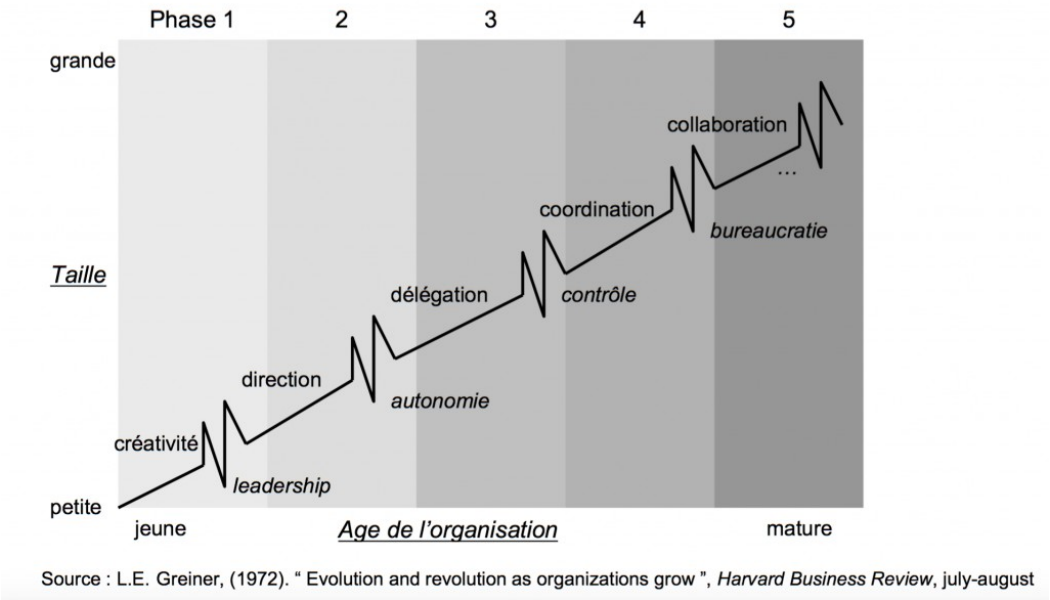
La première réserve sur cette hypothèse de « *transformation adaptative des organisations* » est indubitablement son manque de validation expérimentale. Et même si, en accordant différentes théories, elle semble apporter une certaine cohérence et ouvrir des perspectives de recherche, elle reste évidemment à soumettre à la critique des spécialistes des différentes disciplines considérées, ce qui suppose le montage de projets de recherche avec des d'équipes pluridisciplinaires. En fonction des retours, nous pourrons envisager différentes applications. Anticipant les premiers retours, nous entrevoyons déjà des applications dans le domaine du soin. En effet, le suivi des cycles permet potentiellement d'analyser des tensions internes, au sein d'un individu mais également entre individus au sein de groupes. Sur ce second point, les écarts d'âge dans une famille méritent d'être analysés, en particulier entre parents et enfants. S'ils restent constant toute la vie les champs d'attraction vont varier différemment en fonction de l'âge. Graphiquement, cette distance se traduit par une droite accrochée en deux points qui glissera sur la sinusoïde. Son oscillation ainsi que l'angle avec la dérivée en chacun des points est en mesure d'illustrer des variations de tension. Nous rejoignons ainsi le constat suivant : « *Aujourd'hui la famille se comprend mieux si on adopte une perspective développementale, car ce n'est pas un espace figé et immuable.* » (Delage, 2013:10). Bien entendu les paramètres que nous prenons actuellement en compte ne sont qu'une des composantes de la relation, qui dépend d'une multitude d'autres facteurs, tant internes qu'externes. En nous appuyant sur notre modélisation de la « triade constitutive du concept d'homme » d'Edgar Morin (carte [*ies*], § 3.1.2.), nous avons identifié deux autres « *transformations adaptatives* » : celle du développement de l'*espèce* et celle des *entreprises*, en tant que unités organisationnelles de la société. Pour la première, nous sommes parti des travaux de Greiner sur les crises que rencontrent les organisations lors de leur croissance. La seconde s'appuie sur la théorie de la « *spirale dynamique* » initiée par Clark Graves.

3.3.2. Transformation adaptative des organisations - la société (TAO-S)

Le deuxième volet de notre hypothèse de la « *transformation adaptative des organisations* » traite de l'organisation des individus en société.

Si l'on considère que l'histoire de l'humanité c'est l'histoire de ses modes de fabrication, on peut considérer la période de la *main*, de l'*outil*, de la *machine*, des *appareils* (Flusser, 2002:70). Et de Leroi Gourhan à Harari, nombreux sont les anthropologues et historiens à nous proposer des lectures de cette évolution éco-socio-technique. Comme vu précédemment, d'après Dunbar nos limites cognitives fixent la taille des tribus à environ 150 individus. Mais, de nos jours, le développement des réseaux de transport et de communication mettent en relation des organisations multinationales de plusieurs centaines de milliers de personnes, voire des états de plus d'un milliard de citoyens. Nous positionnant à l'époque contemporaine, nous considérons en priorités les organisations entrepreneuriales, indépendamment de leur forme juridique et modèle économique. Ces organisations ont de multiples finalités, cultures, structures et modes de gouvernance. Elles apprennent (Senge, 2016) se réinventent (Laloux, 2015). Les théories évoluent en parallèle (Pesqueux, 2018). Les modèles de croissance des organisations sont également nombreux, nous avons retenu celui de Greiner, qui reste toujours valable et enseigné, même s'il date quelque peu.

En étudiant la croissance et le développement des entreprises, Larry Greiner a mis en évidence l'existence de cinq phases de stabilité (Greiner, 1972). Dans le prolongement de ses travaux, il en a ajouté une sixième (Greiner, 1998). Chaque changement de phase est susceptible de s'achever par une crise de croissance. Ces crises dépendent de deux facteurs, l'âge de l'organisation et sa taille. La figure F3 illustre ce modèle.



F3 — Modèle de Greiner

Nous avons constaté une homologie de ce modèle avec le modèle de « *transformation adaptative des organisations* » sur trois points. Premièrement, le nombre de phases est identique à nos cycles, que nous interprétons comme étant sous l'influence de l'*attracteur organisationnel*. Deuxièmement, nous pouvons considérer que chaque crise correspond à un « *âge de bascule* », sous l'influence d'un des deux *attracteurs énantiologiques*. Troisièmement, ces crises semblent se succéder selon une alternance entre nos deux attracteurs. Nous relions ainsi la première, troisième et cinquième crise à l'*attracteur unique*, et la deuxième et la quatrième à l'*attracteur multiple*.

La première crise, de *leadership*, survient après la phase de créativité, expansive parfois dans plusieurs directions. Cette première crise de croissance de l'organisation répond à un besoin de structuration, formalisation des procédures, standardisation des produits, d'établissement de règles et d'une direction à suivre pour concentrer les forces de production et éviter l'éparpillement. Un nouvelle compétence est nécessaire, complémentaire à celles nécessaires au démarrage, que portaient le(s) fondateur(s).

La deuxième crise, d'*autonomie*, survient lorsque la croissance appelle une

expansion, une diversification, une répartition des responsabilités. La direction précédente n'est plus suffisante, elle doit être démultipliée. L'image de l'arbre peut illustrer ces 3 premières phases, créativité, direction, délégation, avec les racines, le tronc, le houppier, ensemble des branches et rameaux.

Cette expansion présente un nouveau risque de dispersion. La troisième crise, de *contrôle*, appelle une coordination, qui se définit comme une « *mise en harmonie de divers services, de diverses forces, de différentes composantes, en vue d'en renforcer l'efficacité* » (CNRTL).

La crise suivante, *bureaucratie*, résulte de la multiplication des procédures, qui complexifient et rigidifient la structure. Une organisation plus souple, plus collaborative, est nécessaire. La collaboration correspond à la « *participation à l'élaboration d'une œuvre commune.* » Elle donne préférence à des structures matricielles et un fonctionnement en mode projet.

La dernière crise est celle du *renouveau*, apporté par une croissance externe. L'alliance a un effet centralisateur pour conserver l'identité de la structure, au risque de la dissoudre dans la fusion.

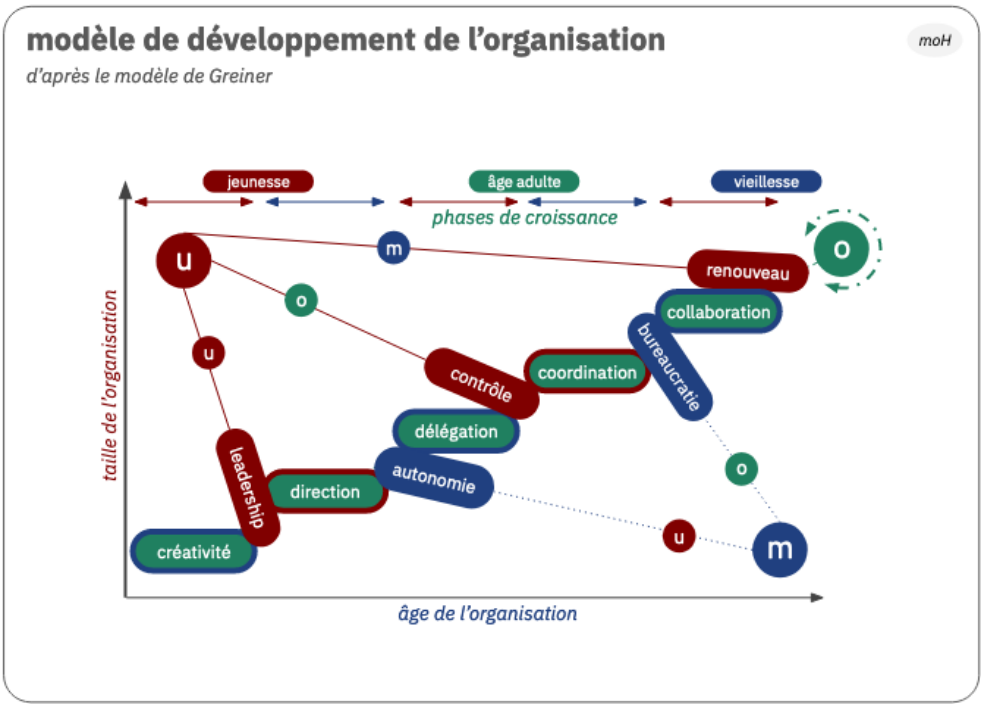
La comparaison semble ne guère pouvoir aller plus loin par manque de données. Nous avons consulté uniquement les deux articles cités, sans remonter à leurs sources : dans ses synthèses, Greiner n'indique pas les tailles et âges associés aux crises. De même, les chiffres varient probablement en fonction de plusieurs paramètres, dépendants ou non de l'organisation : le niveau de qualification du personnel, le modèle économique, l'innovation technologique, le secteur d'activité… L'entreprise est une organisation socio-technique. A la composante biologique humaine, s'ajoute donc une composante technologique non vivante, même si les systèmes deviennent progressivement plus adaptatifs, leur comportement se rapprochant de ceux de systèmes organiques. Les technologies issues du développement de l'intelligence artificielle seront potentiellement également en mesure d'influer sur ces cycles.

Cependant, pour tester notre hypothèse, nous avons tenté un rapprochement entre le modèle de Greiner et celui d'Erikson. Nous avons ainsi associé les phases du modèle de Greiner et les stades du développement psychosocial du modèle d'Erikson. La finesse du développement des premiers stades nous conduit à regrouper les trois premiers stades dans la première phase et les deux stades suivants dans la deuxième phase. Malgré cette limite, la correspondance nous semble déjà faire sens. Les qualités des stades paraissent en cohérence avec les qualités attendues aux différentes formes successives de l'organisation. Nos arguments sont synthétisés dans le tableau T59, qui se parcourt de bas en haut.

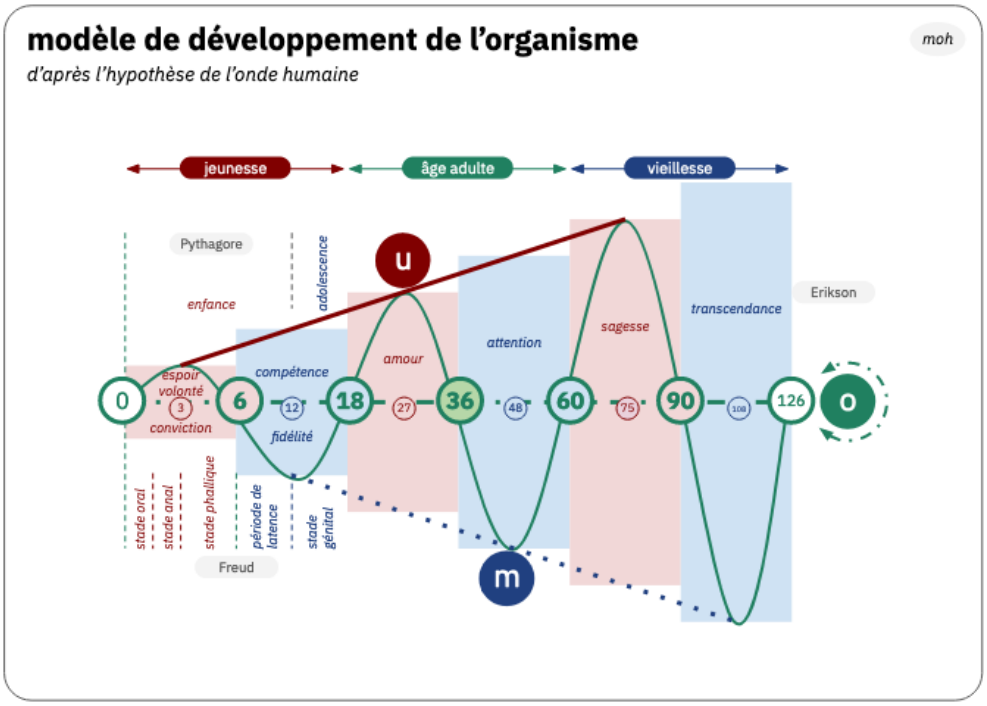
T59 — Interprétation du modèle de Greiner

modèle de Greiner				*Erikson : stades du développement psychosocial*
développement	*crise*	*phase*	*crise*	
phase 6		*alliance*		transcendance
crise 5	*renouveau*			
phase 5		*collaboration*		sagesse
crise 4			*bureaucratie*	
phase 4		*coordination*		attention
crise 3	*contrôle*			
phase 3		*délégation*		amour
crise 2			*autonomie*	
phase 2		*direction*		compétence, fidélité
crise 1	*leadership*			
phase 1		*créativité*		espoir, volonté, conviction
attracteur	*)u(*	*(o)*	*(m(*	

Avec la carte [moH], nous proposons à présent une représentation du modèle de Greiner qui met en évidence l'influence des trois *attracteurs*, ainsi qu'une comparaison avec notre hypothèse sur l'*onde humaine*, avec la carte [moh].



C243 — [moH] — modèle de développement de l'organisation



C244 — [moh] — modèle de développement de l'organisme

Sur la carte [*moH*] qui modélise le développement une macro organisation, on observe la répétition d'un même phénomène : une phases de stabilité sous l'influence dominante d'un des deux attracteurs antagonistes, suivie d'une crise comme résultant d'un phénomène de saturation, pour basculer vers une nouvelle période de stabilité sous l'influence de l'autre attracteur antagoniste. La carte [*moh*] qui modélise le développement humain, une méso organisation, est une représentation simplifiée de l'illustration P10 pour mieux illustrer la similitude du développement de l'organisation et de l'organisme. Sur les deux organisations, on note une influence des attracteurs à un double niveau. Au niveau du cycle de vie global nous distinguons ainsi trois périodes, que nous nommons *jeunesse*, *âge adulte* et *vieillesse*, en référence au modèle de développement humain, sous l'influence des deux attracteurs antagonistes, *unique* au début (potentiel) et *multiple* à la fin, suite à l'actualisation. Ce point de vue *spatial* sur la *transformation* est à mettre en rapport au point de vue inverse *temporel* de l'*organisation* qui s'est réalisée partant d'une *multiplicité* des possibles au démarrage arrivant sur un point *unique* à la fin de sa trajectoire. Sur le premier modèle, notre représentation fait apparaître un manque au niveau de la troisième période. Il a été reproché au modèle de Greiner d'être inapproprié aux petites structures, en particulier qu'il ne parvient pas à saisir les premières étapes importantes de l'origine et de la croissance d'une entreprise : « *the models fail to capture the important early stages in a company's origin and growth*. » (Churchill & Lewis, 1983). Ces chercheurs proposent ainsi un modèle de croissance des petites entreprises. Ils ont utilisé une combinaison d'expériences terrain, de revue de littérature et de recherche empirique : « *we used a combination of experience, a search of the literature, and empirical research* ». Leur modèle croise les mêmes critères, âge et taille de l'organisation, et définit cinq étapes successives de développement, nommées « *existence*, *survival*, *success*, *take-off*, *resource maturity* » (existence, survie, succès, décollage, maturité des ressources). Ce découpage nous semble encore en cohérence avec la modélisation des premières années de la vie. Nous n'avons pas cherché pour l'instant d'autres éléments de justification mais il nous semble

pertinent de poursuivre l'analyse ultérieurement en s'appuyant sur les modèles cycliques en économie. Leur étude est complexe car ces différents modèles sont de temporalités différentes, comme les *cycles de Juglar*[314] ou les *cycles de Kondratieff*[315], et donc imbriqués. De même, ils appellent à mettre en perspective entre autres le capital[316], le social[317], le vivant[318] et les représentations du monde[319].

Nous recentrant sur l'espèce humaine, nous sommes en mesure de proposer un troisième exemple.

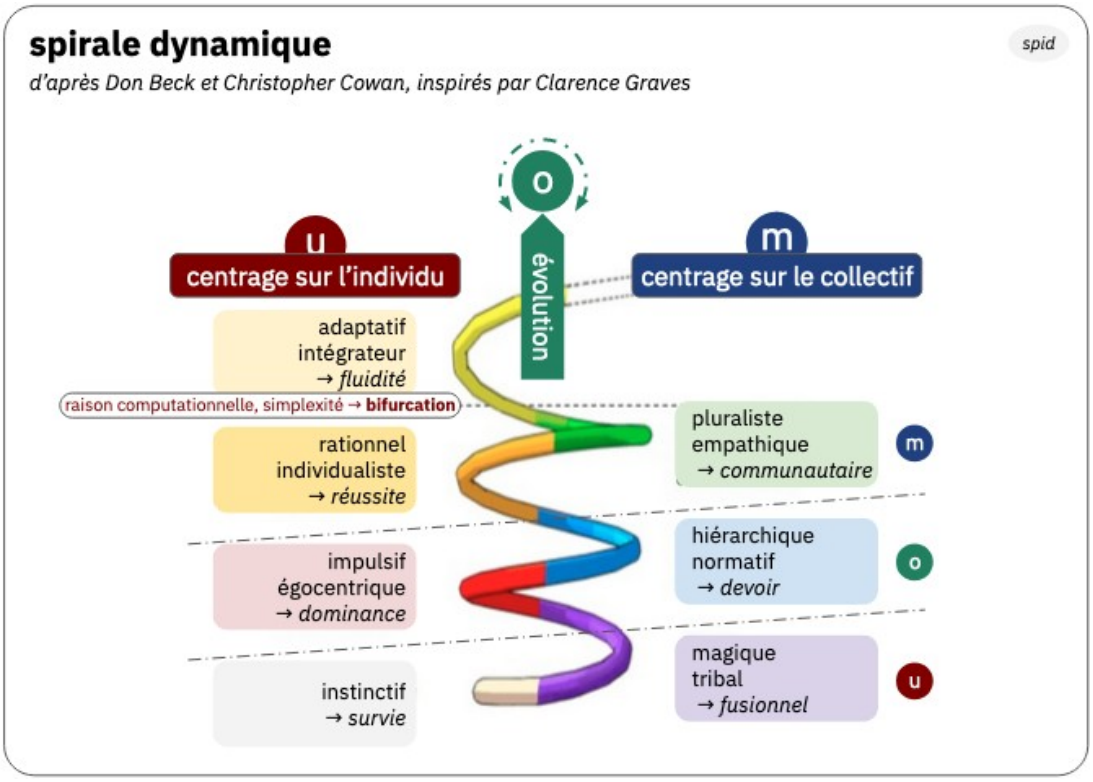
3.3.3. Transformation adaptative des organisations - l'espèce (TAO-E)

Le troisième volet de notre hypothèse de la « transformation adaptative des organisations » s'applique à l'espèce humaine. Il s'appuie sur une théorie en psychologie évolutionniste développée par Clarence Graves et intitulée « *The Emergent Cyclical Levels of Existence Theory* » (ECLET), soit « *théorie de l'émergence cyclique des niveaux de l'existence* ». Sa recherche se résume ainsi : « *En bref, ce que je propose, c'est que la psychologie de l'être humain mature est un processus en cours, émergent, oscillant, en spirale, marqué par la subordination progressive de systèmes de comportement plus anciens et d'ordre inférieur à des systèmes plus récents et d'ordre supérieur, à mesure que les problèmes existentiels de l'homme évoluent.* »[320] Cette théorie a été reprise par deux de ses élèves, Don Beck et Christopher Cowan, qui ont développé le modèle de la *spirale dynamique*, modèle d'un « *processus général de développement des valeurs individuelles et sociales* » (Ferber, 2009). Ken Wilber complète leurs travaux dans la *Théorie intégrale*, conception du monde et de l'évolution de la conscience humaine. Deux cycles sont

314. Sur les cycles de Juglar, voir en particulier : https://journals.openedition.org/ress/114
315. Sur les cycles de Kondratieff : https://www.cairn.info/revue-innovations-2004-1-page-9.htm
316. Cf. par exemple l'étude de Jean Zin : https://jeanzin.fr/ecorevo/politic/capital.htm
317. Cf. Karl Polanyi, La Grande Transformation (1944, 1983 pour l'édition française)
318. Cf. René Passet, L'économique et le vivant (1979)
319. Cf. René Passet, Les grandes transformations du monde et de l'économie (2010)
320. Traduction de « *Briefly, what I am proposing is that the psychology of the mature human being is an unfolding, emergent, oscillating, spiraling process, marked by progressive subordination of older, lower-order behavior systems to newer, higher-order systems as man's existential problems change.* » source : https://www.clarewgraves.com/articles_content/1974_Futurist/1974_Futurist.html

considérés, le premier regroupant les six premières phases, qui alterne entre centrage sur l'individu et centrage sur le collectif.

Nous y voyons clairement l'influence des deux attracteurs énantiologiques comme illustré par la carte [*spid*]. Comme pour l'exemple précédent, une analogie entre les différentes oscillations nous semble possible en effectuant une correspondance avec les deux premières modélisations. Au niveau du premier cycle, nous retrouvons en particulier les trois ondulations . Le passage du premier au second cycle est de l'ordre de la bifurcation. Dans notre interprétation, il suppose l'intégration de la pensée simplexe et le développement de la raison computationnelle. Nous pourrions alors parler d'une métamorphose de l'espèce. Ce travail reste à approfondir[321], et la correspondance à établir également avec un quatrième et dernier exemple.

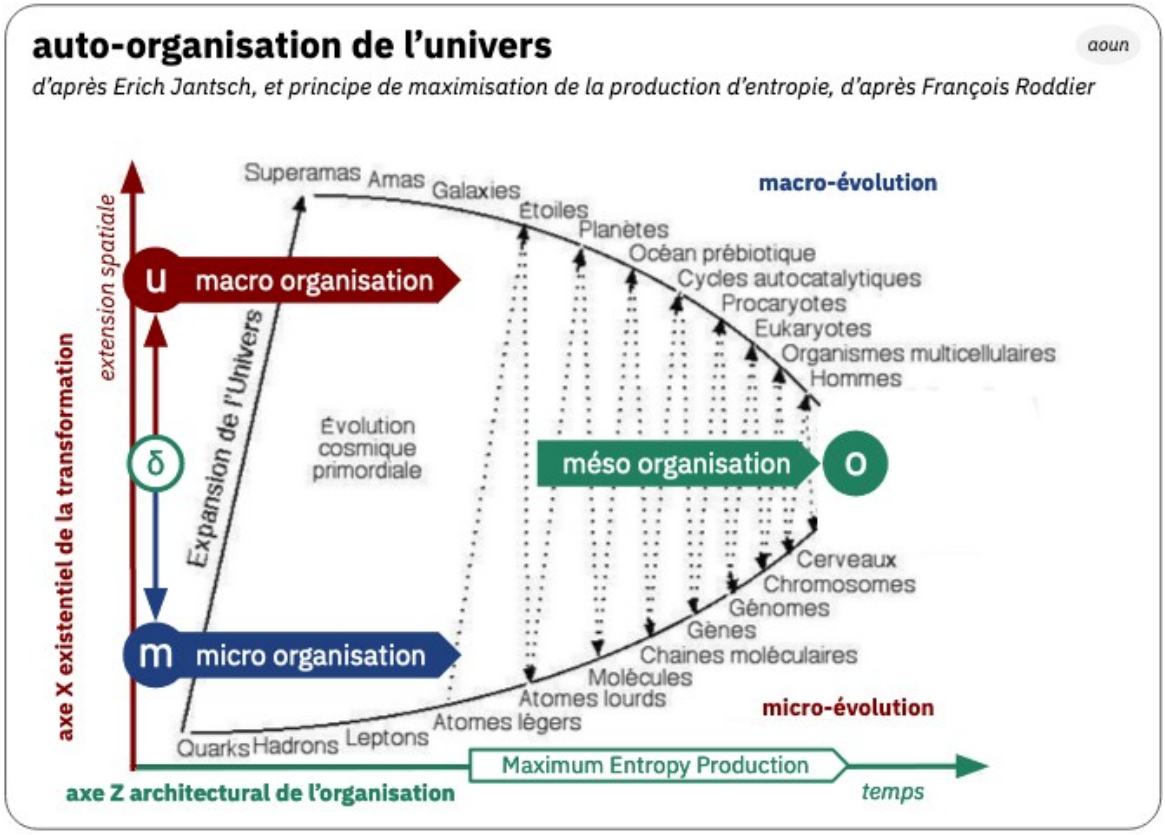


C245 — [spid] — spirale dynamique

321. En particulier pour un positionnement par rapport aux théories du transhumanisme, en distinguant bien les utopies des travaux et réflexions en cours : recherches sur l'augmentation de la durée de vie par manipulation génétique, production d'organes artificiels que Bernard Stiegler qualifie d'exo-somatiques…

3.3.4. Transformation adaptative des organisations - l'univers (tao-u)

Dans ce quatrième volet nous changeons d'échelle prenant pour objet non pas l'humain mais l'univers dans sa globalité. Nous nous appuyons pour cela sur la théorie d'un astrophysicien autrichien sur l'*auto-organisation de l'univers* (Jantsch, 1980). Cette théorie est inspirée des travaux d'Ilya Prigogine. Selon Erich Jantsch l'ensemble de l'univers s'auto-organise suivant des séquences similaires d'événements : une *macro-évolution* lente durant laquelle de larges structures se condensent est mise en parallèle avec une *micro-évolution* rapide durant laquelle de nouveaux constituants élémentaires se forment. Cette évolution est discontinue et génère de nouvelles organisations. Selon le physicien et astronome François Roddier, le principe de maximisation de la production d'entropie MEP, pour *Maximum Entropy Production*, expliquerait le sens de cette évolution (Roddier, 2012:52).



C246 — [aoun] — auto-organisation de l'univers

Nous interprétons cette double évolution par l'influence des attracteurs énantiologiques. Nous identifions alors le troisième attracteur, organisationnel, qui oriente les transformations. Notre hypothèse est illustrée par la carte [*aoun*] sur laquelle nous retrouvons deux de nos axes d'analyse, l'*axe existentiel X, de la transformation dans l'espace* et l'*axe Z architectural, de l'organisation dans le temps*. Le croisement des deux nous donne la description d'un *processus opérationnel*. Nous nous sommes appuyé sur un schéma de François Roddier, qui agrège deux schémas de Jantsch, sur l'évolution cosmique (Jantsch, 1980:94) et l'évolution biologique (*ibid.*, p.132) pour y ajouter la représentation des 3 trois attracteurs. Dans une troisième phase de l'évolution, déclenchée par l'apparition du langage au sein des sociétés humaines (*ibid.*, p.175) Jantsch identifie une évolution symbolique qui inverse le processus d'évolution de l'extension spatiale. Le langage devient ainsi la source d'une méta organisation au niveau symbolique, qui s'appuie sur la méso organisation constituée par l'homme et son cerveau. Cette méta organisation, que Jantsch appelle le *cerveau global*, mériterait d'être rapprochée d'un ensemble de théories comme l'inconscient collectif jungien, la noosphère de Teilhard de Chardin, le cybionte de Joël De Rosnay, ou le *Global Giant Graph* de Tim Berners Lee, l'inventeur du web.

La théorie de Jantsch mérite également une mise en perspective avec les recherches d'Olivier Auber, artiste et scientifique français, créateur d'un jeu en réseau appelé le **Générateur poïétique**[322] à partir duquel il a développé le concept de *perspectives anoptiques*. Le concept de **perspective anoptique** étend celui de la *perspective optique* apparue à la Renaissance avec la représentation du point de vue par le point de fuite. Trois types de perspectives anoptiques sont considérées, nous les rattachons aux trois attracteurs. Celle de *type I*, temporelle, est apparue lors de la révolution industrielle, quand la *synchronisation* des horloges fut rendue nécessaire avec le développement du chemin de fer, sous l'influence de l'*attracteur unique*. Celle de *type II*, numérique, se caractérise par ce qu'il qualifie de *code de*

322. Il peut être vu comme un modèle générique de systèmes complexes dont les règles sont ouvertes, et qui selon deux architectures, centrée et acentrée — cf. https://poietic-generator.net/

fuite, qui permet de *multiplier les échanges*[323], sous l'influence de l'*attracteur multiple*. Plus récemment, il introduit une perspective anoptique de *type III*, qualifiée de quantique, la plus proche du concept de « *l'être-en-réseau* » (Auber, 2019a). Cette dernière combine l'*unique* et le *multiple*, nous y voyons l'influence de l'*attracteur organisationnel*. Dans ses recherches, qui s'appuient entre autre sur les hypothèse de Jean-Louis Dessalles et Cadell Last, auteurs d'une théorie sur l'origine du langage (Dessalles, 2014) et sur l'évolution de l'univers (Last, 2017), il distingue également quatre singularités – *big-bang*, *abiogenèse*, a*technogenèse* et *aethogenèse* — que nous précisons ci-après. Selon le modèle cosmologique standard, le **big-bang** s'est produit il y a environ 13,8 milliards d'années. L'**abiogenèse** marque le passage « *d'un monde sans biologie vers un monde avec biologie* ». Dans l'état actuel des connaissances, elle date d'environ 4 milliards d'années. L'**atechnogenèse** désigne le passage « *d'un monde sans technologie à un monde avec technologie* », il y a environ 200 millions d'années. L'**aethogenèse** définit le passage « *d'un monde sans éthique à un monde avec éthique* ». C'est le défi à relever à l'heure de la menace sur la biodiversité et du changement climatique. Chacune de ses singularité correspond à un point focal, de *bifurcation*, nous y voyons l'influence de l'*attracteur unique*, qui est à l'origine d'une explosion, sous l'influence de l'*attracteur multiple*, et conduit à un changement de niveau d'organisation, sous l'influence de l'*attracteur organisationnel*. Ainsi le big-bang a augmenté la diversité de la matière, l'*abiogénèse* celle de la diversité du vivant, et l'*atechnogénèse*, liée à l'apparition du langage, celle de la diversité symbolique. Quand à l'effet de l'*aethogenèse*, il reste à débattre.

Avec ces deux exemples, issus des travaux de Janstch repris par Roddier, et les expérimentations d'Auber, il nous semble apercevoir une cohérence globale dans le processus d'auto-organisation de l'univers. Comme pour les autres niveaux, la description des phénomènes semble être modélisable à l'aide de trois *attracteurs*, et prendre la forme d'une *onde organisationnelle*. Ces recherches restent à

323. En s'appuyant sur la propriété de *reproductibilité instantanée* du numérique, conférée par l'automate. Le GP a été expérimenté sur le Multicast Backbone mondial en 1996

poursuivre tant au niveau macro que micro[324], mais le renfort de spécialistes de ces théories est nécessaire pour aller plus loin.

3.4. Conclusion de l'évaluation

Les trois axes d'évaluation présentés dans cette troisième partie ont été menés en parallèle. Les états d'avancement différent selon les axes et les projets. Cette approche est rendue possible par le champ d'application élargi de nos propositions ainsi que leur modularité. Cette méthode de travail, itérative et adaptative, est inspirée du vivant . Chaque incrémentation est soumise à des nouveaux cas d'étude et chaque cas d'étude incrémente la version de nos représentations. Cette suite apparaît cependant convergente, avec un pas qui s'affine au fur et à mesure des explorations et expérimentations. Nous avons conscience que cette démarche empirique ne permet aujourd'hui qu'une validation intermédiaire de nos propositions. Et, si nous entrevoyons une analogie et une compatibilité avec plusieurs théories dans des disciplines des sciences humaines et sociales — anthropologie, sociologie, psychologie — ces premiers résultats méritent d'être approfondis et ajustés avec des spécialistes de ces disciplines. Pour cela, nous envisageons la mise en place d'un outil d'évaluation spécifique, construit sur nos représentations. Cette démarche sera engagée avec une intention pédagogique, afin d'accompagner les usages, et approfondir les pratiques. Nous nous orientons vers une co-construction de ces supports en partenariat avec nos clients ou collaborateurs. Ce point a déjà été évoqué en particulier sur les deux projets en cours. Cette démarche est néanmoins esquissée sur un mode informel, laissant la voie ouverte à d'ouvrir dès à présent la voie à de nouvelles recherches. Si l'intérêt de nos premiers résultats semble avant tout se trouver du côté de l'établissement d'un langage commun, transdisciplinaire, d'acquisition progressive; leur limite est en revanche le stade général d'esquisse. Nous projetons de développer cette esquisse dans différentes directions, présentées dans la quatrième et dernière partie, *Critiques et Perspectives*.

324. Pour en particulier considérer la *Théorie de l'onde pilote* de Louis de Broglie qui s'est affinée dans la *Théorie de De Broglie-Bohm*

4. Critiques et Perspectives

4.0. Introduction du déploiement

Le terme de *déploiement* évoque la thèse éponyme de Nick Sousanis, en science de l'éducation, réalisée dans le langage de la bande dessinée (Sousanis, 2015). Formant la dernière partie, ce déploiement se subdivise en deux sous-parties. Dans la première, nous portons un regard critique sur nos travaux. Commençant par un rappel des points clés de notre modélisation de la transformation des organisations, nous soulignons l'originalité de notre apport, tout en précisant ses usages et délimitant son périmètre. Nous terminons cette critique en mentionnant les limites ou obstacles rencontrés dans les premiers usages. Dans la seconde nous présentons les développements envisagés à l'issue de nos travaux, ébauchant un programme de recherche pour certainement plusieurs années. Sous l'influence des trois attracteurs, ces perspectives sont centrées sur les trois significations du sens précédemment évoquées (§ 3.1.3.2 sous-cas c2a), la sensibilité, l'intelligibilité et la direction. La *sensibilité* ouvre différentes pistes applicatives, principalement dans la pédagogie et le soin. L'intention première est de transmettre nos résultats, dans une pensée qui se veut à la fois critique, créative, bienveillante et optimiste[325]. Cette voie devrait nous conduire à collaborer avec des spécialistes de différents langages, tout en intégrant une dimension ludique pour en faciliter l'accès. L'*intelligibilité* nous invite à poursuivre nos recherches, en particulier sur les ondes. Pour cela, nous serons certainement amenés à approfondir nos connaissances en mathématiques mais également dans les sciences du vivant, pour prendre en compte les différents rythmes[326], ainsi que dans le domaine juridique, pour identifier des usages prescriptifs, en s'appuyant sur des processus d'atténuation et de modulation afin de limiter les tensions sociétales. Enfin, la *direction* appelle à des usages créatifs, par exemple des productions ou co-productions dans le domaine artistique.

325. En référence à l'article « *Quadruple Thinking: Caring Thinking* » de Mehmet Ali Dombaycı, Metin Demir, Sinem Tarhan & Hasan Bacanlı (2011) : https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.02.067
326. Tels que décrits par le professeur Albert Goldbeter — cf. Bibliographie

4.1. Critiques

4.1.1. Synthèse, résumé des concepts clés et de leur articulation

La partie 2 a présenté un nombre important de concepts, et la partie 3 des applications variées. Pour aborder l'analyse critique de cette recherche, il nous semble utile de rappeler les principes essentiels du modèle logique proposé, selon une vue complémentaire à la synthèse logique présentée dans le § 2.4.5.

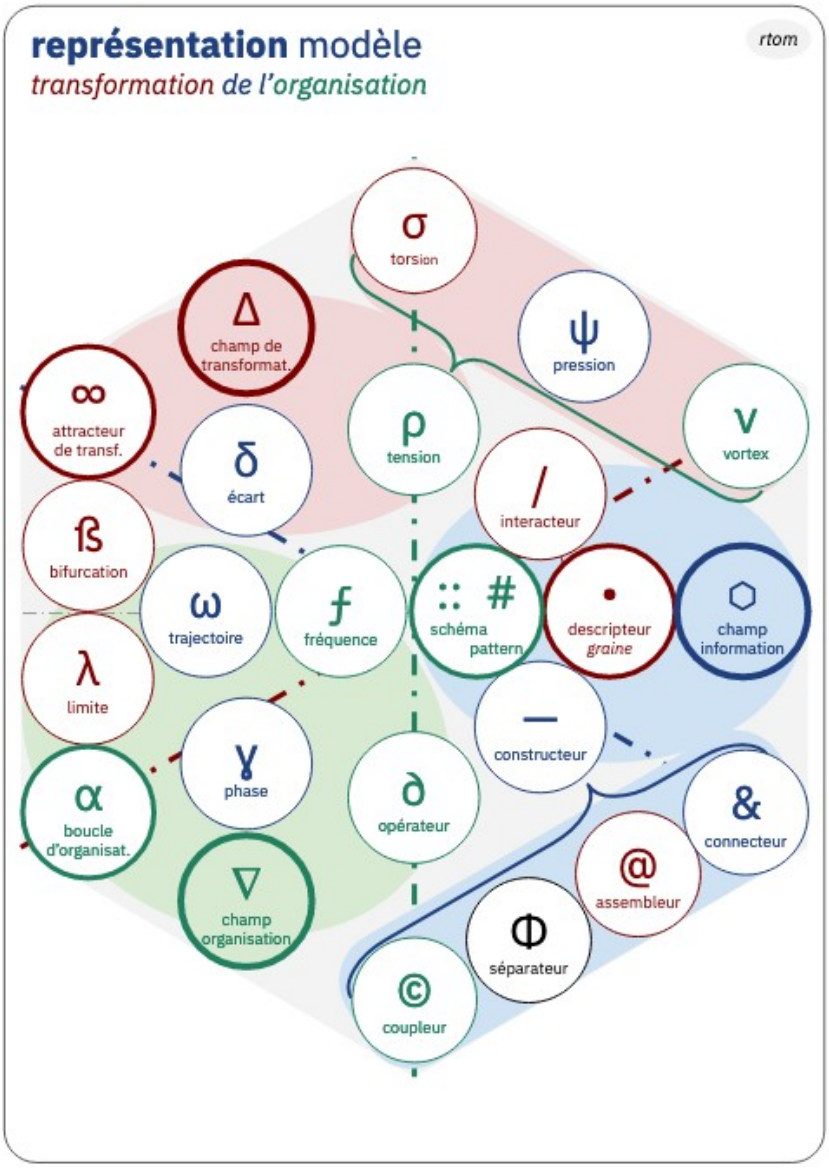
Notre modélisation s'appuie sur la logique antagoniste de l'énergie, logique du tiers-inclus. Nous sollicitons le concept d'*attracteur*, un attracteur non localisé à effet permanent, pour représenter la transformation : deux attracteurs antagonistes, plus un troisième attracteur, produit du tiers-inclus, qui est à l'origine de l'organisation. Ces trois *attracteurs*, qualifiés de *multiple*, *unique* et *organisationnel*, et respectivement notés *(m(*, *)u)* et *(o)*, génèrent un *champ de transformation*, noté Δ dans lequel les *écarts* entre les *attracteurs* sont la source de *tensions* dont la notation générique est respectivement δ, ∞ et ρ. Ces *tensions* sont résolues sous l'influence des trois *attracteurs*, selon trois processus complémentaires : la *propagation* sous l'influence de *(m(*, la *concrétisation* sous l'influence de *)u)* et la *complexion* sous l'influence de *(o)*. Le processus de *complexion*, sous l'effet des deux attracteurs, *unique* et *multiple*, génère respectivement des *torsions* et des *pressions*, notés σ et ψ, leur combinaison produisant des *vortex*, tourbillons notés v. Ces différents processus du champ de transformation conduisent à l'émergence de boucles de rétroaction de trois natures différentes, toujours en fonction de l'effet des attracteurs, qui s'expriment dans trois composantes de l'organisation, également associées aux trois attracteurs. Les boucles externes, sous l'effet de l'*attracteur multiple*, agissent dans l'*espace externe*. Elles permettent de représenter des processus purement physiques, comme la formation de cellules de Bénard ou la cristallogenèse, dans une relation transductive. Les boucles internes, sous l'effet de l'*attracteur unique*, agissent dans l'*espace interne*, le structurant, en complément aux boucles externes d'interaction de la structure dans son environnement. Elles

permettent de représenter les processus métaboliques du vivant, dans une relation homéorhésique. La troisième boucle, *organisationnelle*, relie les deux premières, traduisant le principe de *couplage*. Elle est associée au concept de *centre organisateur*, l'équivalent d'un centre de gravité dynamique. L'organisation produite présente trois propriétés, relevant des trois opérateurs de transformation : l'émergence, « *le tout est plus que la somme de ses parties* », la fractalité « *le tout est semblable à l'une de ses parties* », et le caractère holonique, un holon désignant une structure qui est à la fois « *un ensemble de parties et la partie d'un tout* », cette dernière propriété traduisant l'émergence de *niveaux d'organisation*.

Les états élémentaires de l'organisation sont traduits par le concept de *phase*, noté ɣ. Nous identifions huit phases principales en fonction de l'état des boucles, actives ou non. Le changement de phase est modélisé par quatre opérateurs de transformations, à deux états chacun, dénommés *majeur* et *mineur*. Ces opérateurs, notés *ò*, modélisent la *propagation* d'une *tension* entre les *attracteurs*. En fonction de l'activité des attracteurs, trois combinaisons sont possibles, (m(—)u), (m(—(o), (o)—)u), auxquelles s'ajoute une quatrième lorsque les attracteurs, (m(—(o)—)u), sont actifs simultanément. Nous définissons également le concept de régime du centre organisateur distinguant cinq régimes principaux, en fonction de l'influence des attracteurs, qui vont permettre de modéliser la transformation en s'appuyant sur le concept de bifurcation, régimes et bifurcations étant homologues. Le *centre organisateur* peut être contrôlé, il sera alors fluctuant par défaut, et plus fortement attiré par l'un des deux attracteurs, *unique* ou *multiple*, dont l'influence conjointe générera un régime *vibratoire*. Le dernier régime, de *résonance*, est atteint lorsque deux structures vibrent en phase; il rend effectif la *transformation*. En nous appuyant sur ces représentations, nous proposons un *langage de description*, à l'intersection de la *logique de transformation* et la *logique d'organisation*. Nous définissons ainsi neuf descripteurs, appelées *graines d'information*, qui traduisent une relation concrète entre les trois attracteurs de transformation et les trois composantes de l'organisation, auxquels s'ajoute un dixième descripteur, exprimant une abstraction, une thématique ou un concept. Trois *constructeurs* servent à relier

ces descripteurs, permettant de construire des *schémas de représentation*, un quatrième délie. Différents assemblages de descripteurs traduiront différents points de vue, représentations personnelles. Des interacteurs servent à modéliser le processus d'alignement de ces représentations, pour construire une représentation collective.

Deux cartes, [*rtom*] et [*rtor*], illustrent et résument cette représentation de la transformation de l'organisation sous deux formes complémentaires.

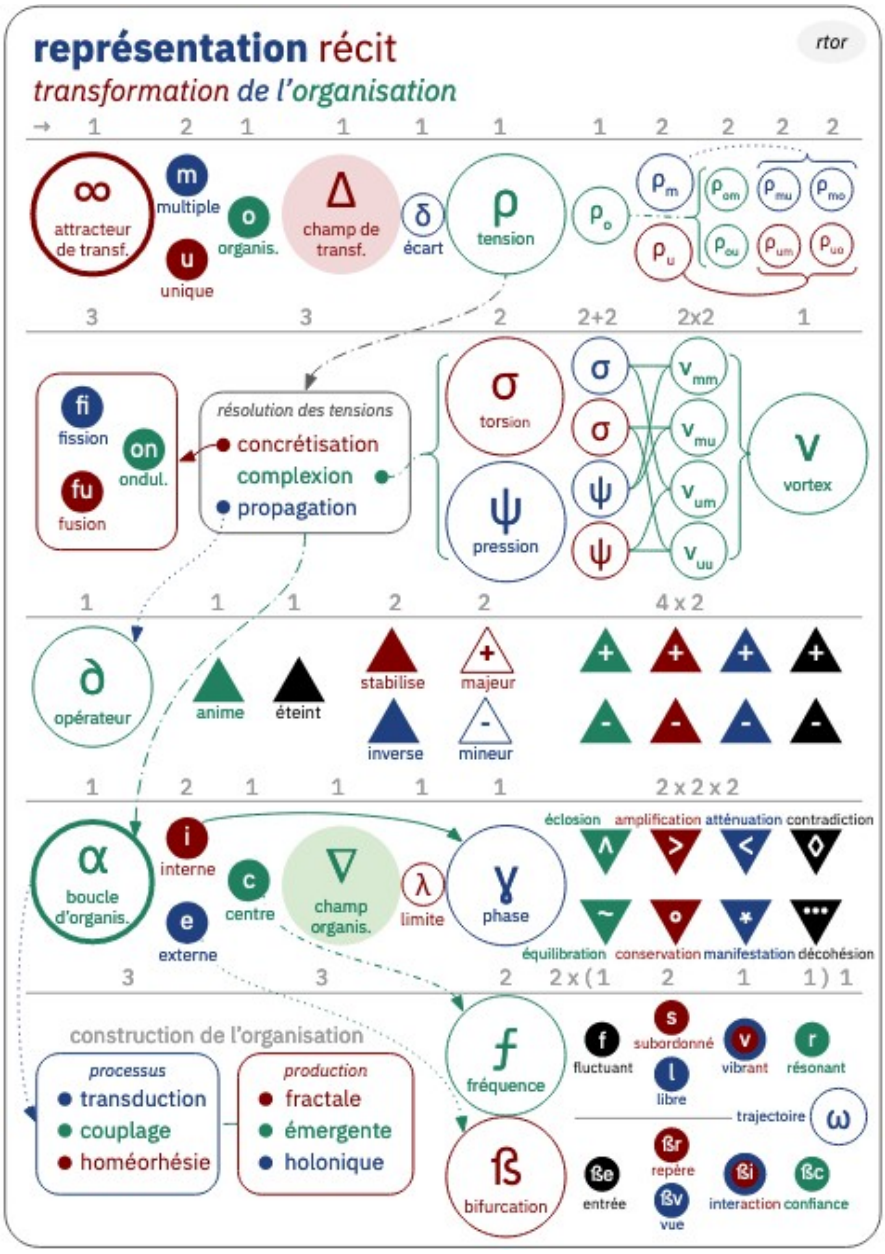


C247 — [rtom] — représentation, modèle

La première, appelée le *modèle*, traduit spatialement les relations entre les différents concepts, tandis que la seconde, le *récit*, en propose une lecture linéaire.

Ces deux vues présentent néanmoins quelques différences que nous précisons ci-après. La *vue modèle* introduit le champ informationnel avec les concepts de descripteur, constructeur, interacteur et schéma, visibles au centre, ainsi que le paramètre de fréquence, associé aux boucles d'organisation et aux phases, et dépendant potentiellement des attracteurs.

La *vue récit* introduit progressivement les concepts, le nombre de variantes associé étant mentionné au-dessus de chaque ligne. Elle précise le processus de résolution des tensions et de construction de l'organisation.



C248 — [rtor] — représentation, récit

La concrétisation en particulier sous-tend les principes de fission et fusion, mais également la génération de l'onde. Elle introduit également les vortex, avec leur quatre variantes. Elle détaille également les huit opérateurs, et les huit phases, ainsi que les cinq bifurcations, établissant le parallèle avec les cinq régimes du centre organisateur.

Cette construction est une proposition de représentation des principes de transformation et d'organisation. Elle s'appuie sur une logique ternaire et dérive du principe antagoniste de l'énergie. Établie progressivement, elle intègre et affine notre précédent modèle de description du fonctionnement des organisations, issu de notre expérience en architecture de l'information, à l'aide de dix descripteurs appelés *graines d'information*.

L'ensemble des concepts introduits ont été choisis en référence à des concepts existants dans différents domaines, comme l'*attracteur* en *théorie du chaos*, la *bifurcation* en *théorie des catastrophes*, ou la *transduction* dans la philosophie de Simondon. Certains termes ont été choisis par analogie, comme *phase*, utilisée en science des matériaux, *homéorhésie*, en biologie ou *couplage*, issu de la physique ondulatoire mais également de la *théorie de l'énaction*. Le mixage a été fait en respectant le sens principal des termes spécifiques dans chacune des disciplines mais nous en faisons un usage spécifique, qui reste à affiner au fur et à mesure des évolutions de ce modèle, considéré dans un état d'*esquisse*[327]. Le choix des noms des opérateurs, des phases, des régimes et des points de bifurcation utilise des termes plus communs dont l'interprétation est sujette à variation. Leur signification profonde s'obtient par leur position dans la modélisation.

Nous analysons à présent les intérêts de cette démarche.

327. Terme utilisé en référence à l'ouvrage *Esquisse d'une sémiophysique* de René Thom (1988) et à l'essai *Esquisses*, du sinologue Jean-François Billeter, aux éditions Allia (2018).

4.1.2. Apports, usages et périmètres

Le premier intérêt de notre modélisation nous semble être sa dimension heuristique. Celle-ci se manifeste à différents niveaux, tant pratique que théorique. Nous entrevoyons également un intérêt en relation avec la *raison computationnelle*.

A un premier niveau, pratique, les représentations de la transformation et de l'organisation préfigurent des grilles d'analyse permettant de recueillir des éléments d'information sur des organisations à différentes échelles et selon différents points de vue. Ces éléments d'information portent aussi bien sur des entités que sur des relations. Les entités formalisent des unités d'information de natures différentes : par exemple un objet aussi bien qu'un sujet, un événement aussi bien qu'un objectif. Chaque nature d'unité définit une dimension, la grille permet de collecter des unités sur dix dimensions complémentaires. Elle reste cependant appréhendable puisque ces dimensions se projettent sur trois axes principaux, les trois axes de l'outil d'observation. Son design nous semble être pleinement inscrit dans une démarche de simplexité.

En effet, le codage des informations dans un langage de description formalisé permet d'aborder la complexité systémique des organisations, c'est-à-dire « *composées d'éléments qui entretiennent des rapports nombreux, diversifiés, difficiles à saisir par l'esprit, et présentant souvent des aspects différents* »[328]. Par comparaison de différentes collectes, il devient même possible d'approfondir l'analyse selon plusieurs points de vue, laissant la possibilité d'enregistrer des informations contradictoires. La collecte peut tout à fait être fractionnée, organisée par répartition selon différents critères, spatiaux, temporels, dimensionnels par nature de descripteurs, voire thématiques. L'usage de descripteurs communs facilite également la synthèse, c'est-à-dire la construction d'un schéma contenant les unités communément partagées.

Le passage du point de vue personnel au collectif mérite cependant une attention particulière. Dans la première application réalisée pour le tourisme, les deux modes

328. https://www.cnrtl.fr/definition/complexe

étaient accessibles simultanément. Dans une optique d'optimisation, la mise à disposition pour le collectif d'une unité d'information personnelle était simplifiée au maximum. Cette approche nous semble cependant être une source de confusion potentielle. L'élaboration d'un schéma commun à partir de points de vue individuels appelle un processus itératif. Nous avons proposé de corriger cela en introduisant le concept d'*interacteur*. L'interacteur permet une gestion en plusieurs étapes, passant d'une mise en contact, à un échange puis un ajustement, pour aboutir à une harmonisation. Le constructeur de couplage traduit cette relation entre deux unités semblables. L'usage de ce mécanisme n'a cependant pas encore pu être testé.

Revenant sur la **simplexité**, nous avons remarqué que les principes identifiés par Alain Berthoz dans son analyse du vivant s'inscrivent naturellement dans notre modélisation. Le principe d'inhibition correspond au blocage du contrôle par le centre organisateur pour laisser s'exprimer l'influence conjointe des attracteurs antagonistes afin d'aller vers un régime vibratoire, voire résonant. Les principes de spécialisation et de coopération se modélisent par les tensions résultantes entre les deux attracteurs antagonistes. La spécialisation traduit un mouvement de l'unique vers le multiple, la coopération un mouvement inverse du multiple vers l'unique. Le principe du détour se retrouve dans la résolution par complexion et l'intervention de la torsion. Pour le principe d'anticipation, nous pouvons le relier à l'effet d'entraînement du phénomène de résonance. Ces hypothèses restent bien évidemment à approfondir.

Il semble cependant que le langage de description proposé ne se limite pas à des usages pratiques pour décrire et modéliser le fonctionnement d'organisations. Il permet également de réinterroger des théories et modèles du point de vue de la transformation. Sur ce point plus théorique, l'usage de la logique antagoniste permet de repositionner des théories sur l'évolution des transformations et de l'organisation apparemment contradictoires mais qui nous apparaissent simplement complémentaires. Nous précisons ce point pour les trois disciplines de l'Anneau des disciplines que nous avons positionné sur le plan de la réalité — cf. carte [*ppen*].

Ainsi dans le champ de la physique et chimie, le second principe de la thermodynamique, datant de 1824, qui définit l'augmentation de l'entropie est devenu une référence universelle, conduisant à la mort thermique de l'univers contre lequel sembler lutter le vivant. N'oublions pas que cette loi s'applique dans un espace clos[329]. Elle traduit un phénomène de dispersion, soit l'influence de l'attracteur multiple dans notre représentation. En considérant les systèmes ouverts, nous voyons apparaître l'influence de l'attracteur unique, de sens opposé au précédent. Notre proposition de représentation positionne ces deux attracteurs strictement au même niveau, sans privilégier l'un par rapport à l'autre. Cela a une répercussion sur l'interprétation du temps puisque à la traditionnelle flèche du temps de la cause vers l'effet, s'oppose une flèche inverse de l'effet vers la cause, qui résulte de la capacité de mémorisation, forme de potentialisation du système considéré. Cette boucle de rétroaction détermine un cycle. En recourbant la flèche du temps, que nous modélisons par l'effet de torsion, nous relions l'avant et l'après. Si le dire, le voir et le sentir s'expriment dans le présent, le prédire, le prévoir et le pressentir traduisent cette inversion. Point fondamental, ces propriétés ne peuvent s'exercer qu'à partir de la structure considérée et ne peuvent agir que sur sa propre transformation. Des forces externes opposées pouvant toujours contredire l'engagement de la structure. Notons que ce phénomène n'est pas directement lié à la conscience.

Dans le champ du vivant, le Darwinisme, datant de 1859, sert de référence générale, par rapport à laquelle se positionnent les théories ultérieures, qui précisent surtout le phénomène de sélection naturelle, le rôle du hasard, ou les paliers d'évolution. Le Darwinisme se traduit là encore par l'influence première de l'attracteur multiple. Pourtant l'influence de l'attracteur unique pourrait être considérée d'importance équivalente pour expliquer le développement du vivant, avec la *théorie symbiotique de l'évolution*, mise en avant entre autres par la biologiste Lynn Margulis. La *symbiose* expliquerait ainsi l'apparition des organismes multicellulaires, par association puis spécialisation. L'**endosymbiose** correspond à

329. Dans le cas de l'univers, il ne s'agit que d'une hypothèse parmi d'autres, issue des limites de nos observations

l'inclusion d'organismes distincts. En plein développement, la *théorie endosymbiotique* fait ainsi évoluer l'*arbre phylogénétique* en *buisson sphérique*[330] qui prend de plus en plus la forme d'un réseau au fur et à mesure que de nouvelles interactions et dépendances sont découvertes. Le processus de chimérisation est également invoqué pour décrire ce phénomène.

La prédominance du principe d'actualisation, que nous traduisons par l'influence de l'attracteur multiple, s'explique sans doute par plusieurs raisons. L'une d'elle est le décalage historique dans l'émergence de ces théories complémentaires. Ainsi, la méthode scientifique de Descartes date de 1637 alors que la systémique se développe dans la deuxième moitié du XXe siècle. Le second principe de la thermodynamique est énoncé pour la première fois en 1824 par Sadi Carnot, alors que les principes d'émergence et d'auto-organisation font suite aux théories des systèmes. Un second facteur est le caractère prédictif du sens potentialisation-actualisation, qui correspond à notre fonctionnement : la connaissance est vue comme préliminaire à une action raisonnée. Mais le « *je pense donc je suis* » cartésien induit une négation — « *je ne pense pas il est possible que je ne sois pas* » — qui met l'humain au premier plan, occultant le rôle de toutes les autres espèces vivantes. Et s'il est possible de contrôler la matière inerte avec une logique binaire, le vivant et les systèmes complexes semblent répondre à une autre logique, celle du tiers-inclus.

Un troisième avantage, largement exploité durant la thèse, est d'introduire la pensée numérique sans utiliser de dispositif numérique ou avec des dispositifs légers et ouverts, comme un simple tableur[331]. Par pensée numérique, nous faisons référence aux apports de la *raison computationnelle*, principalement la *couche* et le *réseau*, les deux autres apports, le *programme* et la *maquette numérique* nécessitant une application informatique pour en montrer l'intérêt. L'intérêt d'aborder cette nouvelle pensée indépendamment de la technologie qui la porte permet de prendre le recul nécessaire à la compréhension de phénomènes

330. Cf. le documentaire *Espèces d'espèces* de Denis Van Waerebeke (2008)
331. Par exemple, l'usage d'un tableur permet d'initier une collecte et la constitution d'un référentiel de descripteurs.

organisationnels se déroulant à large échelle, et qui se développent et se construisent en parallèle sur des architectures physiques informationnelles, ces deux formes étant en interaction[332]. A ce titre, il est instructif de constater l'évolution des stratégies marketing des GAFAM pour organiser leur offre de plateforme de communication, de Google regroupant *Messagerie*, *Chat*, *Salons* et *Meet* sous la bannière *GMail*[333], à Microsoft intégrant dans sa plateforme collaborative personnalisable *Teams* différents services, selon le phénomène de concrétisation de l'objet technique décrit par Simondon. Nous y voyons l'influence d'un attracteur organisationnel. L'objectif est de répondre à un ensemble de besoins : une communication avec un nombre variable d'interlocuteurs (de 1 à n), informelle ou formelle (privée ou publique), pour un échange immédiat ou à plus long terme (réactif ou constructif)[334]. Cette organisation des communications entre individus, c'est-à-dire d'humains à humains, s'appuie sur des protocoles de communication de machines à machines, comme les 7 couches du modèle OSI, *Open Systems Interconnection* précédemment abordé, également exploité par les échanges entre les organisations. Les *échanges de données informatisés* (EDI) vont ainsi permettre l'émergence d'espaces d'échanges d'un niveau supérieur, comme le SEPA, *Espace Unique de Paiement en Euros*. On remarque que ce dernier niveau d'organisation, qui dépend étroitement des évolutions de la technologie, prend de vitesse d'autres formes d'organisations : l'espace unique de paiement en euros compte 36 membres, l'Union européenne 27 états membres, alors que l'euro est la monnaie commune de seulement 19 états membres. On remarque également que le bénéfice du développement de ces technologies paraît éloigné des besoins fondamentaux de l'humain et de son environnement, tels que décrits par Maslow. C'est le cas actuellement du déploiement de la 5G mais aussi de la voiture connectée qui trouvent leur justification avant tout par leur intégration dans un

332. En architecture, cette problématique est étudiée en particulier par le laboratoire de recherche pluridisciplinaire EVCAU, EnVironnements numériques, Cultures Architecturales et Urbaines (EA 7540) — cf. http://www.evcau.archi.fr/

333. Cf. https://www.frandroid.com/android/applications/google-apps/748485_gmail-la-nouvelle-interface-a-quatre-rubriques-commence-a-se-deployer

334. Cette dernière distinction n'est pas sans rappeler celle établie par Henri Laborit, entre *information-message* et *information-structure*.

système socio-technique. Les débats dont ils font l'objet semblent préfigurer une prise de conscience plus globale des interdépendances entre l'interne et l'externe, c'est-à-dire le système socio-technique et l'environnement. Le numérique comme technologie qui s'infiltre à l'intérieur des organisations appelle donc un langage de description directement compréhensible par l'humain, ce qu'esquissent nos représentations.

L'étendue du champ d'application de la modélisation est un avantage supplémentaire, clairement identifié. Testé dans des situations et sur des cas d'usage relativement différents, nous sommes loin d'en avoir épuisé le potentiel.

Ce foisonnement ne doit cependant pas nous faire ignorer les limites, nombreuses, ainsi que les obstacles, dont certains ont déjà été rencontrés.

4.1.3. Limites et obstacles

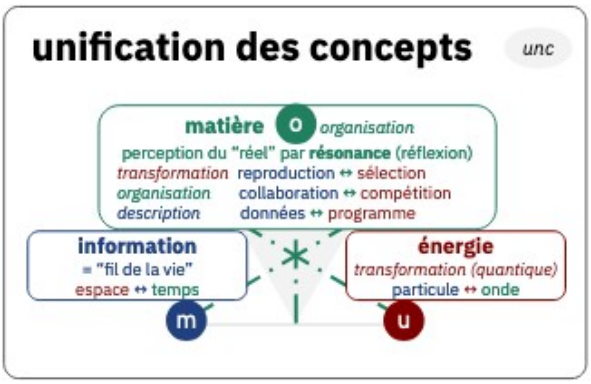
Les limites les plus perceptibles relèvent sans doute de l'état d'esquisse de nos représentations. Elles nous semblent d'abord liées à l'approche transdisciplinaire et la méthode employée. L'état d'esquisse présente également deux risques majeurs, tous deux liés au langage, celui du contresens et celui de l'incompréhension. Nous examinons ces différents points et mentionnons également deux obstacles déjà rencontrés, liés entre eux, ceux de l'abstraction et de l'utilité de notre recherche. Ils illustrent la différence entre deux paradigmes, que nous sommes en mesure d'analyser avec nos travaux.

4.1.3.1. La transdisciplinarité

Pour identifier des primitives et invariants dans les principes de transformation et d'organisation, nous avons en effet engagé une exploration à 360 degrés, nous inscrivant dans une approche transdisciplinaire, utilisant un outil de la systémique, l'*Anneau des disciplines*, que nous avons éprouvé et transformé en *Pentachore*. De ce fait, nous avons abordé des disciplines parfois éloignées de notre cœur de compétence. Un raisonnement abductif nous a par ailleurs conduit à sélectionner des fragments non exhaustifs d'une discipline, avec le risque d'usage d'un concept

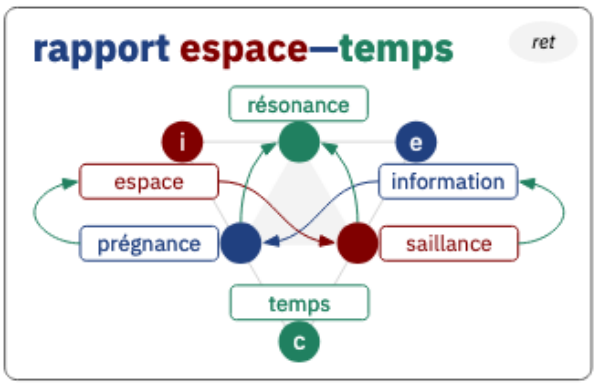
en le coupant de son contexte d'origine. Prenant consciemment ce risque, nous nous sommes appuyé sur le *principe d'économie* ou « *rasoir d'Ockham* » pour construire cet ensemble de représentations avec un double souci de cohérence. Cohérence externe avec les théories existantes et cohérence interne entre nos représentations. Nous nous attendons néanmoins à d'inévitables ajustements pour corriger d'éventuelles erreurs d'interprétation. Cela a été le cas tout au long de cette construction, ayant été amené à revoir ou affiner certaines illustrations et nous attendant à devoir en ajuster d'autres. Notons cependant que la représentation graphique facilite la comparaison, en permettant d'identifier des incohérences. Notons également un point essentiel : la représentation proposée ne s'appuie pas sur une catégorisation mais sur des attracteurs. Selon les contextes d'usage, les descripteurs peuvent donc se retrouver en rapport à des attracteurs différents. Ces caractéristiques nous ont conduit vers une exploration fractale. Nous en donnons un exemple avec le concept de temps, illustré par trois cartes.

Déjà présentée, la carte [*unc*] sur l'unification des concepts positionnait le couple espace—temps au niveau de l'attracteur multiple, exprimant ainsi l'actualisation du potentiel particule—onde. L'espace et le temps définissent un cadre de référence au concept d'information, qui permet de décrire notre rapport à la matière, en s'appuyant sur le concept de programme et de données.



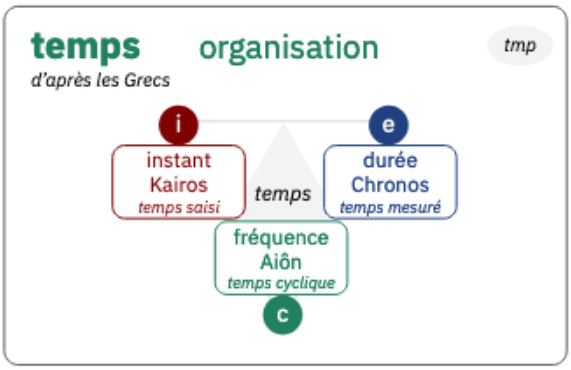
C249 — [unc] — unification des concepts

La carte [*ret*] approfondit ce rapport espace-temps. Dans notre interprétation, le temps cadre l'organisation, qui se construit dans un espace réduit, celui de l'organisation, et s'inscrit dans un espace global de transformation. C'est dans le



C250 — [ret] — rapport espace-temps

temps que la communication va actualiser l'information. Comme l'a décrit le mathématicien René Thom dans son ouvrage exploratoire *Esquisse d'une sémiophysique* entre alors en jeu le couplage entre *saillance* et *prégnance* (Thom, 1988:17,20), que nous assimilons a un effet de *résonance*. Dans notre modèle, ce processus se reproduit aux différents niveaux de l'organisation.



C251 — [tmp] — temps, organisation

La carte [*tmp*] que nous avions précédemment détaillée (cf. § 3.1.1.1.) reproduit les trois dimensions associées au concept du temps, selon les Grecs. En langue française, ces trois concepts se retrouvent dans un même terme, qui englobe également d'autres significations telle la « *synthèse de l'état et des phénomènes atmosphérique (...) à un moment donnée, tels qu'ils sont ressentis par l'homme et les êtres vivants* » comme le précise le CNRTL.

4.1.3.2. Le langage

Cet exemple illustre la difficulté rencontrée avec le langage dans une approche transdisciplinaire, et les inévitables approximations que nous avons pu faire. Si l'hypothèse de relativité linguistique de « Sapir-Whorf » ne semble pas pouvoir être généralisable, elle ne peut néanmoins être totalement écartée. En raison de la richesse de son vocabulaire, qui se spécialise dans chaque discipline, la langue est liée à une vision du monde. Or, d'après le philosophe du langage Ludwig Wittgenstein, les mots sont des entités floues. Nous le constatons continuellement en entreprise lorsque nous cherchons à identifier un terme adapté à une interface utilisateur. Par exemple le terme *document* prendra un sens différent selon les profils d'activité (juriste, bibliothécaire, commercial, secrétaire...) Or nous devons faire avec cette variété pour exprimer les relations entre la logique de la transformation des organisations et les représentations existantes. C'est pourquoi nous n'échappons pas à un contresens possible dans l'emploi de termes

spécifiques. Nous nous exposons également à heurter des spécialistes par l'omission de nuances dont nous aurons pu faire abstraction. L'imprécision apparaîtra d'autant plus déplacée que la comparaison porte entre un travail de fond et une esquisse. En informatique, l'interopérabilité s'obtient par le respect de protocoles mais rien n'empêche que les contenus véhiculés conduisent à des contradictions. Nous sommes dans une phase équivalente à la définition d'un protocole, confronté à la difficulté d'une sélection de termes pour expliciter un nouveau paradigme succédant au paradigme courant. Nous ne maîtrisons pas non plus chez nos interlocuteurs la part subjective des termes employés (leur référentiel interne). Un moyen d'éviter les malentendus est d'interroger la dimension historique. Les recherches transdisciplinaires cherchent en effet à établir des parallèles avec la pensée traditionnelle, comme par exemple l'essai sur Jakob Boehme (Nicolescu, 1988). Si nos premières investigations dans le champ de l'histoire nous ont permis d'entrapercevoir une richesse inspirante, notre formation initiale plus technique que littéraire, ne nous a pas encore permis d'entamer réellement ce travail de rapprochement entre la science et la tradition, qui pourrait tout autant renforcer que nuancer les représentations proposées.

4.1.3.3. L'abstraction : vers une logique opérationnelle et ensembliste

L'état d'esquisse de nos travaux relève du fait que nous sommes resté centré sur l'identification d'invariants de transformation et d'organisation. A partir de ce noyau, il nous reste à enrichir la facette opérationnelle, relative aux *schémas* et *patterns* associés. La pratique devrait ainsi faciliter la compréhension de nos travaux, complétant nos réalisations embryonnaires. Pour évaluer la cohérence du noyau nous avons sollicité les mathématiques à plusieurs occasions en particulier l'*algèbre* avec les *complexes* et la *géométrie* avec les *coniques*. Concernant l'opérationnalité de la logique de représentation, nous avons de plus relevé une double concordance à un niveau plus basique : d'une part celui des *opérations mathématiques élémentaires*, d'autre part au niveau de la *théorie des ensembles*. Nous qualifions ces deux logiques d'*opérationnelle* et *ensembliste* et les précisons ci-après.

La logique opérationnelle propose une interprétation des opérations au prisme de la logique de transformation de l'organisation. Ces opérations sont au nombre de six : les quatre opérations arithmétiques élémentaires — addition, soustraction, multiplication, division — complétées par les deux opérations du calcul infinitésimal, l'intégration et la dérivation. Nous précisons dans l'encadré E47 les opérations de dérivation et d'intégration, sans doute moins familières aux sciences humaines, si ce n'est dans leur sens métaphorique.

E47 — Opérations de dérivation et d'intégration

La **dérivation** est un calcul qui permet de définir une variation d'un phénomène par rapport à une unité. Par exemple, la variation de position d'un objet par rapport au temps correspond à sa vitesse. De même, la variation de vitesse par rapport au temps correspond à son accélération. La dérivation peut donc se répéter récursivement sur un phénomène. Si le phénomène ne varie pas, sa dérivé est nulle. L'opération de dérivation s'applique également sur des nombres, mais la dérivé d'une constante est égale à 0. On utilise donc les dérivés avant tout sur des fonctions. Une fonction attribue une valeur à une variable. La variable, d'entrée, et la valeur, de sortie, peuvent être multidimensionnelles. Par exemple, un point sur une droite est positionné par rapport à un repère avec un seul paramètre. Il en faut deux pour le plan, trois pour l'espace, et n pour un espace de dimension n (exemple pour 5 dimensions : coordonnées, x,y,z + la température + la pression, en ce point). Le symbole utilisé pour la dérivation est **∂**.

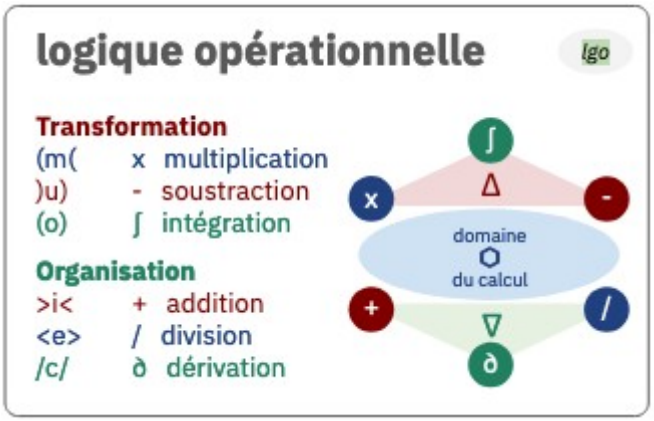
L'**intégration** est une opération qui permet de passer de l'infiniment petit au fini. Elle est aujourd'hui associée à la *théorie de la mesure*. D'un point de vue philosophique, on notera qu'en quantifiant, la mesure nomme, et de ce fait fait exister. L'intégration est une notion inverse de celle de la dérivée. Elle est notée avec le symbole **∫**. Tout comme la dérivation, l'intégration peut se répéter récursivement.

Les autres opérations, comme la puissance, l'exponentiel et le logarithme,

s'appuient sur ces six primitives. Ces primitives s'opposent par ailleurs deux à deux, formant trois couples, addition-soustraction, multiplication-division, intégration-dérivation, portés par chacun de nos axes d'analyse (représentation R3, cf. § 2.3.). On notera que ces opérations ne s'appliquent pas qu'à des *nombres* mais également aux *vecteurs*, *matrices* et *fonctions*. Un nombre peut être vu comme une grandeur d'ordre 0, un vecteur comme une grandeur d'ordre 1 et une matrice (tableau de données à deux entrées, lignes et colonnes) comme une grandeur d'ordre 2. La notion d'ordre est distincte de la dimension de l'espace dans lequel s'inscrit l'objet mathématique, comme le vecteur ou la matrice. Un vecteur est une colonne de nombres. La dimension de l'espace dans lequel s'inscrit le vecteur est simplement définie par la taille de la colonne. On notera qu'une matrice diagonale est une matrice carrée (le nombre de colonnes et égal au nombre de lignes) dont tous les coefficients (nombres à l'intersection des lignes et des colonnes) en dehors de la diagonale principale sont nuls. Cette structure permet de représenter une fonction polynomiale de degré n, qui s'écrit de la forme $f(x) = a_0x^0 + a_1x^1 + a_2x^2 + ... + a_nx^n$. Les opérations élémentaires précédentes s'appliquent également aux fonctions. Dans le cas de la division des matrices, l'opération consiste à multiplier par la matrice inverse. On notera que l'opérateur d'inversion est l'un des quatre *opérateurs de transformation* définis précédemment (cf § 2.1.5). On notera également que dans *la raison graphique* Jack Goody notait l'importance de la structure tabulaire, qui se traduit mathématiquement par le concept de matrice. Les mathématiques ont ensuite étendu le *tableau* qui est d'ordre 2 à des ordres 3 et supérieurs, définissant le concept de *tenseur*. Ce concept pose une difficulté dans la représentation des différentes *couches*. Le numérique permet de les traiter, d'où l'apparition de ce concept dans la *raison computationnelle* de Bruno Bachimont. On notera aussi que les nombres utilisés dans les matrices ne se limitent pas à des entiers. Une matrice peut ainsi contenir des *nombres complexes* mais également leurs extensions : *quaternions*, *octonions*... On notera également qu'une opération comme le produit (la multiplication) n'a pas les mêmes propriétés selon les objets auxquels elle est appliquée : elle perd par exemple la commutativité. Elle n'est donc pas symétrique.

On notera enfin, en *algèbre multilinéaire*, l'opération de *contraction tensorielle*, et les *tenseurs de courbures*, qui évoquent l'influence de l'*attracteur unique*. Nous envisageons d'approfondir ces points avec des mathématiciens. En revenant à nos opérations élémentaires, il nous semble logique d'associer l'*opérateur multiplication* à l'*attracteur multiple*; elle traduit comme nous l'avons vu précédemment un changement de dimension (cf. § 4.1.2). A l'opposé, le passage du multiple à l'unique suppose de réduire cette multiplicité, autrement dit de soustraire. L'effet de l'attracteur organisationnel correspond quant à lui à un phénomène d'intégration ; il s'agit de combiner des notions de nature différentes. Ces trois opérateurs, la *multiplication*, la *soustraction* et l'*intégration*, décrivent la logique de *transformation*.

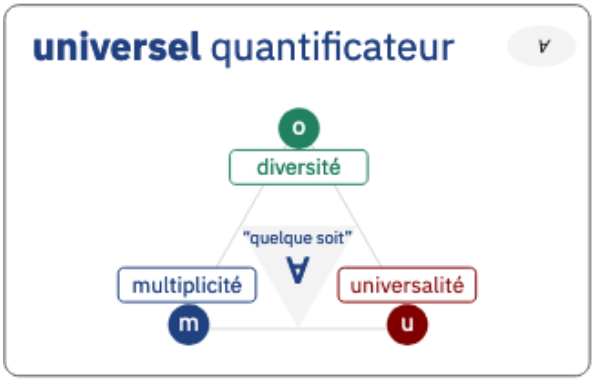
Leurs trois complémentaires, la division, l'addition et la dérivation, décrivent la logique d'*organisation*. L'*addition* est associée à l'*espace interne*, qui doit être alimenté pour maintenir son métabolisme. La *division* est associée à l'*espace externe*. Rappelons que la méthode scientifique de Descartes s'appuie sur la *division*, elle sera source de l'*expansion* industrielle suite à la découverte de *formules*. Chaque espèce et chaque individu divise la réalité pour s'en approprier une part, extraite de l'environnement. L'automatisation non raisonnée de cette extraction pose problème aux autres individus, aux autres espèces et à l'environnement. L'espace interne apparaît comme une projection de l'espace externe, dont le point focal est le centre organisateur. Celui-ci est associé à l'opération de dérivation. Il oriente les flux, matériels et informationnels, dans les deux sens. Les trois opérations de transformation agissent conjointement dans ce processus. On notera également que si la combinaison de ces six opérateurs est source de complexité, la modélisation répond au principe d'économie. Ce point de vue, qui est illustré par la carte [*lgo*], apporte un



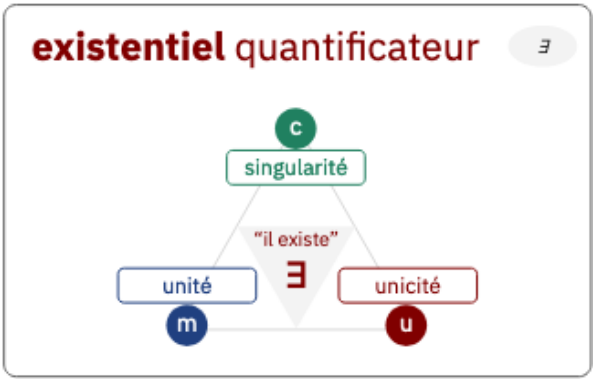
C252 — [lgo] — logique opérationnelle

éclairage complémentaire pour la mise en œuvre opérationnelle. Nous avons cependant conscience que la schématisation nécessite l'appropriation d'un nombre conséquent de concepts. L'apprentissage est loin d'être négligeable. L'ensemble de ces concepts nous conduisent vers un changement de paradigme.

La logique ensembliste s'analyse de la même façon, relativement à trois groupes de deux notions élémentaires et distinctes. Celles d'*ensemble* et d'*élément*, de *classe* et d'*objet*, utilisées respectivement en mathématiques et en informatique, et celles de *quantificateur*, *universel* et *existentiel*. Nous rattachons les notions d'*ensemble* et de *classe* à la *transformation*, car tout se transforme, celles d'*élément* et d'*objet* à l'*organisation*. Les *éléments* sont reliés aux *ensembles* par la *relation d'appartenance*, les *ensembles* sont reliés entre eux par la *relation d'inclusion*[335]. Par rapport aux opérateurs de la *théorie des ensembles*, nous associons l'*intersection* (générant la discontinuité), à l'*attracteur multiple*, son opposé l'*union* (continuité), à l'*attracteur unique*, et la *complémentarité* à l'*attracteur organisationnel*. De même, nous relions les deux quantificateurs logiques aux *attracteurs de transformation* et à l'*organisation*. Englobant la *multiplicité*, le *quantificateur universel* exprime tout à la fois la *multiplicité*, l'*universalité* et la *diversité*, alors que le *quantificateur existentiel* exprime l'*unité*, l'*unicité* et la *singularité*. Les cartes [∀] et [∃] illustrent ces interprétations représentées dans les deux grilles d'analyses.



C253 — [∀] — quantificateur universel



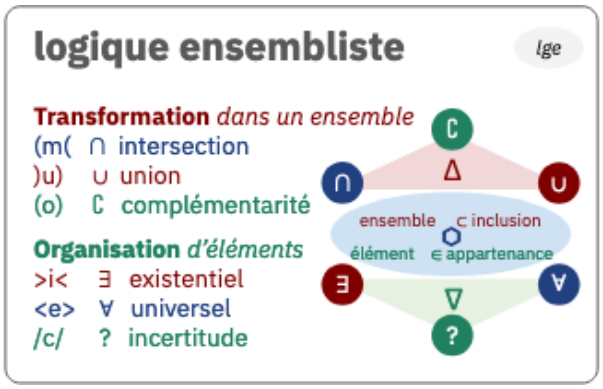
C254 — [∃] — quantificateur existentiel

Nous proposons également d'associer le *quantificateur existentiel* à l'*espace interne*

335. Dans notre modélisation, ces deux relations sont traduites par l'*assembleur, relation d'inclusion*. Notons que le paradoxe de Russell provient de la confusion entre la notion d'*ensemble* et d'*élément*.

et le *quantificateur universel* à l'*espace externe*. Le *centre organisateur* est alors associé à l'*indétermination*, l'*incertitude*.

Nous proposons le point d'interrogation, « **?** » (l'inconnue de l'équation, la variable x) pour symboliser le *principe central d'incertitude*. La carte [*lge*] illustre cette interprétation qui nous conduit à aborder une autre limite de notre proposition, son caractère non prédictif.



C255 — [lge] — logique ensembliste

4.1.3.4. La prédiction

En effet, si la logique de représentation proposée nous semble permettre de décrire un large éventail de situations, nous restons au niveau descriptif, sans aborder le prédictif. Ce point apparaît comme un apport et une limite incontournable[336]. En effet, si la transformation devient explicable et compréhensible, pouvant de même être orientée par adaptation de l'environnement, le centre organisateur d'une organisation ne peut être totalement contrôlé. Le centre organisateur fait partie d'un nœud borroméen, formé d'une triple boucle, dans lequel la composante interne joue un rôle symétrique et de même niveau que la composante externe. Nous sommes face à un comportement quantique, deux états opposés étant potentiellement activables. Or la composante interne n'est activable que par l'organisation elle-même. Son champ d'intervention se limite ainsi à l'ensemble des organisations dont elle est partie prenante. Selon le modèle holonique, il s'agit d'elle-même, des composantes au niveau inférieur, et des organisations dont elle constitue un des éléments. La question concernant l'utilité sous entend une attente de maîtrise d'un processus[337]. Notre modélisation révèle donc l'existence de limites intrinsèques dans la maîtrise du champ de transformation. La question « *à quoi servent nos représentations ?* » mérite donc d'être abordée différemment de la façon

336. Relevant de la logique antagoniste de l'énergie, mais également de la théorie du chaos.
337. Cette recherche de maîtrise des phénomènes est une préoccupation majeure des organismes de sécurité, ce qu'illustre un récent projet de l'agence américaine DARPA, *Defense Advanced Research Projects Agency* — cf. https://www.darpa.mil/news-events/2019-01-04

suivante : « *qu'est ce que nos représentations peuvent changer ?* ». La réponse est simple : « *elles invitent à changer de logique* ». L'utilité de nos travaux est ainsi d'apporter des outils pour aider au changement de paradigme, en adoptant un point de vue centré sur la relation considérée selon la logique antagoniste de Lupasco, mais surtout en adoptant une logique de transformation de l'organisation non déterministe — résumée au § 2.4.5 — qui englobe et étend la logique traditionnelle binaire et la pensée cartésienne primitive. Si le phénomène quantique a été essentiellement circonscrit à l'infiniment petit et traité avant tout par le calcul, il nous apparaît s'appliquer à toutes les échelles, si l'on accepte le principe du contradictoire, vu comme la superposition de deux mouvements opposés.

Revenant à Descartes, notons que la locution latine « *cogito ergo sum* » trouve son origine dans le doute : « *je doute donc je pense, donc je suis* » et a été maintes fois interrogée, en particulier par Nietzsche qui nuance les certitudes de penser et d'être, mais également par Douglas Hofstadter qui s'interroge sur le *je* constatant que « *je suis une boucle étrange* » (Hofstadter, 2008), ainsi que par le paradigme de l'énaction, qui suppose une co-construction par interaction de l'être dans son environnement. En reliant la structure et le comportement, dans la logique des schèmes sensori-moteurs proposés par Piaget, ce paradigme fait subir un double renversement temporel à la locution initiale, passant de l'être au devenir pour donner ensuite « *je deviens, donc je peux penser* ». Mais en définissant l'être par ses relations se pose également la question de l'origine de la pensée. Peut-on toujours l'associer au *je*, sachant que les idées semblent émerger simultanément en différents lieux. Le musicien Laurent de Wilde l'a constaté en analysant la naissance de la musique issue de l'électricité, enrichie par l'électronique, sublimée par l'informatique (De Wilde, 2016). D'autant plus qu'une pensée relationnelle semble trouver rapidement ses limites, comme l'illustre la *théorie du métadesign* de John Wood présentée dans l'encadré E48. Le modèle tétraédrique que propose John Wood pour aborder la conception est un simplexe de dimension 3; il présente de fortes analogies avec notre approche. En effet, notre langage de description représente des relations en croisant deux simplexes de dimension deux — un

triangle pour représenter la transformation et un second triangle pour l'organisation — générant neufs descripteurs.

E48 — La théorie du métadesign de John Wood

Le designer John Wood a fait le constat que les grands problèmes auxquels la planète est confrontée (perte de la biodiversité, épuisement des ressources, changement climatique) a émergé de la pensée occidentale qui a modelé notre "réalité" : en s'appuyant sur une vision du monde platonicienne, constituée de formes discrètes idéales, le design est en partie responsable du problème. Il propose un changement de paradigme centré sur une approche relationnelle, interactionnelle et combinatoire, considérant les synergies entre les entités. Analysant l'influence d'une entité sur les autres, il relève une rapide décroissance en fonction de l'augmentation de la taille du réseau. Ainsi, si dans l'interaction entre deux individus chacun est responsable à 100% de la synergie (1/1), le ratio passe à 66% des relations entre 3 entités (2/3), puis à 50% entre 4 (3/6), à 40% entre 5 (4/10), à 33% entre 6 (5/15), à 28% entre 7 (6/21), à 25% entre 8 (7/28), à 22% entre 9 (8/36) et enfin à 20% entre 10 (9/45). Il privilégie alors le seuil des 50%, les quatre entités reliées dessinant un *tétraèdre*. Cette figure se représente aisément dans notre espace tridimensionnel, les six relations présentant l'avantage d'être stockables dans notre mémoire immédiate. Cet outil conceptuel sert de point de départ au *métadesign*[338].

En dépassant la limite de la mémoire immédiate, la mémorisation de notre modèle nécessite donc un apprentissage. Nous avons pu le vérifier lors de plusieurs présentations : nos interlocuteurs ont exprimé une compréhension globale, mais également une difficulté de mémorisation. Nous avons pu également constater que l'usage de dispositifs matériels aide à la compréhension. La transmission du modèle nécessitera ainsi la réalisation de supports pédagogiques ludiques pour faciliter la répétition nécessaire à l'accommodation. Ce point est approfondi dans nos perspectives. Il est d'autant plus important que la dématérialisation induite par le

338. Dont on pourra consulter une présentation à TEDxOslo en 2013 : https://youtu.be/9dIQOrVhM5E et plus d'information sur cet outil https://metadesigners.org/Tool-1-Tetrahedral-Logic

numérique et sa logique de flux prive souvent l'utilisateur de repères tangibles.

4.1.3.5. Le numérique

L'usage du numérique introduit des difficultés complémentaires dans l'apprentissage de nos représentations. Nous en avons d'ores et déjà identifié plusieurs, liés à la difficulté de gérer la quantité, la difficulté à appréhender le tiers-inclus, l'opacité des traitements numériques, l'architecture centralisée des plateformes et réseaux sociaux, ou la *confiance numérique*. Nous les précisons.

Sur la première application de gestion des graines d'information (ApiApp), nous avons travaillé avec un graphe contenant plus de 18 000 descripteurs, référençant la diversité des événements, acteurs, ressources. La navigation dans une base de cette taille suppose des modes d'accès et de filtrage adaptés. Nous avions ainsi spécifié plusieurs modes d'accès complémentaires. Le premier module développé est un moteur de recherche en texte intégral, pour permettre un accès direct à n'importe point du graphe, puis une navigation à partir de cette entrée. Ce type de composant nécessite une attention particulière. Son comportement est à ajuster en fonction de la taille de la base de données et du nombre de réponses trouvées. Ce réglage vise en premier lieu à trouver le bon compromis entre le *bruit* et le *silence*. Le **bruit** correspond à un nombre de résultats trop élevé, le **silence** une absence de résultats. La pertinence du classement des résultats est également un enjeu important. Il peut se régler par la prise en compte du contexte spatio-temporel, localisation de l'utilisateur et historique des recherches, mais cette fonctionnalité n'a pas encore été développée, de même que les filtrages sur le type de descripteurs ou les différents critères associés aux graines. Le second module développé était l'historique de navigation. La projection cartographique est restée au stade de projet. Ce bref rapport illustre la technicité nécessaire pour manipuler un nombre conséquent d'entités. Les performances de notre cerveau pour accéder à nos différentes formes de mémoires (épisodique, sémantique…) sont remarquables et les algorithmes pour retrouver des éléments de connaissances sont du domaine de la recherche. Nous avons identifié différents travaux

prometteurs, comme ceux de Jeff Hawkins, dérivés de la théorie d'inspiration biologique[339] sur le fonctionnement du Néocortex (Hawkins, 2004), une théorie proche, *Semantic Folding Theory* (De Sousa Webber, 2016) ainsi que la théorie de l'information mentale (Berrou & Gripon, 2012), sans avoir eu l'occasion de les mettre en œuvre.

Une deuxième difficulté que pose le numérique est l'intégration du principe du tiers-inclus, c'est-à-dire d'une logique ternaire dans une logique binaire. La logique binaire s'appuie sur l'idée du Vrai et de Faux, donnant ainsi une direction à suivre. La multiplicité des points de vue invalide cette dichotomie. C'est un phénomène auquel sont confrontés les réseaux sociaux, chacun ayant la liberté de s'exprimer comme bon lui semble, favorisant le Vrai ou le Faux, en fonction de sa position, de ses compétences ou de ses intérêts. Nous précisons ce point. Dans la *relativité de la simultanéité* (Einstein, 1956:34), le physicien illustre la contingence de ces deux valeurs : un observateur à égale distance entre deux émetteurs recevra simultanément deux signaux émis simultanément mais les recevra séquentiellement en se rapprochant d'un émetteur et dans l'ordre inverse en se rapprochant du second. De même une gestion centralisée de l'information conduit à privilégier le point de vue de celui qui gère le système, au détriment des points de vue des autres entités qui composent le système, d'autant plus facilement qu'elles ignorent le fonctionnement du système. Ainsi, le consensus ne peut être valide dans le cas d'**asymétrie d'information**. Ce concept central en économie est générateur d'inégalités. Dans l'usage numérique des *graines d'information* nous y sommes pleinement confrontés[340] à partir du moment où les contributions des intervenants ne sont pas protégées (cryptées et inaccessibles), et qu'il n'ont pas pris conscience de la valeur de leurs contributions, en particulier après agrégation. Le dernier point est sans doute le plus critique, puisqu'à la fois il protège et expose les intervenants face au problème précédent. Il s'inscrit dans le champ de la manipulation.

Comme l'exprime Bruno Bachimont, la manipulation par le calcul est intrinsèque au

339. Hierarchical temporal memory (HTM)
340. De même que les réseaux sociaux et plus généralement toutes les plateformes.

numérique, « *"Ça a été manipulé " : tel est le noème du numérique, soit "ce qu'il faut comprendre et penser à propos du numérique"* » (Bachimont, 2007:33). Nous l'observons aujourd'hui sur la synchronisation en temps réel des lèvres sur une vidéo[341]. Tout jeu de descripteurs est donc potentiellement susceptible d'avoir été soumis à une réécriture par un algorithme. Il n'existe pas réellement de parade à ce phénomène, aggravé par les biais cognitifs associés à la mémoire humaine[342]. Ce dernier point questionne la **confiance numérique**, c'est-à-dire dans les dispositifs techniques numériques. La confiance est constitutive de l'être. Ses opposées, la méfiance et la défiance, suscitent des sentiments divers, le doute, l'angoisse, la crainte, qui appellent une recherche de protection, le besoin de sécurité. Répondre à ce besoin peut se faire par l'humain ou par la technologie, les réseaux sociaux numériques mixant ces deux voies. Nous avons précédemment étudié l'influence de ces dispositifs sur la proxémie (Lacombe, 2013). Une autre facette est leur effet amplificateur, qui est lié à leur architecture. Propriétés de groupes privés, ces réseaux ont naturellement la rentabilité comme objectif. Celle-ci repose sur le modèle publicitaire, elle est donc proportionnelle à leur nombre de contributeurs. Pour maximiser les flux liés, informationnels et économiques, ces outils cherchent à capter l'audience, et l'attention, n'hésitant pas pour cela à s'appuyer sur les biais cognitifs, faisant appel au pulsionnel, en promettant une gratification immédiate. Si ces pratiques sont contestables, et source d'une *nouvelle servitude volontaire* (Vion-Dury, 2016), elles se sont cependant installées au cœur des organisations, tant au niveau des individus que des groupes. Elles se positionnent sur l'axe architectural, répondant selon notre analyse précédente à la fois au besoin d'appartenance mais surtout au désir d'estime[343]. Notre approche s'en distingue en s'appuyant sur le temps de la réflexion pour construire une représentation raisonnée. Elle cherche à privilégier les systèmes 2 et 3 (cf. § 3.1.3.1 C1b) mais nos moyens sont évidemment

341. Ce que réalise l'algorithme wav2lip en 2020 : cf. la vidéo https://youtu.be/0fXaDCZNOJc et la contribution associée https://arxiv.org/abs/2008.10010

342. On pourra consulter à ce propos le codex des biais cognitifs disponible sur Wikimédia : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/The_Cognitive_Bias_Codex_%28French%29_-_John_Manoogian_III_%28jm3%29.svg

343. Nous avons vu précédemment que le désir se distingue du besoin par son impossibilité à être rassasié, ce qui profite au système qui s'appuie sur la publicité

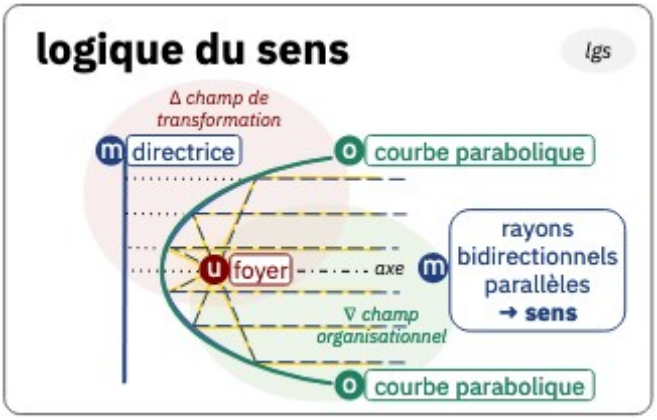
pour l'instant sans commune mesure face à ceux déployés par les plateformes numériques qui se disent sociales[344] mais, en accélérant la vitesse de diffusion des messages au sein de bulles de filtres, menacent d'implosion une société ultra connectée, comme l'explique le sociologue et linguiste Dominique Boullier dans une interview à TV5 monde[345]. Cette menace d'implosion est à mettre en rapport avec la menace d'explosion relative à l'usage du nucléaire. Ces deux forces, externe sur l'environnement, interne sur l'humain s'intègrent dans l'analyse de la « *métamorphose numérique* » de Jacques Robin, évoquée dans la partie cadrage (§. 0.1.0.) Signalons pour terminer cette analyse la distinction à ne pas oublier entre la carte et le territoire. En effet, nos représentations, qui s'appuient sur un langage graphique pour produire des schémas d'organisation, sont assimilables à des cartes, projections qui ont leurs propres limites. Ainsi, la représentation suppose un échantillonnage qui différera toujours de l'original. De plus, la carte étant une projection à une échelle réduite, elle oblitère toujours des détails. Or ceux-ci peuvent s'avérer déterminants dans la compréhension de transformations ultérieures. De même, l'échelle 1:1 est absurde, comme l'a montré Jorge Luis Borges et avant lui Lewis Carroll (Palsky, 1999). Enfin, la carte ne peut traduire l'ineffable, quelle que soit la qualité du système de représentation.

4.2. Perspectives

Comme vu précédemment, une partie de nos travaux de recherche reste à approfondir. Pour pallier cette limite, nous présentons dans cette dernière partie les perspectives de développement envisagées. Elles sont centrées sur la question du sens, en reprenant les trois significations de ce terme au filtre des attracteurs de transformation : l'intelligibilité, la sensibilité et la direction (cf. § 3.13.2 C2a). En nous appuyant sur la parabole, nous proposons une représentation graphique de cette logique du sens, illustrée par la carte [*lgs*].

344. Olivier Ertzscheid, maître de conférence en sciences de l'information, les qualifie ainsi de « espace publi-cidaire » cf. https://www.affordance.info/mon_weblog/2020/10/salut-a-toi-le-professeur.html [consulté le 2020-10-20]

345. Interview du 16 octobre 2020, disponible en ligne : https://information.tv5monde.com/info/presidentielle-americaine-j-ai-peur-que-nous-allions-au-bord-d-une-guerre-civile-cause-de [consulté le 2020-10-20]



C256 — [lgs] — logique du sens

Dans un premier usage de la parabole, l'attracteur organisationnel générait une courbe[346], à égale distance du foyer (émanation de l'attracteur unique) et de la directrice (émanation de l'attracteur multiple). Construite progressivement, la trajectoire parabolique modélise les transformations de l'individu considéré comme élément d'une espèce (cf. fig 3.3.1.2b). Ce nouvel usage se situe à un second niveau, dans le champ organisationnel. Dans cette seconde interprétation, nous nous appuyons sur la courbe parabolique, qui devient attracteur multiple, conservant le foyer comme attracteur unique. Ce sont alors les rayons incidents ou émergents du foyer qui sont soumis à l'influence de l'attracteur organisationnel. En effet, d'un point de vue mathématique la parabole est une conique qui a la propriété de rendre parallèle les rayons multidirectionnels issus de son foyer[347] et symétriquement de focaliser des rayons parallèles[348] après réflexion sur la parabole. Les rayons, potentiellement bidirectionnels, sont portés par un axe perpendiculaire à la directrice. L'analogie avec le sens est la suivante : la direction est celle des rayons, la sensibilité correspond à l'ensemble des points de réflexion qui constituent la parabole, l'intelligibilité est matérialisée par le foyer, duquel les rayons émergent et convergent. Nous présentons ces différents points.

4.2.1. Intelligibilité : approfondissement de la recherche

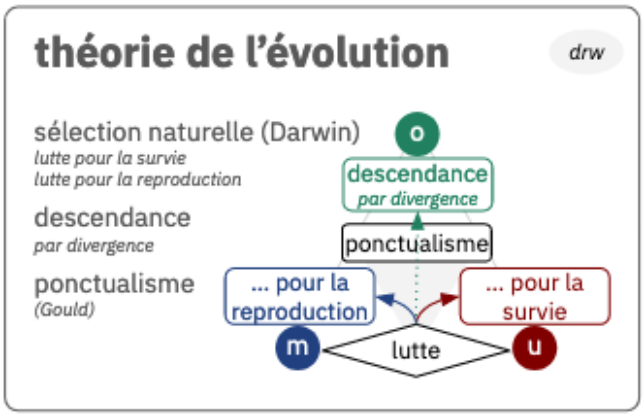
L'intelligibilité correspond à un approfondissement de la recherche, que nous envisageons sous différentes formes, aussi bien académique que *hors-les-murs* de l'institution, en particulier sous la forme d'une recherche participative. Parmi les

346. Une demi parabole, la carte [*lgs*] représente la parabole complète
347. Cette propriété est utilisée par les projecteurs et phares, la lampe étant positionnée au foyer
348. Cette propriété est utilisée par les antennes paraboliques pour focaliser la réception des ondes électromagnétique, et des centrales solaires thermiques qui concentrent les rayons du soleil afin de capter le maximum d'énergie

nombreux sujets que nous souhaitons approfondir, nous avons identifié d'une part le fonctionnement interne du vivant, qu'étudie aussi bien l'anatomie que la psychologie[349], d'autre part les phénomènes ondulatoires, les deux nous paraissant fortement liés. Mais l'un des premiers points qu'il nous semble essentiel d'approfondir concerne les paradigmes sur lesquels s'appuie la pensée scientifique, et pour commencer les théories de l'évolution et du développement.

4.2.1.1. Théories de l'évolution

La théorie de l'évolution du vivant qui domine la pensée occidentale aujourd'hui s'appuie sur celle de Darwin, nuancée par quelques apports significatifs comme ceux du paléontologue Stephen Jay Gould, et sa *théorie des équilibres ponctués*. Elle s'appuie sur une double lutte, au niveau de l'*espèce* pour la *reproduction* et au niveau de l'*individu* pour la *survie*. L'organisation du vivant qui en résulte conduit à une divergence par descendance marquée par des périodes d'évolution de rythmes différents, plus ou moins rapides, tel que le *ponctualisme* le théorise. Adopté par l'économie, ce schéma de pensée, illustré par la carte [*drw*], conduit à une lutte pour l'organisation, au niveau de la société, en faisant référence à la trinité humaine d'Edgar Morin (cf. carte [*ies*]). Comme le développement organisationnel s'appuie sur la technologie, et plus particulièrement les moyens de transport et de communication, qui est financé par l'économie, l'esprit de compétition s'étend à tous les niveaux. Nous appuyant sur le modèle des attracteurs, le schéma Darwinien peut se résumer par la formule suivante :



C257 — [drw] — théorie de l'évolution

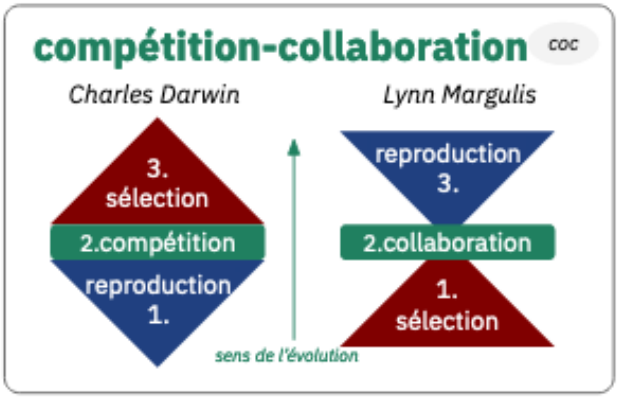
adaptation (o) = *reproduction (m)* → *compétition (processus)* → *sélection (u)*

349. Cet axe de recherche peut nous conduire à aborder en particulier les pathologies dans ces deux domaines

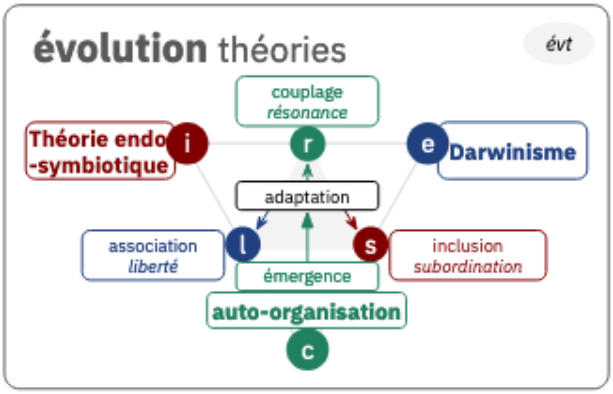
Ce point de vue peut être renversé, donnant la formule suivante :

adaptation (o) = *sélection (u)* → *collaboration (processus)* → *reproduction (m)*

Cette formule traduit une théorie, la *théorie endosymbiotique*, remise à l'honneur par Lynn Margulis (Sagan, 1967). La carte [*coc*] compare les deux processus symétriques de *compétition* et de *collaboration*[350]. On notera que la *théorie endosymbiotique* est quasi contemporaine à celle de Darwin, l'*origine des espèces* date de 1859, ayant été initialement formulée par Antoine Béchamp en 1869, soit dix ans plus tard, puis complétée par Andreas Schimper en 1883 et Constantin Merejkovski en 1905[351]. D'après notre modélisation, cette théorie, qui trouve aujourd'hui un nombre croissant de preuves, se positionne symétriquement et au même niveau que celle de Darwin, comme l'illustre la carte [*évt*][352].



C258 — [coc] — compétition versus collaboration



C259 — [évt] — théories de l'évolution

En biologie, ce processus s'exprime au niveau cellulaire par l'**endosymbiose** et à un niveau supérieur par la **chimérisation**, association d'un petit nombre d'unités fonctionnellement différentes. S'effectuant au sein d'un organisme constitué, ce processus se heurte à la réaction de rejet par les anticorps du système immunitaire

350. Nous en avons analysé les enjeux lors de la journée de recherche TIC.IS 2020
351. Cf. https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_endosymbiotique [consulté le 2020-10-10]
352. Cette théorie a beaucoup moins de visibilité que celle de Darwin, Lynn Margulis ayant eu des difficultés à publier son article, aujourd'hui marqueur de cette théorie. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cela : effet de rejet par rapport au paradigme dominant qui s'est imposée en premier, analyse d'un mécanisme interne à petite échelle moins spectaculaire que le bec des pinsons, enfin visibilité plus réduite des travaux de recherche conduite par des femmes.

de l'organisme. Ce rejet, processus de sélection, dépendra du niveau de développement des protections de l'organisme. Au niveau des organisations humaines, on relève simplement que ce principe de rejet s'applique également sur les idées mais également à tout groupe organisé, quelle que soit sa nature: famille, entreprise, institution...

La sélection pose la question du critère, et parfois un problème de conscience. D'ou une tendance à se faire assister par des systèmes d'information, systèmes décisionnels, voire à déléguer le choix à des algorithmes[353]. Le processus est technique : il débute par la collecte d'une multitude de traces, produites en particulier par les capteurs des dispositifs qui participent à la construction d'un internet des objets, et génère une production massive de données (*big data*). Sous l'influence de l'attracteur multiple, cette production est alors centralisée dans le *cloud*, voire un *lac de données*, sous l'influence de l'attracteur unique. Des algorithmes d'intelligence artificielle spécialisés dans la reconnaissance de forme alimentent alors des systèmes décisionnels. En cherchant à simuler les facultés cognitives humaines, ces systèmes évoluent vers des architectures dont la « plasticité » est aujourd'hui comparée à celle du cerveau humain. Ces évolutions nous conduisent à approfondir nos recherches vers l'étude des phénomènes oscillatoires, qui nous paraissent de plus centraux[354].

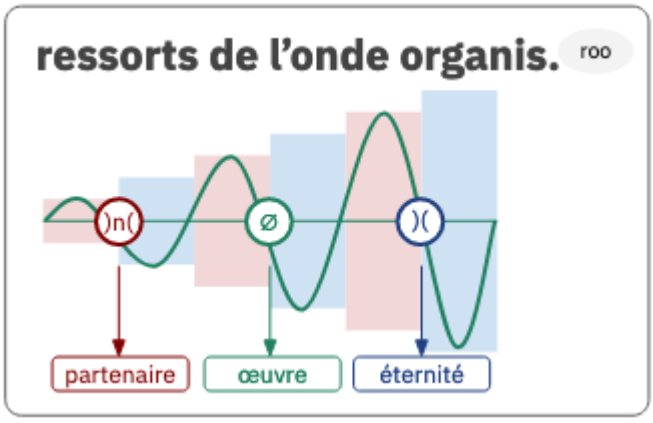
4.2.1.2. Phénomènes ondulatoires

Comme nous l'avons vu, la vie oscillatoire est au cœur du vivant. Les oscillations dérivent des rythmes de la planète terre, dont les plus évidents sont sa révolution autour du soleil et sa rotation sur elle-même. Notre hypothèse de l'onde humaine identifie une périodicité à une autre à échelle, notre vie entière effectuant un maximum de 3 périodes croissantes. Au cœur de la transdisciplinarité, les ondes et les rythmes nous semblent ainsi être centraux dans la compréhension de la transformation des organisations. Ils sont tout autant constructeurs, réparateurs,

353. Le choix d'un algorithme pour l'orientation des étudiants dans leur parcours post-bac en France, *ParcourSup*, n'est sans doute pas qu'un problème économique de traitement de grands nombres...
354. La modélisation des attracteurs par des oscillateurs est à l'étude, qui fait écho à une recherche *hors-les-murs*, menée par Denys Lépinard sur la théorie de la *Nouvelle Mécanique Ondulatoire* (2019)

que destructeurs. Une étude publiée dans la revue *Progress in Neurobiology* a même identifié des ondes dans l'électroencéphalogramme appelées « onde de la mort » et « onde de la réanimation » (Schramm et al., 2019)

Pour expliquer la triple ondulation de l'onde de transformation de l'organisation que nous avons relevée à différentes échelles, il nous semble opportun de poursuivre notre investigation sur le concept d'*écart*. Ainsi, à l'échelle humaine, associant les *écarts* à chacune des ondulations, nous obtenons respectivement les relations suivantes : le *manque* appelle le/la *partenaire*, le *vide* appelle l'*œuvre*, et le *néant* appelle l'*éternité*, afin d'immortaliser l'organisme soumis à son inévitable décohésion[355]. Dans les champs de transformation et d'organisation, ces trois *écarts* s'expriment simultanément mais à des degrés différents, en fonction de plusieurs paramètres, comme la constitution de l'individu[356], autrement dit les *conditions initiales* définis en partie par la génétique, et les phases de son développement, dans un contexte spatio-temporel, avec entre autres les phénomènes épigénétiques associés. La carte [roo] illustre cette nouvelle hypothèse, en ne représentant que l'influence des *écarts* dominants, positionnés à la fin des trois périodes, agissant comme un attracteur sur la trajectoire de vie de l'humain.

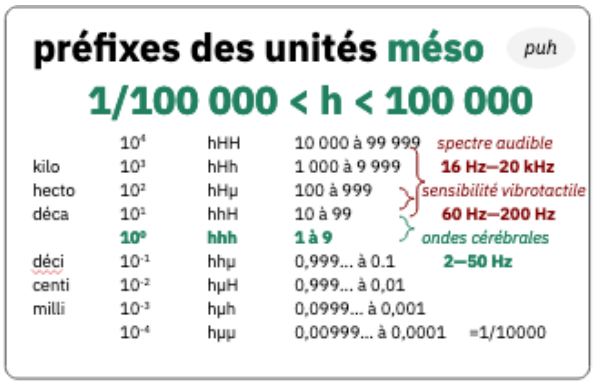


C260 — [roo] — ressorts de l'onde organisationnelle

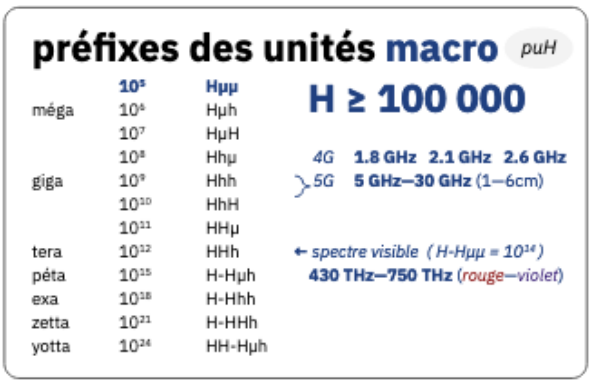
La perception du vivant à son environnement se traduit par un spectre de fréquences qui se propage dans des milieux différents selon le type d'onde. Ce spectre est discontinu et correspond à la sensibilité aux ondes électromagnétiques, pour le spectre visible, aux ondes mécaniques, pour le spectre audible et

355. Dans le même ordre d'idée, nous proposons de relier sexualité, travail et spiritualité à ces trois écarts, la prédominance de l'un pouvant occulter les autres.
356. Concernant la constitution des individus, il nous semble opportun d'approfondir une corrélation entre les trois doshas (énergies vitales) de l'ayurvéda, médecine traditionnelle indienne, *Kapha*, *Vata*, *Pitta*, et respectivement les trois attracteurs de transformation, unique, multiple et organisationnel.

vibrotactile, et à des ondes que nous qualifions de géométriques[357] pour le spectre des ondes cérébrales. Prenant la fréquence comme variable d'étude[358], nous avons ainsi commencé à explorer les plages de sensibilité en adoptant un codage des fréquences qui facilite les comparaisons. Nous avons ainsi introduit une notation sur le principe du *codon*, séquence de trois nucléotides, en faisant correspondre les nucléotides à des échelles, méso, macro et micro, respectivement notées h, H et µ. Avec ce codage en base 3, nous changeons de lettre à chaque dizaine, et attribuons le code hhh à la fréquence de 1 Hz. Nous obtenons ainsi une table de correspondance des fréquences qui permet de traduire les puissances de 10 comme l'illustrent les cartes [*puh*], [*puH*] et [*puµ*].



C261 — [puh] — préfixes des unités méso



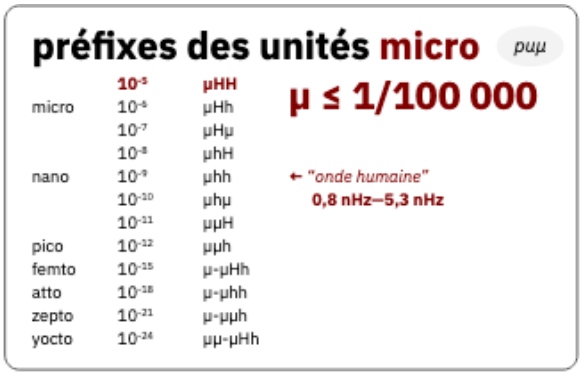
C262 — [puH] — préfixes des unités macro

A partir de cette échelle nous avons représenté les différents spectres liés à la perception humaine dans la grille d'analyse de l'organisation. La carte [*psf*] donne un aperçu de cette représentation, qui reste à affiner. Mais pour approfondir l'étude de ces phénomènes nous ressentons le besoin d'approfondir nos connaissances en mathématiques[359], autre axe de recherche.

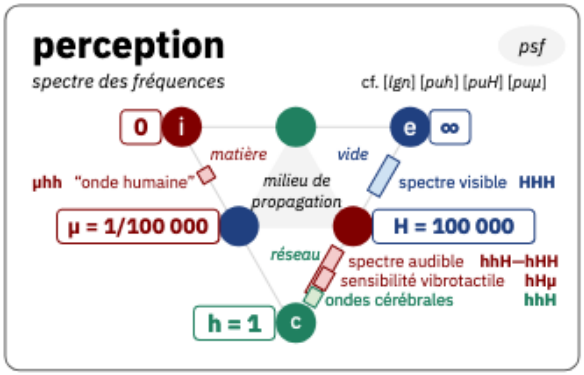
357. Qui correspondent à des déformations de la géométrie de l'espace-temps qui les propagent. Nous n'employons pas le terme d'ondes gravitationnelles.

358. Ce choix nous conduit à l'utilisation de la *transformation de Fourier* qui étend aux fonctions non périodiques le développement des fonctions périodiques en série de Fourier, afin d'obtenir un spectre de fréquences à partir d'un signal.

359. Pour approfondir en particulier les travaux de René Thom, l'algèbre de Clifford, et explorer l'œuvre de Grothendieck



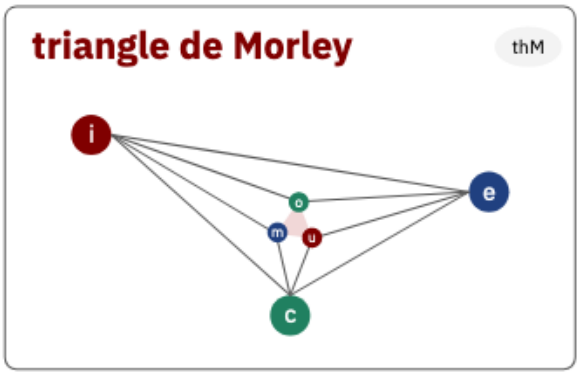
C263 — [puμ] — préfixes des unités micro



C264 — [psf] — perception

4.2.1.3. Approfondissement des mathématiques

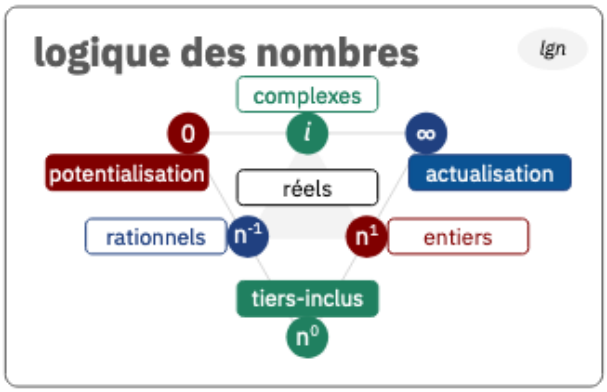
Dans ce domaine, également abordé par Lupasco (1971:53), nous avons déjà entrevu la puissance explicative, en explorant les propriétés des coniques et des complexes. Nous sommes cependant loin d'avoir épuisé ces constructions, en particulier la piste de la **trigonométrie**, branche des mathématiques qui étudie les relations entre angles et distances dans les triangles ainsi que les fonctions associées, comme sinus, cosinus et tangente, sans même parler de la trigonométrie sphérique, développée à partir des surfaces courbes de Riemann. Un exemple, le théorème démontré par Frank Morley en 1899, « *qui affirme que les demi droites divisant chaque angle d'un triangle en trois angles égaux se coupent au sommets d'un triangle équilatéral appelé triangle de Morley* » (Bouvier et al.,2013:601) semble traduire la permanence d'une influence symétrique des attracteurs au sein de chaque organisation, quelque soit sa forme, comme l'illustre la carte [*thM*]. D'autres lois et théorème méritent d'être étudiées en vue par exemple de calculer des tensions et transferts d'énergie, comme la *Loi des sinus*, la *Loi de Morrie*, ou les relations entre cercles et triangles[360]. De même, des pans entiers des



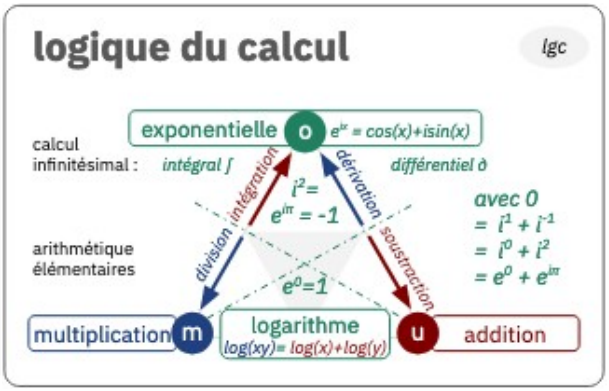
C265 — [thM] — triangle de Morley

360. Quelques exemples : pour un *cercle circonscrit* à un triangle quelconque le centre est à

mathématiques n'ont pu être réellement abordés, comme la *combinatoire* et la *théorie des graphes*, le *calcul matriciel* appliqué aux complexes et dérivés, les théories de Grothendieck, en particulier les *topos*, ou la *théorie des catastrophes* de René Thom, précieuse pour analyser les effets de *seuil*. L'outil mathématique nous semble nécessaire et précieux pour affiner nos modèles de représentation. Cependant nos premières explorations dans ce domaine nous amène à interroger l'enseignement des mathématiques, aux prises avec de réelles difficultés[361] et qui semble faire défaut aux humanistes. En parallèle à nos recherches visant à approfondir notre compréhension du fonctionnement de l'espace interne, nous souhaitons donc utiliser nos résultats de recherche pour construire des représentations qui facilitent la compréhension des abstractions, dans la voie de premières tentatives qui nous ont personnellement aidé dans la compréhension de ces différents concepts.



C266 — [lgn] — logique des nombres

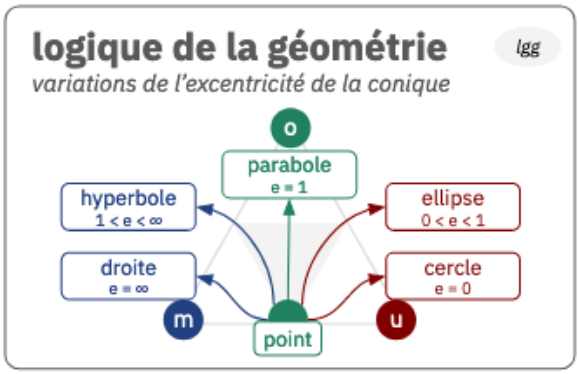


C267 — [lgc] — logique du calcul

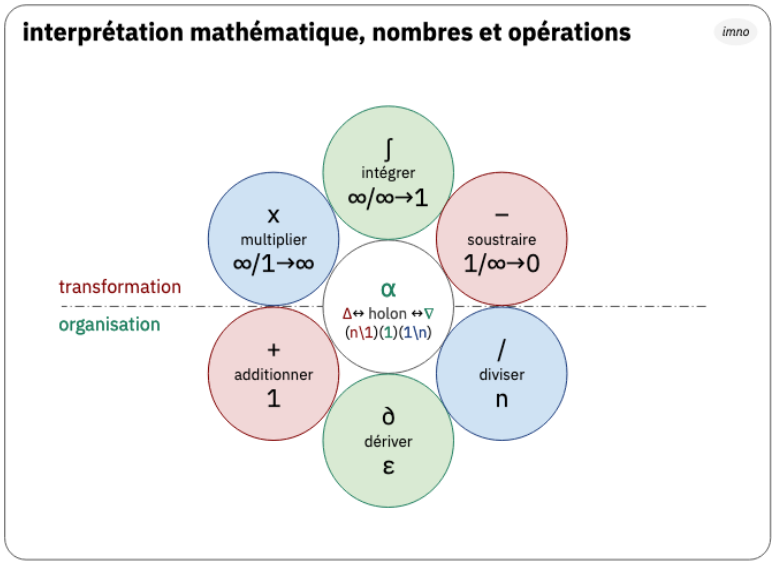
l'intersection des médiatrices et si le triangle rectangle le centre est au milieu de l'hypoténuse; pour un cercle inscrit dans un triangle quelconque, le centre est à l'intersection des bissectrices; le *Cercle de Conway* est composé des points cocyclique d'un triangle quelconque.

361. Comme semble le montrer les résultats obtenus dans le cadre du CEDRE Mathématiques (cycle des évaluations disciplinaires réalisées sur échantillon) par la DEPP, Direction de l'évaluation de la prospective et de la performance, avec toutes les réserves que l'on peut avoir sur ce type de questionnaire disponible en ligne : https://www.education.gouv.fr/cedre-2008-2014-2019-mathematiques-en-fin-d-ecole-des-resultats-en-baisse-306336 [consulté le 2020-10-21]

Les cartes [*lgn*], [*lgg*] et [*lgc*] en sont des premières illustrations, elles seront détaillées ultérieurement dans une communication spécifique. Plus simplement, pour étudier les transformations de l'organisation, nous proposons une interprétation mathématiques des nombres et **opérations mathématiques** élémentaires dans notre modélisation R1 et R2, opérations qui sont l'addition, la soustraction, la multiplication, la division, la dérivation et l'intégration[362]. Cette interprétation permet d'étudier la structure holonique de l'organisation, niveau par niveau, en considérant que les trois composantes organisationnelles d'un niveau sont soumises aux effets des trois attracteurs. La carte [*imno*] illustre cette interprétation. On remarquera les limites des tensions auxquelles chaque niveau est soumis. Celle de l'attracteur multiple est l'infini, celle de l'attracteur unique est zéro, celle de l'attracteur organisationnel est un. Cette unité organisationnelle évolue par quantité infinitésimale, notée **ε.** ; elle extrait une fraction de son environnement pour se maintenir. Les trois attracteurs ont un effet régulateur sur ce processus, puisqu'ils portent les opérations inverses.



C268 — [lgg] — logique de la géométrie

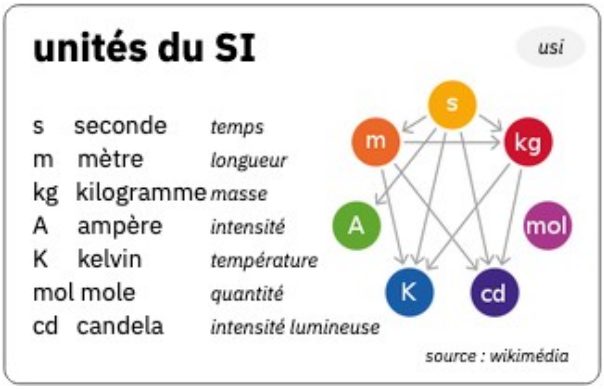


C269 — [imno] — interprétation mathématique, nombres et opérations

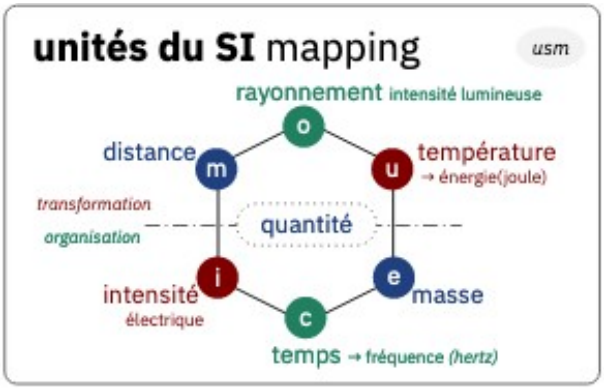
362. Rappelons que la découverte du calcul infinitésimal au XVIIe siècle, c'est-à-dire le calcul intégral et différentiel, par Fermat, Leibniz et Newton, a largement contribué à la révolution scientifique : la découverte des lois de la physique a rendu possible la révolution industrielle, par la découverte et la maîtrise du calcul des formules exprimant les lois de la gravitation, de la thermodynamique, et de l'électromagnétisme.

4.2.1.4. Approfondissement de la physique

Une exploration comparable nous semble à faire avec la physique. Les découvertes en physique se sont faites au fil de la compréhension des phénomènes observés, introduisant des unités nécessaires à la mesure des grandeurs associées. Ces unités ont évolué selon un processus similaire à celui de concrétisation des objets techniques[363], le nombre d'unités fondamentales s'étant progressivement réduit. Le système le plus utilisé de nos jours est le *Système International* (SI), qui définit sept unités de base, permettant de définir toutes les autres unités, appelées unités dérivées. Les valeurs unitaires des unités de base sont arbitrairement fixées à partir d'étalons. Ces étalons sont révisables; la dernière évolution date de 2018[364]. En nous appuyant sur la logique de représentation de l'organisation, nous avons étudié l'existence d'une relation possible entre ces unités et notre modélisation. La carte [*usi*] répertorie les unités et les grandeurs mesurées, avec leur interdépendances : l'unité de temps, la seconde, est fondamentale ; la fréquence, en hz, est son inverse.



C270 — [usi] — unités du Système International

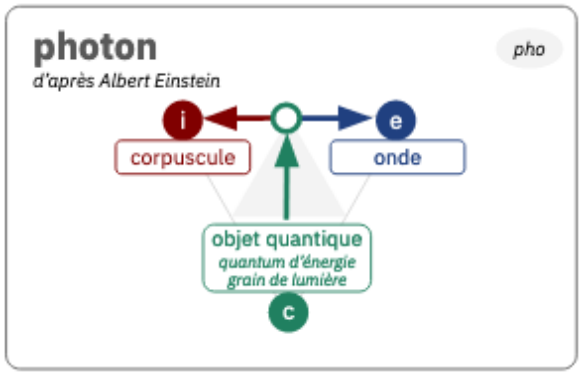


C271 — [usm] — unités du SI, mapping

La carte [*usm*] propose une correspondance. A l'espace interne de l'organisation nous associons l'intensité. On notera que cette grandeur fait écho à la *vie intense* (cf. § 3.1.2.1). La masse caractérise également l'organisation, elle influe sur sa relation avec son environnement, l'espace externe. La seconde, ou plutôt son inverse la fréquence, est reliée au centre organisateur.

363. Il en est de même en mathématiques, avec par exemple le groupe Bourbaki et la fondation des maths modernes cf. https://lejournal.cnrs.fr/articles/bourbaki-et-la-fondation-des-maths-modernes
364. La dernière qui date de 2018 et correspond à un changement de paradigme https://metrologie-francaise.lne.fr/fr/metrologie/evolution-du-si

Les trois unités, distance, température (ou énergie), rayonnement, vont déterminer des transformations de l'organisation en correspondance respective avec les attracteurs multiple, unique et organisationnel. La dernière unité est particulière, indépendante des six autres. Elle définit simplement une quantité d'unités. Elle est donc de nature informationnelle, positionnée entre les unités relatives à l'organisation et celles liées à la transformation. De même nous pouvons interpréter le photon en tant qu'organisation. Tel que l'a défini Albert Einstein, le photon est à la fois quantum d'énergie et grain de lumière. Il se manifeste sous une double forme, corpusculaire et ondulatoire (transport d'énergie), comme l'illustre la carte [*pho*]. Cette interprétation des unités du SI nous semble ouvrir de nouvelles pistes dans la compréhension de la relation entre l'inerte, le vivant et le conscient. Des trois niveaux centraux du *Pentachore des discipline*, la question de la **conscience** reste la plus mystérieuse. Définie par le CNRTL comme, chez l'homme, « *organisation de son psychisme qui, en lui permettant d'avoir connaissance de ses états, de ses actes et de leur valeur morale, lui permet de se sentir exister, d'être présent à lui-même* », nous esquissons une piste d'étude sous l'éclairage de nos représentations.



C272 — [pho] — photon

4.2.1.5. Exploration de la conscience

Sujet probablement exploré par réflexivité depuis son apparition, la conscience est toujours en quête d'une étude objective. Elle a particulièrement interpellé des scientifiques pionniers de la quantique, comme Einstein, Bohm, Schrödinger, Wigner ou Max Planck, celui-ci déclarant dans *The Observer* du 25 janvier 1931 : « *Je considère la conscience comme fondamentale. Je considère la matière comme dérivée de la conscience. Nous ne pouvons pas ignorer la conscience. Tout ce dont nous parlons, tout ce que nous considérons comme existant, postule la conscience*. »[365] Réinterrogée par les avancées des neurosciences, la conscience fait

365. Traduction de « *I regard consciousness as fundamental. I regard matter as derivative from*

également l'objet d'investigation chez les chercheurs en intelligence artificielle. Les recherches les plus avancées aboutissent à des systèmes constructivistes générateurs de faits de conscience (Cardon, 1999, 2004), qui modélisent de nouveaux systèmes autonomes artificiels, s'appuyant sur des systèmes multi-agents qui unifient les approches montantes et descendantes[366] (Cardon, 2016, 2018). Notons que ces avancées ont conduit ce chercheur, Alain Cardon, qui travaille également avec un psychiatre (Marchais et Cardon, 2010), à interrompre ses travaux, appelant la communauté scientifique à « *créer un comité d'éthique sur ce thème des systèmes dotés de conscience artificielle, pour que les applications restent dans le domaine éthique de la raison et de la science avec conscience.* »[367] Par rapport aux recherches des physiciens et mathématiciens, notre approche essentiellement schématique propose pour l'instant simplement des représentations qui positionnent en parallèle et au même niveau un espace interne (subjectif), un espace externe (objectif) et un tiers-lieu abstrait, le centre organisateur. Ce dernier semble néanmoins laisser une place à la conscience. Nous remarquons en effet que la conscience cherche à répondre à deux questions principales, l'une existentielle, l'autre opérationnelle, en corrélation avec nos deux espaces, sous l'influence respective des attracteurs unique et multiple. Considérant à présent l'attracteur organisationnel, générateur de l'organisation, il est relié au centre organisateur, lui-même relié à la mesure du temps (cf. carte *mus*), c'est-à-dire à une fréquence. Or la variation de celle au niveau de l'encéphalogramme, détermine différents rythmes cérébraux dont dépendent les états de conscience. Ce constat nous incite à poursuivre l'exploration de cette piste[368].

L'intelligibilité étant associée à la sensibilité, nous envisageons d'engager une démarche sur ce troisième axe, considérant la sensibilisation comme un travail de communication, de propagation et d'interaction, pour échanger sur nos résultats et

consciousness. We cannot get behind consciousness. Everything that we talk about, everything we regard as existing, postulates consciousness. » Source [consulté le 2020-12-06] : https://www.newspapers.com/image/?clipping_id=25590070

366. Il en est de même dans le modèle holonique que nous proposons puisque chaque niveau d'organisation comporte un centre organisateur

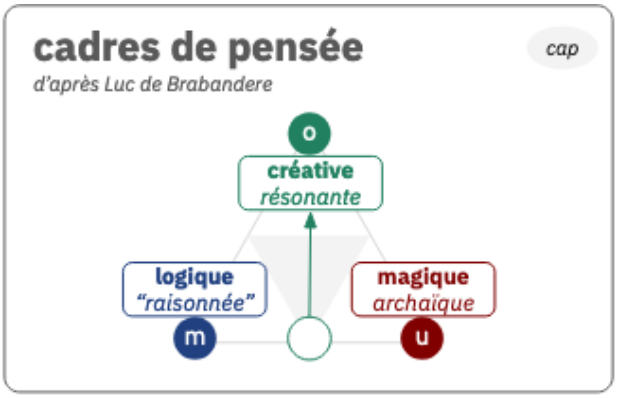
367. https://sites.google.com/site/cardalain/ [consulté le 2020-10-22]

368. En particulier dans la continuité des analyses de Stéphane Lupasco (1974)

idées, les affiner et les transmettre. Il s'agit de passer d'une l'influence de l'attracteur unique, avec un centrage sur la recherche, à celle de l'attracteur multiple, qui nous oriente en quelque sorte sur sa facette complémentaire, l'enseignement et plus généralement la transmission.

4.2.2. Sensibilité : propagation, enseignement, transmission

Nous envisageons la transmission pour aider à répondre au déficit de compréhension de la logique du tiers-inclus. Nous le rapprochons de la division de la pensée en différents cadres : ***pensée magique***, *pensée logique*[369] pensée créative, comme l'illustre la carte [*cap*]. Aborder la transmission en tenant compte de ces **cadres de pensée** nous semble un préalable pour mieux comprendre d'une part les tensions amplifiées par le développement de la technologie, issue de la pensée logique[370], et d'autre part le mode de raisonnement privilégié par chacun de nos interlocuteurs. Rappelons qu'une caractéristique fondamentale de notre modélisation est qu'elle ne privilégie pas un point de vue particulier mais traduit un jeu de tensions qui génère une multitude de couplages entre processus de potentialisation et d'actualisation. En conséquence, nous ne nous situons pas dans le paradigme du formatage, qui se traduit par l'action de l'externe sur l'interne, mais dans celui de la fertilisation du terrain pour activer le centre organisateur de l'organisation considérée. Il s'agit d'accompagner sa transformation en favorisant un couplage entre l'espace interne et l'espace externe, encourageant son autonomie dans un double mouvement d'impression et d'expression, afin de faciliter la construction du sens dans un



C273 — [cap] — cadres de pensée

369. Pour reprendre le titre de l'ouvrage de vulgarisation du mathématicien et philosophe Luc de Brabandere , *Pensée magique, pensée logique*, Le Pommier (2013)

370. Ces tensions atteignent aujourd'hui des proportions telles qu'elles deviennent source de déstabilisation des organisations à différentes échelles : source de violence, de souffrance et de destruction, sur l'environnement, mais également sur les individus

développement harmonieux de l'organisation. L'accompagnement consiste simplement à « *éclairer, convenir, entraîner* ».[371] Si ce processus gagnerait à s'épanouir dans un cadre académique, il n'a cependant pas de raison de s'y limiter. pouvant être enclenché quelque soit la phase de l'organisation, et sa forme individuelle ou collective. Pour aborder la méthodologie de la transmission, tant du côté de l'apprentissage que de l'enseignement, mais en amont de la problématique concrète traitée par l'ingénierie pédagogique, nous avons esquissé l'étude de différentes perspectives, certaines se retrouvant représentées dans nos grilles d'analyse.

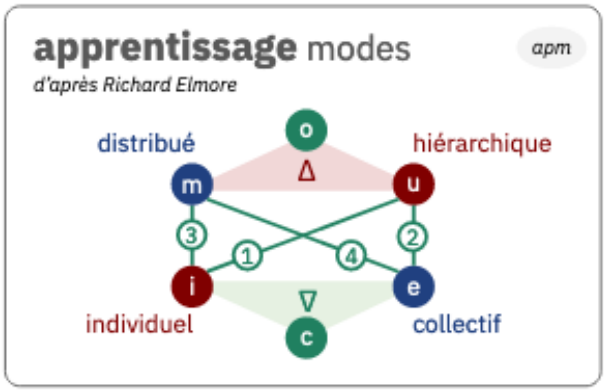
Une première perspective concerne le temps et le lieu de l'**apprentissage**. Dans son ouvrage *Une société sans école* (Illich, 1971), le philosophe invitait à sortir d'un cadre institutionnel trop formateur et militait pour un apprentissage sur les lieux de vie, tout au long de la vie, revendiquant un droit à apprendre en tout temps et en tout lieu. Ces propos trouvent toute leur pertinence à l'ère du numérique dans une société fluide en transformation permanente. Les technologies numériques nous amènent à nous inspirer des pédagogies actives, mettant en avant la pratique, l'interaction et la collaboration, qu'elles soient plus centrées sur le collectif ou sur l'individu, comme les pédagogies Freinet ou Montessori (Conac et al., 2019). Nous prévoyons de considérer également la forme du micro-apprentissage, les schémas d'organisation permettant la construction d'un parcours personnalisé, en phase avec les besoins et attentes. Si le contexte numérique présente l'opportunité d'étendre le partage d'expérience dans l'espace et le temps, il conduit également à s'interroger sur les dimensions marchandes et normalisatrices de l'enseignement[372]En effet, comme nous l'avons vu précédemment (cf. § 3.1.2.1.), Michel Foucault a mis en évidence la logique d'enfermement des *institutions disciplinaires*, dont l'école, et Gilles Deleuze a relevé l'arrivée d'une nouvelle logique, celle du contrôle au sein des réseaux, qui n'épargne pas le système

371. *Base line* suggérée par Daniel Bonnet pour la proposition d'une mission d'accompagnement au pilotage d'un projet de transformations en 2015

372. Cette orientation suppose en effet de ne pas faire dépendre le fonctionnement de l'institution pédagogique à des ressources externes, ce qui reviendrait à l'asservir aux objectifs de ses financeurs.

éducatif. Celle-ci se retrouve dans la multiplication des mesures de performance à tous les niveaux, des classements et de la mise en concurrence qui en résulte. Cette sélection peut se comprendre comme répondant à un besoin de régulation de flux, devenu nécessaire lorsque les faibles coûts de communication et de transport provoquent un engorgement des réseaux, bloquant la circulation au niveau physique et saturant les canaux de réception au niveau informationnel. Toutefois notre problématique n'est pas celle de la sélection ni de la performance, mais uniquement de la transmission de nouveaux schèmes, qui ne pourront être pleinement assimilés que par la pratique. Nous nous orientons donc vers la création d'ateliers, constitués à partir d'une *motivation*, dont la définition est, en psychologie, « *ensemble des facteurs dynamiques qui orientent l'action d'un individu vers un but donné, qui déterminent sa conduite et provoquent chez lui un comportement donné ou modifient le schéma de son comportement présent.* »[373] L'objectif est d'accorder les points de vue, en créant un ou un ensemble de motifs partagés, c'est-à-dire des patterns.

Une deuxième perspective concerne les **modes d'apprentissage**. Selon Richard Elmore, professeur à la *Harvard Graduate School Of Education*, ils dépendent dans l'individu et s'analyse selon deux axes orthogonaux, définissant un quadrant de l'apprentissage[374]. Le premier mode, hiérarchique individuel, correspond à l'enseignement traditionnel, l'enseignement étant transmis à l'apprenant dans le cadre d'un système compétitif. Le second mode, collectif hiérarchique, fait également appel à un enseignant mais le cadre est collaboratif. Dans le mode individuel décentralisé, c'est l'apprenant qui sélectionne ses objectifs, sources et moyens. Dans cette autoformation autonome, les ressources sont distribuées. Dans le mode collectif



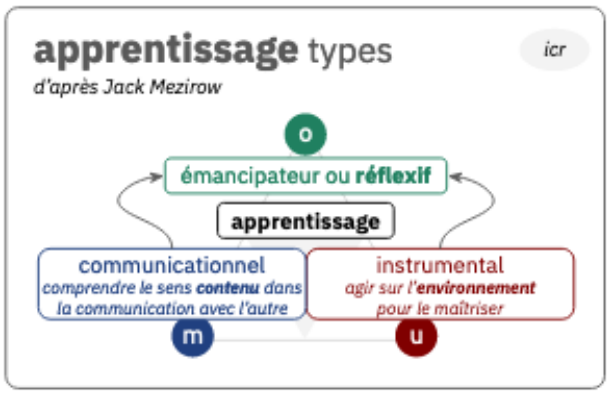
C274 — [apm] — apprentissage, modes

373. Cf. https://www.cnrtl.fr/definition/motivation

374. Enseigné dans le MOOC Leaders of Learning [consulté le 2020-10-10] : https://courses.edx.org/courses/course-v1:HarvardX+GSE2x+1T2016/course/

décentralisé; l'apprentissage s'auto-organise autour d'intérêts communs. Ces quatre modes sont illustrés par la carte [*apm*].

Une troisième perspective relève des **types d'apprentissage** précédemment évoqués au § 3.2.3.2. Rappelons les trois types que distingue le sociologue Jack Mezirow. L'*apprentissage instrumental* est avant tout à finalité opérationnelle. Centré sur un but précis, il consiste à agir sur son environnement pour le maîtriser. L'*apprentissage communicationnel* vise à comprendre le sens contenu dans la communication avec l'autre. Il s'adapte à la variété des situations rencontrées. Le troisième type, l'a*pprentissage réflexif* est sur un autre niveau. Il est émancipateur, consistant à s'interroger sur ces propres pratiques d'apprentissage. Comme l'illustre la carte [*icr*], ces trois types se rattachent respectivement aux attracteurs unique, multiple et organisateur.

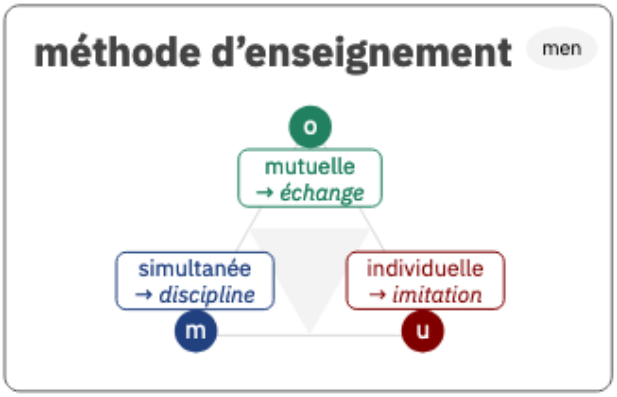


C275 — [icr] — apprentissages, types

Une quatrième perspective concerne les modes de transmission. Trois modes principaux sont généralement envisagés : *individuel*, *simultané*, *mutuel*. L'**apprentissage mutuel** évoque le fonctionnement en *pair à pair*, qui favorise l'autonomie des participants. Il s'appuie sur l'échange, chaque apprenant étant en mesure de transmettre son expérience. Comme le rappelle la philosophe Isabelle Stengers, apprendre fonctionne dans les deux sens (Stengers, 2004). L'apprentissage mutuel est une méthode d'enseignement qui s'est développée à partir du XVIIIe siècle pour répondre au besoin de l'enseignement collectif, dont l'importance va croître avec le développement de la révolution industrielle. Si cette forme d'enseignement semblait être particulièrement efficace (Querrien, 2005), elle était néanmoins en concurrence avec d'autres méthodes, en particulier la méthode individuelle et la méthode simultanée. La **méthode individuelle** s'appuie sur l'imitation. C'est la plus directe mais elle perd en efficacité en groupe, à moins de multiplier les enseignants, ce qui représente un coût. Avec la **méthode simultanée**,

l'enseignant dispense simultanément un savoir à une classe d'âge. Mutualisant les coûts au niveau du groupe, elle induit cependant une contrainte de synchronisation des disponibilités. Pour la résoudre, elle s'appuie sur la discipline, devenant de ce fait un instrument de pouvoir. C'est le mode adopté en France depuis bientôt 200 ans par l'éducation nationale.

Ces trois méthodes s'analysent également avec les trois *attracteurs de transformation.* La carte [*men*] illustre leur positionnement respectif et leur complémentarité. En la rapprochant de la carte [*sch*] sur la schématisation, (dans l'encadré E36), on notera que face aux difficultés que rencontre la méthode officielle du système éducatif français, la méthode mutuelle semble mieux adaptée aux sociétés en réseaux en interconnexion croissante à l'ère du numérique.



C276 — [men] — méthode d'enseignement

Une dernière perspective est envisagée sous l'éclairage des expériences terrain de l'anthropologue Paul Jorion[375] qui distingue « *savoir théorique* » et « *savoir pratique* ». Si en France l'éducation nationale privilégie le théorique, la pratique nous semble primordiale, en particulier pour favoriser le processus d'incarnation du savoir, qui s'inscrit rappelons le dans le paradigme de l'énaction. Si c'est le mode de transmission des savoirs non encore formalisés — le formalisme de nos représentations est susceptible d'évoluer — c'est surtout le mode mis en œuvre par le compagnonnage[376]. Inscrit au patrimoine culturel immatériel de l'humanité, ce réseau traditionnel de transmission des savoirs s'appuie sur le collectif. Les rencontres faites au cours du voyage de l'apprenti compagnon lui permettent d'appréhender une diversité de contextes, et de réaliser une œuvre, tout en développant de fortes valeurs éthiques. Ce dernier mode nous semble également répondre efficacement aux besoins de reconnexions avec le terrain,

375. Comme il nous le rappelait dans cette interview vidéo, disponible en ligne : https://www.pauljorion.com/blog/2020/08/20/piqure-de-rappel-la-transmission-des-savoirs-a-becherel-le-19-avril-2014-2/ [consulté le 2020-12-01]

376. Cf. https://compagnonsdutourdefrance.org/pages/qu-est-ce-que-le-compagnonnage

rematérialisation et recontextualisation, qu'induit le numérique. Il fait écho à la troisième voie envisagée ci-après.

Ce bref panorama reste embryonnaire et à approfondir en revenant aux sources comme *La formation de l'esprit scientifique* (Bachelard, 1938), et aux *théories de la motivation* pour faciliter les apprentissages. La centralité du réseau nous conduit également à nous intéresser à la *théorie sociocognitive* et au concept d'*auto-efficacité* proposés par le psychologue pragmatique Albert Bandura[377]. Nous envisageons l'usage des représentations R0 à R5 dans une démarche de co-construction d'outils pour poursuivre nos recherches, décrire, apprendre et échanger, mais surtout pour permettre d'apprendre à apprendre, et d'apprendre à transmettre. Pour favoriser l'apprentissage mutuel, nous nous appuyons sur deux idées. La première idée est d'utiliser des concepts pivots comme les attracteurs ou les tensions de transformation[378] pour favoriser une interopérabilité entre des langages de plus en plus spécialisés, qui justifient la nécessité d'une co-construction. La transdisciplinarité reste au cœur de notre approche. Une seconde idée est d'utiliser les schémas d'organisation pour faciliter l'apprentissage. Les schémas illustrent la double tendance de l'évolution, sélective et reproductive, faisant appel aux modes compétitif et collaboratif. L'enjeu est d'activer les processus d'homogénéisation et hétérogénéisation dans des proportions équivalentes.

4.2.3. Direction : résonances

La troisième perspective concerne la *direction*. Celle-ci peut apparaître comme très différente selon l'échelle considérée. En effet, dans un mouvement ondulatoire, la tangente à l'onde change de sens en permanence pouvant même suivre deux directions opposées. En prenant du recul, l'onde peut suivre une direction, qui peut s'appuyer sur courbe. A plus grande échelle, cette courbe peut être la tangente d'une vis d'Archimède. A chaque changement d'échelle, un sens nouveau apparaît

377. Et qui fait suite à des corrélations relevées entre les apports de psychologue et nos résultats, lors d'échanges sur notre troisième cas d'étude. Les quatre étapes du processus d'apprentissage, attention, représentation, production, puis renforcement semblent effectivement s'inscrire dans notre modélisation.

378. Mais également tous ceux relatifs à la représentation de l'organisation

sur la trajectoire, relativisant l'importance de celle-ci. Il est sans doute plus judicieux de s'intéresser à un autre facteur, la tension, et plus particulièrement à sa dérivée, c'est-à-dire à la variation de tension, source du mouvement ondulatoire. Ce point de vue met en avant les notions de saillance-prégnance, l'émergence d'une figure sur un fond et sa perception, mais également de fréquence, variation régulière, et de rythme, perception d'une structure dans sa répétition. En prenant en compte le multiple, ces considérations conduisent à l'**harmonie**, « *combinaison spécifique formant un ensemble dont les éléments divers et séparés se trouvent reliés dans un rapport de convenance, lequel apporte à la fois satisfaction et agrément* »[379].

Cette voie pose de nouveau une question à trois états, l'opposition entre le laisser-agir, suivant le principe d'auto-organisation, ou de la régulation, entrant dans le domaine du juridique. Ce dernier domaine nous semble essentiel à l'ère du numérique mais nécessite de considérer sa fonction anthropologique (Supiot, 2005). Le tiers-inclus reste à explorer, faisant entrer dans le domaine de la création, qui sont au cœur de la science et de l'art, en particulier via la simulation et la fiction. Il s'agit d'interroger l'*épistémologie de la théorie et de la pratique artistique*[380]. Il nous semble en particulier que l'art numérique, l'art interactif et l'art génératif peuvent apporter un éclairage réflexif sur les représentations de cette logique du tiers-inclus et de la transformation des organisations, contribuant de ce fait à changer la perspective de ceux qui considèrent la science et la technologie comme distinctes de la culture générale (Wilson, 2002). Mettant l'accent sur l'interactivité et l'investigation philosophique du réel et du virtuel, ces nouvelles formes d'art sont de nature multi-sensorielle (Popper, 2007). L'ère du numérique accélère les possibles et nous entraîne dans une voie difficile à anticiper, c'est pourquoi une expérimentation artistique et ludique peut aider à prendre conscience des enjeux actuels. Citons Philippe Quéau pour conclure : « *Le but final de l'art est de représenter d'une façon concrète " ce qui s'agite dans l'âme humaine ", dit Hegel.*

379. Définition du CNRTL : https://www.cnrtl.fr/definition/harmonie

380. Pour reprendre le titre d'un article d'Hervé Fischer dans la revue ASTASA, Arts Sciences Technologies Actualités Scientifiques de l'Art, disponible en ligne [consulté le 2020-12-01] : https://www.astasa.org/2020/05/18/epistemologie-de-la-theorie-et-de-la-pratique-artistique/

Cette formule ambitieuse contient toutes les autres. » (Quéau, 1989:15) Mais pour questionner ces possibles de nouveaux outils pourraient nous aider.

4.3. Requestionnement

> « *A new type of thinking is essential if mankind is to survive and move toward higher levels* ». (Albert Einstein, 1946)[381]

Marquée par des *confinements*, *déconfinements*, *reconfinements*[382], la période particulière que nous traversons en 2020-2021 appelle à dépasser le simple questionnement pour aller vers un *requestionnement*, terme qui signifie « *questionner de nouveau* » (CNRTL), en série (vue temporelle) et en profondeur (vue spatiale). L'enjeu est de dépasser nos limites cognitives[383]. Cela nous semble la première des conditions pour actualiser le *potentiel d'une schématisation dynamique de l'information*. Nous revenons ainsi sur l'interrogation épistémologique du cadrage (§ 0.5) pour préciser trois orientations de la pensée qui nous apparaissent comme problématiques. Les deux premières se complètent et s'inscrivent dans un antagonisme, il s'agit de l'*objectivation* et du *détachement*. En traitant un **objet** *détaché* de son contexte — *objet* vient du latin *objectum*, étymologiquement « *ce qui est placé devant* », pour être perçu ou pensé : est désigné par *objet* « *tout ce qui se présente à la pensée, qui est occasion ou matière pour l'activité de l'esprit* » (CNRTL) — on le fige, on l'appauvrit[384]. L'*observation* —

381. D'après l'article *Atomic Education Urged by Einstein*, New York Times (25 May 1946). C'est selon Alice Calaprice la citation la plus proche de celle classiquement attribuée à Einstein, « *We can't solve problems by using the same kind of thinking we used when we created them* » citation dont elle n'a pas retrouvée les sources, telle qu'elle le propose dans son ouvrage *The New Quotable Einstein* (2005)

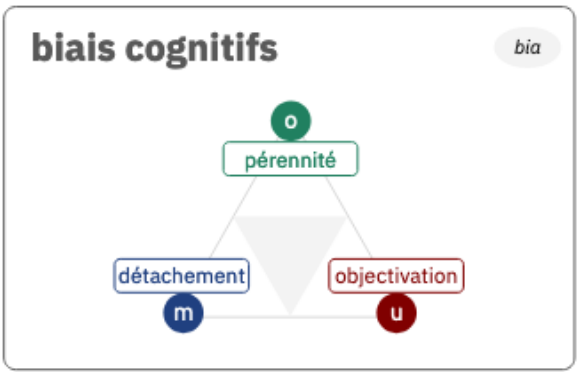
382. Terme dont l'usage est débattu, l'enjeu étant de ne pas inscrire cette stratégie dans le cycle de développement du virus.

383. L'adjectif est pris au sens suivant :« *PSYCHOL. APPL. Qui concerne les moyens et mécanismes d'acquisition des connaissances.* »(CNRTL)

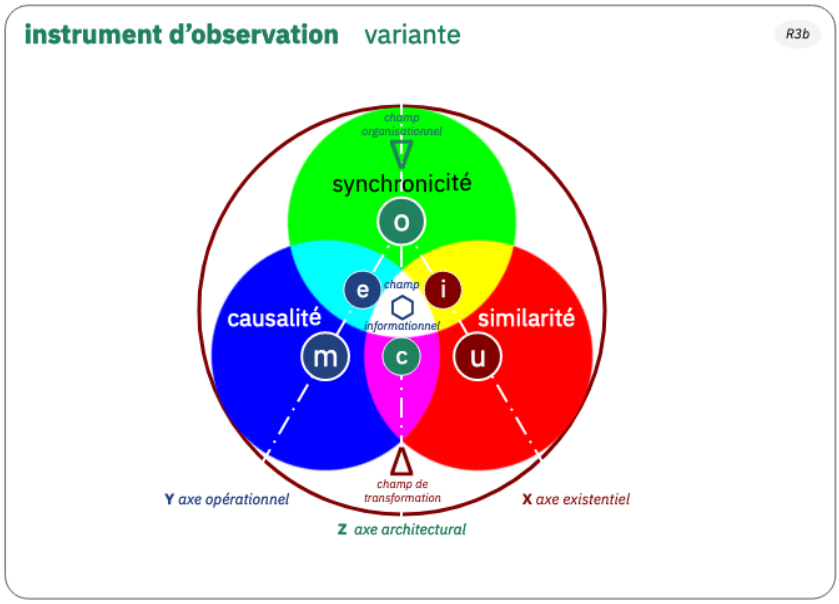
384. En physique quantique, l'observation réduit le paquet d'onde, un système physique voyant son état entièrement réduit à celui qui a été mesuré. Il reste possible de renoncer au postulat de la réduction de la fonction d'onde de Schrödinger, en suivant d'autre théories, comme la *Théorie quantique de l'observation*, initiée par John Von Neumann et développée par Hugh Everett dans sa *Théorie des mondes multiples*. Notre préférence va à la théorie du libre-arbitre et son théorème associé, le *Théorème du libre arbitre* (Conway & Kochen, 2006) des deux mathématiciens John Conway et Simon Kochen. Selon ce théorème si un expérimentateur dispose d'un **libre arbitre** — défini comme la capacité qu'aurait une entité à prendre des décisions non définies par une fonction au sens mathématique du terme — alors les particules élémentaires qui le composent en disposent aussi.

« *action d'observer (scientifiquement), ce que l'on observe* » (CNRTL, DMF) — implique une mise à distance et incidemment une rupture de liens, introduisant une troisième déviation systématique de la pensée logique classique, autrement dit un **biais cognitif**. Nous qualifions ce tiers-inclus de *biais de pérennité*, « *état, caractère de ce qui dure toujours ou très longtemps* » (CNRTL). Or comme nous l'avons vu en partie 1, tout se transforme, à plus ou moins longue échéance.

La carte [*bia*] positionne ces trois biais sur notre grille d'analyse de la transformation. Cette *objectivation* et ce *détachement* vont privilégier un double mode de pensée, celui de la *similarité*, qui conduit à masquer les différences pour abstraire et catégoriser, et celui de la *causalité*, source de la rationalité sur laquelle s'appuie intensément la science, au détriment de la *synchronicité*, « *une coïncidence significative* » d'après le psychologue analytique Carl Gustav Jung (1964). La **synchronicité**, occurrence simultanée d'au moins deux événements qui ne présentent pas de lien de causalité[385], s'inscrit au niveau du *tiers-inclus* par rapport aux autres modes de pensée, et se retrouve occultée par le *biais de pérennité*. Ce constat nous conduit à proposer une variante de notre *outil d'observation* qui met en avant la



C277 — [bia] — biais cognitifs



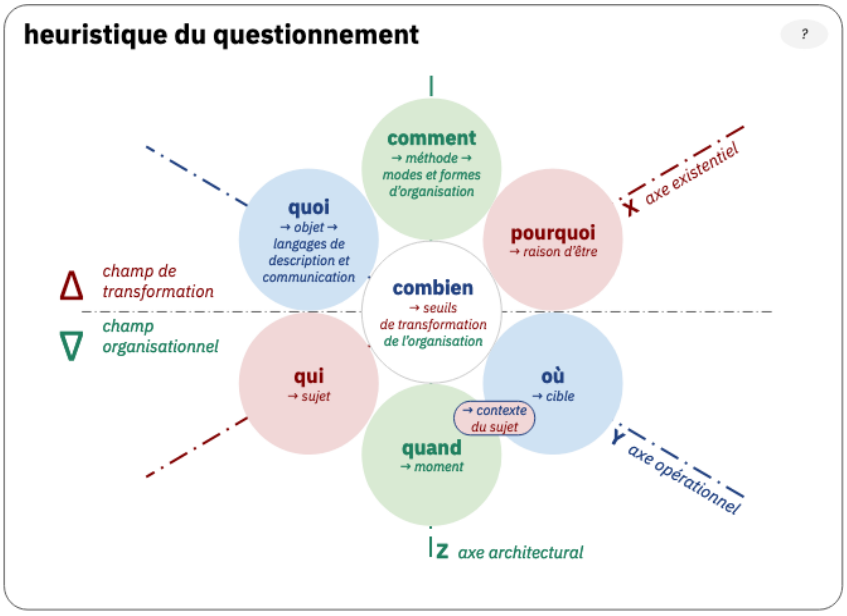
C278 — [R3b] — instrument d'observation, variante

Ce théorème est pleinement compatible avec nos représentations.

385. Sont exclus les synchronisations causales comme celles relevant de la *sympathie des horloges* identifiée par Huygens et désormais expliquées (Oliveira & Melo, 2015)

relation entre ces trois modes de pensée, *causalité*, *similarité* et *synchronicité*, et les trois attracteurs, *multiple*, *unique* et *organisationnel*, comme l'illustre la carte [R3b].

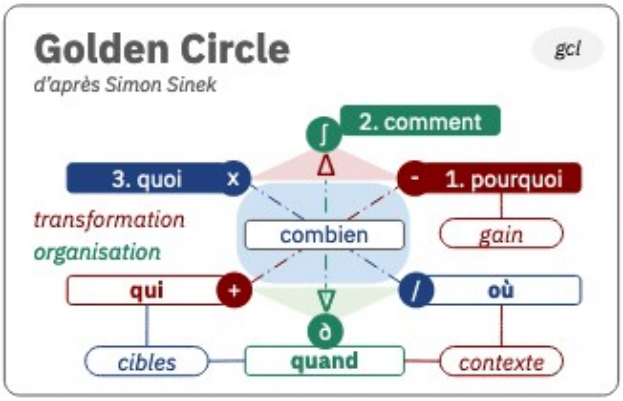
Le premier apport de nos *représentations* a sans doute été d'*organiser* un ensemble de concepts préexistants. Ces représentations s'étant construites à partir d'un questionnement, il est donc logique qu'elles appellent à requestionner les **questions élémentaires** de départ. Ce requestionnement nous amène à proposer un nouvel outil[386], appelé « *heuristique du questionnement* », obtenu par projection des questions sur une grille d'analyse qui positionne les éléments des deux champs de transformation et d'organisation, comme l'illustre la carte [*?*]. La première question est *existentielle* : *pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?* Nous la positionnons au niveau de l'*attracteur unique*. L'*actualisation* appelle alors le *quoi*, le *comment* étant lié au *tiers-inclus* et à l'*organisation résultante*. Au niveau du *champ organisationnel*, nous positionnons le *sujet*, que désigne le *qui*, et son contexte défini par le *où* dans l'*espace externe* et le *quand* relatif à l'*attention*. Reste le *combien*, que nous positionnons au centre[387], puisqu'il est en rapport avec la *description* et en lien avec la *commande* des *seuils* de *transformation* de l'*organisation*.



C279 — [?] — heuristique du questionnement

386. Qui complète les 5W anglo-saxons (What Who Where When Why), les quatre premiers servant de guide à tout bon article journalistique (cf. https://www.24hdansuneredaction.com/radio/4-les-5-w/)et les 5 pourquoi de la gestion de la qualité développée par Toyota, cf. https://fr.wikipedia.org/wiki/Cinq_pourquoi
Rappelons également que la filiation de l'analyse QQOQCCP remonte à Aristote (*Éthique à Nicomaque*, Livre III, Chap. 2, fragment 1111a 2-20), et a été reprise par Harold Dwight Lasswell, pionnier de l'étude de la communication de masse et de la science politique dans son modèle de communication avec la formule « *Who says What to Whom in Which channel with What effect* » (Lasswell,1948)
387. Comme les économistes…

Nous illustrons un premier usage de cet outil avec l'analyse d'un modèle proposé par Simon Sinek, conférencier americano-britannique, qui a étudié *comment les grands leaders inspirent l'action* (Sinek, 2009)[388]. Il a ainsi identifié que pour présenter un produit ou une idée, la stratégie gagnante est de répondre dans l'ordre à trois questions : *pourquoi*, *comment*, puis *quoi*. Ordonnant ces question du centre vers la périphérie, il dessine alors une figure qu'il appelle **Golden Circle**. En projetant ces cercles sur notre grille, nous constatons qu'il s'agit des trois questions associées à la *transformation* comme l'illustre la carte [*gcl*], sur laquelle nous avons remplacé les attracteurs de transformation et les composantes de l'organisation par les opérateurs mathématiques élémentaires[389]. Le *pourquoi* va tendre à l'*universel*, le *comment* va faciliter le *couplage*. Le *quoi* dans le champ de l'utilitaire est le moins pertinent des trois car il vise une *multitudes de cibles* — le *qui* — chacune étant répartie[390] dans *un contexte qui lui est propre*, définit par le *où* et le *quand*.



C280 — [gcl] — Golden Circle

Equipé de nouveaux outils de questionnement, nous clôturons temporairement les perspectives pour conclure cette dernière partie, en précisant simplement qu'une *question* est la source d'une *tension* qui génère un *écart*, de type *vide*, appelant *des réponses* ou d'autres *questions*, suivant un processus de *propagation*. En *actualisant* ce *potentiel* il se produit parfois des *bifurcations* pouvant conduire à l'*émergence* de nouvelles *idées*[391].Nous avons rencontré cette situation à plusieurs reprises.

388. Sa conférence TEDx sur ce sujet est l'une des plus consultée : https://youtu.be/u4ZoJKF_VuA
389. Issus de la carte [imno]. On pourra également relever la cohérence avec la carte [usm]
390. On notera la division des espaces
391. Dans notre modélisation, l'*idée* est une graine d'information de type 9 (micro moteur, stimulateur), la *question* comme l'*action* étant une graine de type 8 (micro moteur, inducteur).

4.4. Conclusion du déploiement

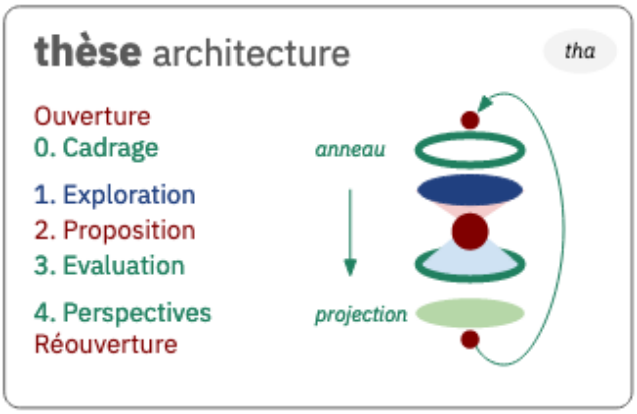
Dans le même genre que *Le déploiement* cité dans l'introduction de cette dernière partie, sa conclusion évoque un album de bande dessinée de Marc-Antoine Mathieu, *Le début de la fin — La fin du début*. Dans cet ouvrage, le héros Julius Corentin Acquefacques[392] traverse *l'épaisseur du miroir*[393] au milieu de l'album, qui se poursuit dans l'autre sens, le lecteur étant invité à retourner le livre. Notre quatrième partie, procède également du retournement, avec la sous partie *Critiques*, et du recommencement, avec la sous-partie *Perspectives*.

Nous avons ainsi identifié les principales critiques suivantes : une mise en application qui reste limitée, et la difficulté liée au changement de paradigme que nous introduisons, et qui demandera un certain temps de déploiement, suivant un rythme organique. Si la première difficulté est sans doute d'ordre linguistique, propre en cela à toute démarche transdisciplinaire, la seconde relève d'une combinatoire entre l'inertie d'un système existant qui cherche à se maintenir et les incertitudes qui accompagnent la mise en place de nouvelles pratiques, liées à la métamorphose numérique. Cependant, la dimension heuristique de la modélisation nous semble prometteuse, ouvrant de multiples perspectives. Nous en privilégions trois, qui littéralement font sens, car relatives à la sensibilité et l'intelligibilité, pour définir une direction. La première est de poursuivre notre exploration en approfondissant nos connaissances et en confrontant nos premières hypothèses avec des spécialistes des disciplines concernées. Ces échanges appellent secondement un travail sur la transmission, qui nous amène dès à présent à concevoir des dispositifs pédagogiques et ludiques. En suivant ces deux orientations, il est sans doute difficile de connaître précisément la direction qui émergera de nos prochains travaux, nous chercherons donc simplement à privilégier l'effet de résonance, celle-ci étant perçue comme un élément déclencheur de la transformation des organisations.

392. On reconnaîtra l'envers phonétique de Kafka
393. Autre nom de l'album

Réouverture

Le titre de cette conclusion finale peut sembler étrange. Nous le justifions par un nécessaire retour à la question de départ, le rapport entre l'*organisation* de l'*information* et la *transformation* de l'*organisation*, pour résumer d'une part notre apport à cette question, d'autre part les suites principales envisagées à partir des perspectives. L'architecture de la thèse présente ainsi une double symétrie, illustrée par la carte [*tha*].



C281 — [tha] — architecture de la thèse

Revenons à notre hypothèse de départ, sur la transformation des organisations, et le *point de frottement* entre *organisation de l'information* — cœur du métier de l'*architecte de l'information* — et t*ransformation de l'organisation*. Notre démarche a largement utilisé l'*analogie* qui, rappelons le, est *au cœur de la pensée* d'après Douglas Hofstadter et Emmanuel Sander. En définissant un *Pentachore des disciplines*, dérivé de l'*Anneau des disciplines* du systémicien Francis Bailly, nous avons d'abord, pour cadrer notre sujet, modélisé trois boucles, une *boucle de création*, une *boucle de connaissance* et une *boucle de commande*. Appliquant la *logique de l'énergie* du philosophe Stéphane Lupasco et son extension aux *niveaux de réalité* du physicien Basarab Nicolescu, nous avons retenu un ensemble de principes inspiré du fonctionnement de la physique et du vivant — l'*émergence* issue de la *théorie du chaos*, l'*homéorhésie* principe de conservation de la trajectoire des organismes, la *fractalité* exprimant la similarité aux différentes échelles, et le modèle du *holon* d'Arthur Koestler, modélisation des relations entre les parties et le tout — pour proposer une vision *simplexe* du *complexe*, dans la lignée des travaux du neurophysiologiste Alain Berthoz et du sociologue Edgar Morin. Plus précisément, nous avons formalisé dans un premier temps les *transformations* comme l'expression de *tensions* générées par les *écarts* entre trois *attracteurs de*

transformation et , dans un second temps, trois composantes de l'*organisation*, un *espace interne* et un *espace externe* mais surtout un *centre organisateur*, équivalent dynamique non localisé du *centre de gravité*.

C'est à l'intersection de ces deux modèles, auxquels nous associons un *champ de transformation* et un *champ organisationnel*, que nous positionnons un *champ informationnel*, validant l'hypothèse introductive H1, *l'information est un vecteur de transformation*. Pour décrire le contenu du champ informationnel, nous proposons des unités élémentaires de représentation sous la forme d'un jeu de *descripteurs*, que nous appelons *graines d'information*. Les *graines d'information* servent à construire des *représentations*, que nous appelons *schéma d'organisation*, permettant d'exprimer différents *points de vue*, éventuellement contradictoires, et de les aligner. Ces deux concepts avaient progressivement émergé de notre expérience en architecture de l'information. Rappelons que c'est pour répondre au manque d'une modélisation idoine de l'organisation et de la transformation des organisations que nous avons engagé cette recherche, cherchant à enraciner scientifiquement ces graines. Comblant ce manque, la proposition ainsi construite définit une architecture qui semble s'inscrire pleinement dans la *raison computationnelle* : les unités élémentaires d'information (les graines d'information) sont assemblées en *réseaux* (les schémas d'organisation). Les différentes représentations personnelles forment des *couches*. Ces éléments sont manipulable par des *programmes*, chaque unité étant susceptible d'intégrer son propre code[394] (cf. carte [g]). Des *maquettes numériques* pour la simulation sont également envisageables à partir de cette architecture. On notera également un usage poussé de la *raison graphique*. L'usage de *listes*, *tableaux* et *schémas* nous a ainsi conduit à la découverte d'une *formule*, équation parabolique d'une onde humaine organisationnelle[395]. Cette adéquation à la *raison computationnelle* semble confirmer notre hypothèse H2, sur le *« bon » niveau de gestion de l'information*, qui s'écarte des modèles dominants de la *page* et de la *data*, le premier hérité du

394. Dans la logique des systèmes multi-agents holoniques, ce qui n'a cependant pas encore été implémenté
395. Illustrés en P10 et P15

support livre et écran, n'est plus adapté aux smartphones et objets connectés, tandis que le second, centré sur la technique, est réservé aux spécialistes. Nous proposons ainsi des *schémas organisationnels*, qui peuvent aussi être qualifiés d'*ondoyant*, puisqu'ils sont mobiles et changent aisément. Il reste donc à identifier les *patterns*, sur lesquels les aligner, pour générer un effet de *résonance*.

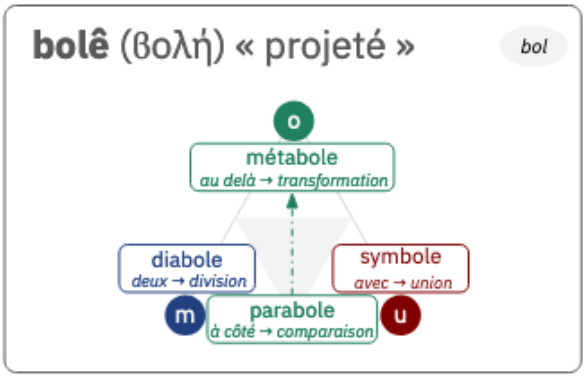
Dans la première partie exploratoire, nous avons acté que l'*information* était devenue un concept central des *Sciences physiques* et des *Sciences du vivant*. Déterminant la face matérielle et immatérielle du vivant, elle est aujourd'hui considérée comme le *fil de la vie* (Dessales et al., 2016). L'information est évidemment centrale également dans les *Sciences Humaines et Sociales* en général et les *Sciences de l'information et de la communication* en particulier. Mais la *transdisciplinarité* du concept d'information pose un problème de langage, ce problème étant amplifié par les technologies numériques dont le rythme de fonctionnement et de déploiement invite au mode réflexe plutôt qu'à la réflexion[396]. Nous avons eu confirmation du premier point lors de la mise en place de notre proposition, un alignement sémantique étant nécessaire à la mise en place des *graines d'information*. Ce constat confirme notre hypothèse H3 sur les difficultés de compréhension non seulement du processus de transformation, mais également de celui d'organisation, qui incombent au langage courant. Sur le second point, dans la mesure du possible, nous essayons d'apporter le recul nécessaire lors de nos interventions, avec en particulier des vues synoptiques. A l'issue de nos travaux de recherche, nous considérons cependant que l'étude du *point de frottement* entre les deux processus de transformation et d'organisation initie et appelle une *tribologie informationnelle* ou *tribologie numérique*.

La *tribologie* est un terme de la mécanique qui signifie « *étude des phénomènes mis en jeu par le frottement des corps* » (CNRTL). Le terme de tribologie se compose de la racine grecque « *bole* », signifiant projeter, et de « *tri* », indiquant la dimension ternaire de la projection. Le *tribole* se positionne entre le *symbole*, projection qui

396. Cf. L'encadré sur la *boucle d'addiction*, illustrée par la carte [*bad*]

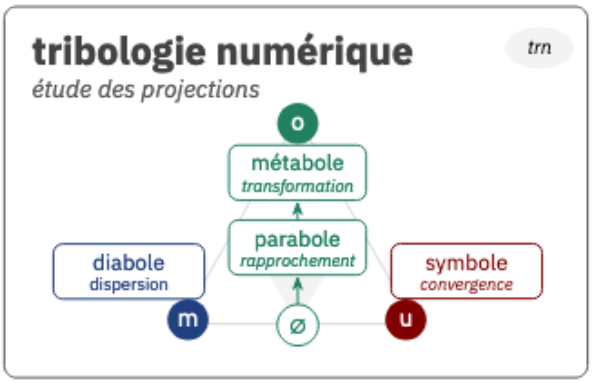
réunit[397], et le *diabole*, qui disperse, formant deux attracteurs énantiologiques. Cette approche nous a fait découvrir une *parabole*, trajectoire qui dépasse l'antagonisme binaire[398]. La transformation se situe au-delà de la projection, ce qu'exprime le terme *métabole*[399].

La carte [*bol*] positionne ces quatre projections par rapport aux trois attracteurs de transformation. Leur étude devient le *point de départ*[400] d'une *tribologie numérique*, que nous définissons comme « *l'étude des phénomènes de transformation des organisations à l'ère numérique* ».



C282 — [bol] — bolê « projeté »

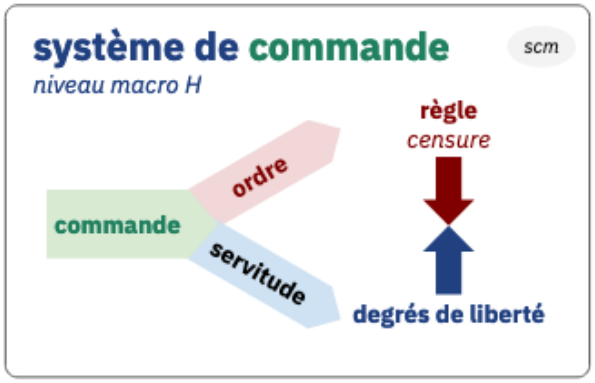
La carte [*trn*] illustre ce nouveau concept. Ces représentations permettent aussi de modéliser le rôle de l'information dans un système de commande, sujet sensible dans les organisations en réseau avec le développement du numérique, que que nous pouvons revisiter avec nos propositions. Un système de commande comporte des règles, qui définissent des limites mais autorisent des degrés de liberté. Dans les écarts peut se développer une censure, arbitraire ou doctrinale, qui réduit la liberté d'expression. L'information numérique présente deux spécificités relatives à l'usage d'algorithmes comme mode d'expression de la règle. L'algorithme est un code qui non seulement fixe une règle mais, à l'aide de capteurs, peut recueillir des données pour vérifier son application, transformant le



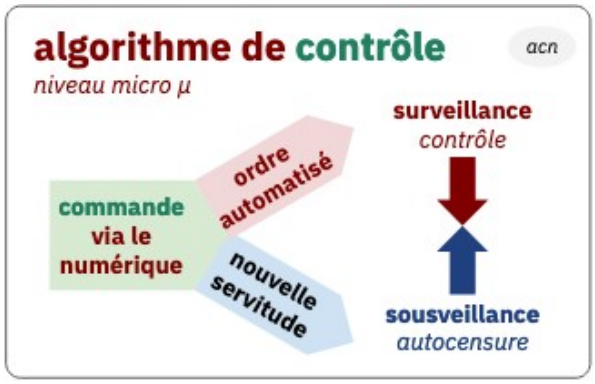
C283 — [trn] — tribologie numérique

397. La racine *sym* provient du grec ancien σύν, « avec, ensemble »
398. La racine *para* provient du grec ancien παρά, « à côté de »
399. La racine *méta* provient du grec ancien μετά, « au-delà, après »
400. On notera que le *point de départ* est le premier des points de bifurcations, définis dans notre cinquième représentation, méthode d'analyse du fonctionnement des organisations.

processus de commande en un processus de contrôle automatisé, autrement dit un processus de surveillance. Ce processus peut également s'incarner chez ceux à qui s'applique la règle pour conduire à un processus de surveillance inverse ou *sousveillance*. Les dispositifs techniques utilisés, qui s'appuient sur, comme nous l'avons vu, la *captologie*, sont la source d'une nouvelle servitude volontaire (Vion-Dury, 2016). Cette sousveillance ouvre également la voie à une *auto-censure*. Les cartes [*scm*] et [a*cn*] illustrent ce mécanisme.



C284 — [scm] — système de commande



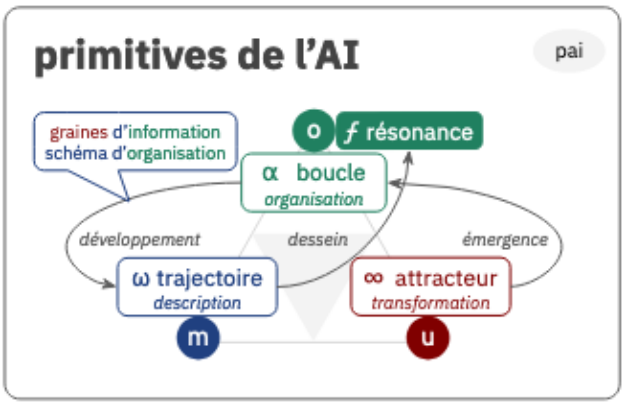
C285 — [acn] — algorithme de contrôle

Ces représentations sont une illustration complémentaire de la multiplicité des applications potentielles de notre langage de description, apportant parfois des éclairages nouveaux sur des représentations existantes, comme celle sur la pyramide de Maslow ou le modèle de Greiner pour rester dans le champ des organisations de type entreprise. En s'appuyant sur un nombre réduit d'éléments et la combinatoire pour traiter les interdépendances à différents niveaux, notre proposition semble ainsi, toute proportion gardée, s'inscrire dans la lignée des systèmes de codage de la matière avec le tableau périodique des éléments et du vivant avec le code génétique. L'hypothèse H4 de la simplexité s'en trouve alors validée.

Résumer l'apport de nos travaux revient à répondre à deux questions : « *à quoi ça sert ?* » et « *qu'est ce que ça change ?* ». Une réponse conjointe est que cela aide à mieux comprendre le fonctionnement des organisations, sous réserve de changer de paradigme. En effet, tous nos travaux s'appuient sur la logique du tiers-inclus,

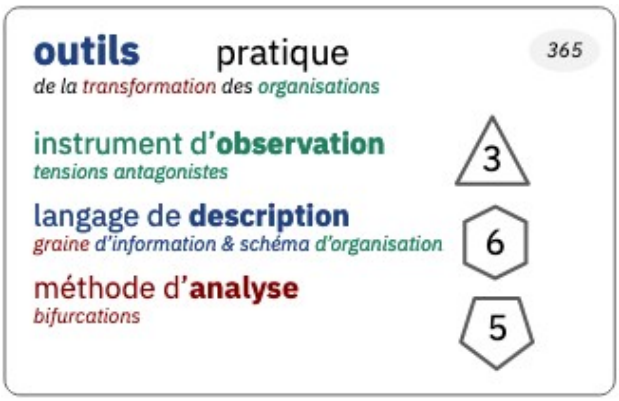
qui ouvre une nouvelle voie en étendant la logique binaire. La logique du tiers-inclus est une logique qui intègre le contradictoire, c'est une *énantio-logique*.

Précisons également que le décryptage des principes de transformation et d'organisation nous conduit à faire évoluer notre vision de l'*architecture de l'information*, axe que nous ancrons résolument dans les *sciences de l'information et de la communication*, en proposant une représentation des primitives de l'AI, composée 1) de trois attracteurs de transformation desquels émergent 2) des boucles d'organisation qui suivent chacunes 3) une trajectoire propre, cherchant à accorder leur dessein et leur destin selon 4) le phénomène de résonance, comme l'illustre la carte [*pai*].



C286 — [pai] — primitives de l'AI

Ces clés de compréhension de la transformation numérique nous semblent valider notre hypothèse basse : « *Un nouveau modèle de représentation de l'information est nécessaire pour comprendre la transformation numérique.* » En effet, les *graines d'information* et les *schémas d'organisation* constituent le jeu de *descripteurs* le plus simple que nous avons trouvé pour représenter cette dynamique. L'*architecte de l'information* devient alors une espèce de *jardinier tribologue*, semant des *graines d'information*, en vue de récolter des *schémas d'organisation*. Comme l'illustre la carte [*365*], deux outils complètent ce *langage de description*, un *instrument d'observation* pour repérer les *tensions antagonistes* sur l'*organisation* et une *méthode d'analyse* s'appuyant sur le concept de *bifurcation*, points où se cristallisent les éventuels blocages, que nous avons formalisés avec la « boucle OitO », représentation schématique du



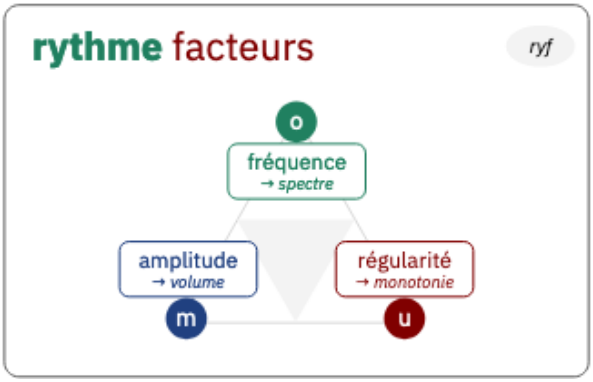
C287 — [365] — outils, pratique

rapport entre l'*organisation* de l'*information* et la *transformation* de l'*organisation*.

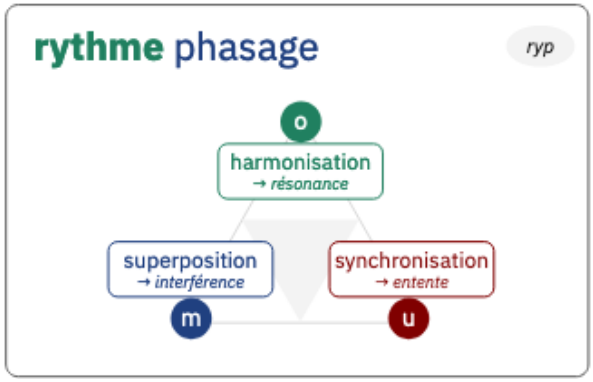
Concernant l'hypothèse haute — « *Un nouveau modèle de représentation de l'information aide à piloter la transformation numérique* » — une précision s'impose. Les premiers retours de nos expérimentations sur nos terrains de recherche, dans le champ du tourisme, de l'archéologique et le domaine du soin, nous a permis dans un premier temps d'analyser l'existant et d'identifier les leviers à la transformation de l'organisation, selon une dynamique centrée sur l'humain, en prenant en compte une double perspective, *individuelle* et *collective*. La mise en évidence de principes génériques de *transformation* et d'*organisation* nous permet à présent d'intégrer de nouvelles dimensions pour en particulier aborder les freins, qui paraissent être en relation directe avec les *attracteurs de transformation* — le *trop plein* qui génère une dépendance, fige et empêche le mouvement, l'*éloignement* qui empêche l'association, la *répétition*, sans dérivation ni intégration, qui engendre l'habitude — mais aussi en relation aux *écarts* entre les attracteurs, sources d'inquiétudes, peurs voire angoisses, qui selon les *constitutions internes* et les *contextes externe* pourront avoir des effets opposés, *moteurs* ou *paralysants*, avec juste un *epsilon* entre ces deux comportements. L'enjeu devient la gestion des *tensions*, tant *internes* qu'*externes*, qui d'après notre modélisation sont le résultat conjoint des *attracteurs* et des *écarts*.

La suite pourrait s'analyser en utilisant à nouveau cette modélisation dans un triple cadre, *personnel*, *collectif*, *commun*, à croiser avec une temporalité, à court, moyen et long terme, autrement dit dans l'*instant*, la *durée*, et le *cycle*. Nous avons déjà identifié dans les perspectives trois axes qui font sens : la *recherche*, la *transmission* et l'*art*. Nous nous contenterons ainsi d'aller à l'essentiel, c'est-à-dire à l'*action prioritaire*, rappelant que notre modélisation n'est que descriptive, explicative, opérationnelle, et éventuellement préventive mais comme la physique quantique, ne peut être réellement prédictive, laissant place au *libre arbitre*. Le pilotage restera donc toujours partiel, chaque acteur ne pouvant maîtriser que l'*espace externe* qu'il perçoit et l'*espace interne* qui le constitue, dans la limite de sa *sensibilité*. On notera

qu'avec la multiplication des capteurs les systèmes techniques augmentent leur *sensibilité* et qu'avec la multiplication des calculateurs ils permettent d'augmentent l'*intelligibilité*, ce qui permet d'ajuster la *direction*. L'enjeu est donc l'alignement entre les systèmes techniques et les écosystèmes du vivant. Cet alignement pose la question du rythme. Nous réutilisons une dernière fois notre grille d'analyse pour faire émerger les points clés à travailler. D'un *point de vue individuel*, le rythme dans l'organisation dépend de trois facteurs complémentaires la *régularité*, l'*amplitude* et la *fréquence*, chacun de ces trois paramètres devant rester dans des limites acceptables pour l'organisation concernée, quelque soit son échelle. On notera tout de suite deux problèmes que (im)posent les algorithmes : la *régularité* et la *fréquence*. D'un *point de vue collectif*, c'est la question du *phasage* qui est à traiter. Nous proposons les trois paramètres de *synchronisation* de *superposition* et d'*harmonisation* comme l'illustre la carte [*ryp*] qui complète la carte [*ryf*].

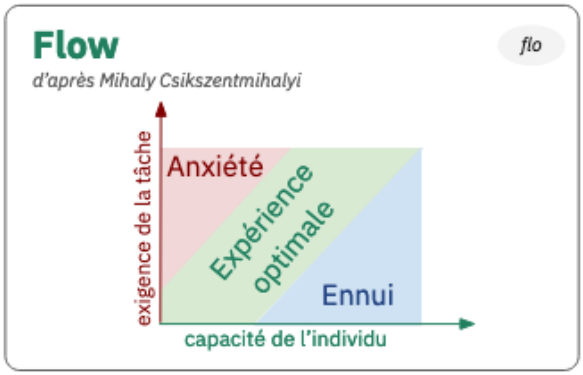


C288 — [ryf] — rythme, facteurs



C289 — [ryp] — rythme, phasage

L'enjeu va être de vivre une **expérience optimale**, entre l'*anxiété* et l'*ennui*, l'*expérience optimale* dépendant conjointement de la capacité de l'individu et de l'exigence de la tâche comme l'a montré le psychologue Mihaly Csiksentmihalyi. La carte [*flo*] illustre le schéma qu'il présente (Csiksentmihalyi, 2004:89) augmenté de notre code couleur pour mettre en évidence l'influence des



C290 — [flo] — Flow

attracteurs, *unique*, *multiple* et *organisationnel*, sur les états psychologiques de l'individu ainsi que les paramètres dont dépendent ces états qui sont liés à l'*organisation* en abscisse et à la *transformation* en ordonnée, soit respectivement *la capacité de l'individu* à traiter à la fois des *priorités* et des *problématiques complexes* et l'*exigence de la tâche* qui appelle des *actions*[401].

Dans un contexte général où nous semblons discerner, en particulier chez les jeunes générations, une ouverture vers une conscience globale qui intègre les enjeux planétaires[402] liés à une architecture numérique réticulaire, précisons pour conclure que nous souhaitons simplement accompagner ce mouvement avec notre expérience et nos propositions, mouvement qui s'inscrit selon notre analyse pleinement dans le sens de l'évolution. En suivant l'alternance entre recherche théorique et travaux pratiques, la prochaine étape consiste à traduire cette modélisation dans des dispositifs aisément manipulables permettant de matérialiser les différentes représentations de notre proposition, R0 à R5, pour en faciliter la compréhension, sans nécessairement utiliser le numérique. Par rapport à la carte [tmcs] qui comparait notre activité à la *théorie mathématique de la communication*, cette étape relève du *design d'interaction* de l'*interaction homme-machine*, qui s'étend aujourd'hui avec l'informatique pervasive à l'*interaction homme-environnement*.

401. Dans notre typologie :moteur, micro inducteur
402. Avant tout la prise en compte des limites à la croissance, relevées par le rapport Meadows, et les problématiques liées, dérèglement climatique, perte de la biodiversité et pollution

Index des illustrations

Cartes

C1 — [num] — numérique....16
C2 — [R0] — « boucle OitO »....29
C3 — [capr] — cadrage de la problématique....33
C4 — [obj] — objets d'étude....35
C5 — [cdc] — création de connaissance....39
C6 — [tmcs] — Théorie mathématique de la communication, symétrie....45
C7 — [ria] — abduction....50
C8 — [rii] — induction....50
C9 — [rid] — déduction....50
C10 — [ann] — Anneau des disciplines....57
C11 — [ccc] — création, connaissance, commande....59
C12 — [a2p] — pentachore des disciplines....63
C13 — [pent] — Pentachore des disciplines....65
C14 — [ppen] — projection du Pentachore des disciplines....67
C15 — [3bda] — trois boucles « data—action » en interaction....86
C16 — [bad] — boucle d'addiction....90
C17 — [4mi] — 4 modes d'information....101
C18 — [att] — atomes, transformation....122
C19 — [ent] — enthalpie d'un système....124
C20 — [eau] — diagramme de phases de l'eau....124
C21 — [trpa] — triade, réel, potentiel, actuel....130
C22 — [lep] — Logique de l'énergie....198
C23 — [mat] — Les « 3 matières »....198
C24 — [A] — actualisation....198
C25 — [P] — potentialisation....198
C26 — [T] — état T....199
C27 — [én] — énantiose....199
C28 — [ém] — émergence....199
C29 — [(m(] — attracteur multiple....201
C30 — [)u)] — attracteur unique....201
C31 — [cho] — charges opposées....202
C32 — [ché] — charges égales....202
C33 — [chl] — charge linéaire....202
C34 — [(.)] — antagonisme....203
C35 — [(o)] — attracteur organisationnel....203
C36 — [Δ] — champ de transformation....204
C37 — [tf] — transformation, formulation....206
C38 — [tp] — transformation, propriétés....206
C39 — [δ] — écarts entre attracteurs....207

C40 — [ρ] — tension....208
C41 — [fρ] — tensions, famille....208
C42 — [ρo] — tensions organisatrices....209
C43 — [ρm] — tensions multiplicatrices....209
C44 — [ρu] — tensions unificatrices....209
C45 — [rρ] — résolution des tensions....209
C46 — [ccr] — concrétisation....209
C47 — [ppg] — propagation....210
C48 — [cpx] — complexion....210
C49 — [σ] — torsion....210
C50 — [inc] — principe d'incertitude....211
C51 — [ψ] — pression....211
C52 — [v] — vortex....211
C53 — [ð] — opérateur....213
C54 — [4ð] — 4 opérateurs....213
C55 — [ða] — animateur....213
C56 — [ðs] — stabilisateur....213
C57 — [ði] — inverseur....213
C58 — [ðe] — extincteur....213
C59 — [ρΔ] — jeu de tensions du champ de transformation....214
C60 — [R1] — transformation....215
C61 — [trc] — transformation, concepts....215
C62 — [tE] — transformation, énergie....216
C63 — [ct] — cycle de transformation....217
C64 — [aa] — année anomalistique....218
C65 — [tga] — transformation, grille simplifiée....220
C66 — [tgb] — transformation, grille étendue....220
C 67 — [st] — transformation, système....220
C68 — [Lbz] — concepts de Leibniz....220
C69 — [to] — transduction....223
C70 — [ho] — homéorhésie....223
C71 — [oα] — boucle....225
C72 — [αo] — boucle o....225
C73 — [αm] — boucle m....225
C74 — [αu] — boucle u....225
C75 — [cBe] — cellules de Bénard....226
C76 — [oc] — couplage, organisation....228
C77 — [una] — unité autopoïétique....228
C78 — [cs1] — premier ordre....229
C79 — [cs1] — deuxième ordre....229
C80 — [cs1] — troisième ordre....229
C81 — [>i<] — espace interne....230
C82 — [<e>] — espace externe....230
C83 — [/c/] — centre organisateur....231
C84 — [og] — organisation....231

C85 — [oi] — organisation, illustration....231
C86 — [po] — processus d'organisation....232
C87 — [op] — organisation produite....232
C88 — [pxd] — proxémie, distances....233
C89 — [pxa] — proxémie, attracteurs....233
C90 — [éo] — organisation émergente....234
C91 — [s9] — structure nonaire....234
C92 — [of] — organisation fractale....235
C93 — [oh] — organisation holonique....235
C94 — [or] — régimes....236
C95 — [R2] — organisation, représentation....237
C96 — [oga] — organisation, grille simplifiée....238
C97 — [ogb] — organisation, grille étendue....238
C98 — [ρα] — organisation, tensions circulaires....239
C99 — [rmb] — rôle de la membrane....240
C100 — [od] — organisation, description....241
C101 — [net] — niveau d'énergie de transformation....244
C102 — [dh] — diagramme de Hasse....245
C103 — [gto] — graphe de transformation de l'organisation....245
C104 — [γ] — organisation, phases....247
C105 — [γa] — phases, agencement....247
C106 — [$\boldsymbol{\nabla}$] – champ organisationnel....247
C107 — [daC] — suite audioactive....251
C108 — [orc] — organisation, concepts....252
C109 — [syto] — synopsis de la transformation de l'organisation....253
C110 — [oDe] — ovale de Descartes....254
C111 — [lPa] — limaçon de Pascal....254
C112 — [op3] — organisation, projection....255
C113 — [vfv] — végétal, formes variées....256
C114 — [mm] — mobilités, modes....256
C115 — [ad] — animal, développement....257
C116 — [hoa] — humain, où atterrir ?....257
C117 — [sc] — sémioscope....261
C118 — [pρ] — tensions primaires....263
C119 — [$\boldsymbol{\tau}$] — tenseur....264
C120 — [mao] — matrice de l'organisation....264
C121 — [R3] — instrument d'observation....264
C122 — [got] — grille d'observation des tensions transformant l’organisation....265
C123 — [R] — représentations....266
C124 — [doc] — document, formes....273
C125 — [rgr] — raison graphique....276
C126 — [rco] — raison computationnelle....276
C127 — [inu] — information, unités....277
C128 — [logt] — logique de transformation....278
C129 — [logo] — logique de l'organisation....278

C130 — [loto] — logique de transformation de l'organisation....279
C131 — [logd] — logique de description....279
C132 — [rlog] — rapport des logiques....280
C133 — [dyt] — dynamique de a transformation....281
C134 — [sto] — stabilisation de l'organisation....281
C135 — [dto] — description de la transformation de l'organisation....281
C136 — [ldto] — logique de description de la transformation de l'organisation....282
C137 — [sdto] — synoptique de description de la transformation de l'organisation. 283
C138 — [sch] — schématisation....285
C139 — [R4] — langage de description....286
C140 — [dpt] — descripteurs, projection / transformation....287
C141 — [Fœ] — familles de descripteurs....288
C142 — [Fœ'] — familles de descripteurs....288
C143 — [dpo] — descripteurs, projection / organisation....289
C144 — [nœ] — niveaux de descripteurs....290
C145 — [h] — vecteur....290
C146 — [μ] — moteur....290
C147 — [tdo] — table des descripteurs de l'organisation....291
C148 — [œ0] - thème....292
C149 — [œ1] — acteur....292
C150 — [œ2] — rencontre....292
C151 — [œ3] — ressource....292
C152 — [œ4] — système....292
C153 — [œ5] — chantier....292
C154 — [œ6] — équipe....292
C155 — [œ7] — aptitude....294
C156 — [œ8] — action....294
C157 — [œ9] — idée....294
C158 — [•] — information, descripteur....295
C159 — [mpdt] — mise en perspective des descripteurs et tensions....295
C160 — [tor] — tore....296
C161 — [_] — constructeur....299
C162 — [&] — connecteur....300
C163 — [@] — assembleur....300
C164 — [©] — coupleur....300
C165 — [Φ] — séparateur....300
C166 — [bou] — boucle....302
C167 — [dév] — dérivation....302
C168 — [osc] — oscillation....302
C169 — [/] — interacteur....303
C170 — [#] — schéma, pattern....304
C171 — [#176] — pattern, exemple....305
C172 — [g] — structure de la graine d'information....307
C173 — [unc] — unification des concepts....309
C174 — [ß] — point de bifurcation....311

C175 — [ße] — point d'entrée....312
C176 — [ßr] — point de repère....312
C177 — [ßv] — point de vue....313
C178 — [ßi] — point d'interaction....313
C179 — [ßc] — point de confiance....313
C180 — [R5] — méthode d'analyse....314
C181 — [R5o] — méthode d'analyse, organisation....314
C182 — [R5t] — méthode d'analyse transformation....314
C183 — [1exp] — exploration....316
C184 — [2pro] — proposition....316
C185 — [heu] — heuristique....317
C186 — [3éva] — évaluation....317
C187 — [pdv] — 3 points de vue....320
C188 — [tga] — transformation, grille d'analyse....324
C189 — [esp] — espace, transformation....326
C190 — [tmp] — temps, organisation....327
C191 — [ePM] — espace de Minkowski....328
C192 — [ies] — trinité humaine....331
C193 — [odo] — boucle tétralogique....331
C194 — [axi] — axiologie....333
C195 — [saic] — structures anthropologiques de l'imaginaire....336
C196 — [pyM] — pyramide des besoins....338
C197 — [bed] — besoins et désirs....341
C198 — [bes] — besoins de l'organisation....342
C199 — [des] — désirs de transformation....342
C200 — [axr] — axes de résonance....344
C201 — [hFV] — haptonomie....346
C202 — [hto] – haptonomie, transformation de l'organisation....346
C203 — [ala] — actes de langage....347
C204 — [mon] — monnaie, fonctions....349
C205 — [syc] — Système cognitif, 3 systèmes....352
C206 — [éai] — économie de l'attention....353
C207 — [spf] — smartphone....353
C208 — [ppf] — plateforme publicitaire....353
C209 — [éab] — économie de l'attention....353
C210 — [int] — Internet....356
C211 — [sid] — sens....363
C212 — [crp] — création, processus....365
C213 — [dth] — design thinking....366
C214 — [esé] — sentiments & émotions....367
C215 — [mem] — mémoire, modèle modal....367
C216 — [ppr] — paradigme, programmation....369
C217 — [pob] — paradigme objet....369
C218 — [crf] — créativité, formes....370
C219 — [mnu] — modélisation numérique....372

C220 — [gmo] — génération d'un monde virtuel....372
C221 — [svp] — structure versus présentation....377
C222 — [onr] — onde de résonance....383
C223 — [apc] — archéologie....387
C224 — [cch] — courbe du deuil....397
C225 — [ccH] — courbe du changement....397
C226 — [cgp] — gestion de projet....400
C227 — [swot] — matrice SWOT....400
C228 — [icr] — apprentissage....407
C229 — [fog] — force gravitationnelle....436
C230 — [spp] — spirale parabolique....438
C231 — [spF] — spirale de Fermat....438
C232 — [lit] — lituus....438
C233 — [clo] — clothoïde....438
C234 — [rep] — réflexion parabolique....440
C235 — [paB] — parabole de l'âne Buridan....441
C236 — [cpA] — couplage de la parabole....441
C237 — [gpc] — génération de la parabole....441
C238 — [pxd] — proxémie, distances....446
C239 — [pxa] — proxémie, attracteurs....446
C240 — [tood] — transformation d'une organisation, onde organisationnelle....453
C241 — [totc] — transformation d'une organisation, transitions, cycle de vie....454
C242 — [toto] — transformation des organisations, tensions, opérateurs....455
C243 — [moH] — modèle de développement de l'organisation....461
C244 — [moh] — modèle de développement de l'organisme....461
C245 — [spid] — spirale dynamique....464
C246 — [aoun] — auto-organisation de l'univers....465
C247 — [rtom] — représentation, modèle....472
C248 — [rtor] — représentation, récit....473
C249 — [unc] — unification des concepts....481
C250 — [ret] — rapport espace-temps....481
C251 — [tmp] — temps, organisation....482
C252 — [lgo] — logique opérationnelle....486
C253 — [□] — quantificateur universel....487
C254 — [□] — quantificateur existentiel....487
C255 — [lge] — logique ensembliste....488
C256 — [lgs] — logique du sens....495
C257 — [drw] — théorie de l'évolution....496
C258 — [coc] — compétition versus collaboration....497
C259 — [évt] — théories de l'évolution....497
C260 — [roo] — ressorts de l'onde organisationnelle....499
C261 — [puh] — préfixes des unités méso....500
C262 — [puH] — préfixes des unités macro....500
C263 — [puμ] — préfixes des unités micro....501
C264 — [psf] — perception....501

C265 — [thM] — triangle de Morley....501
C266 — [lgn] — logique des nombres....502
C267 — [lgc] — logique du calcul....502
C268 — [lgg] — logique de la géométrie....503
C269 — [imno] — interprétation mathématique, nombres et opérations....503
C270 — [usi] — unités du Système International....504
C271 — [usm] — unités du SI, mapping....504
C272 — [pho] — photon....505
C273 — [cap] — cadres de pensée....507
C274 — [apm] — apprentissage, modes....509
C275 — [icr] — apprentissages, types....510
C276 — [men] — méthode d'enseignement....511
C277 — [bia] — biais cognitifs....515
C278 — [R3b] — instrument d'observation, variante....515
C279 — [?] — heuristique du questionnement....516
C280 — [gcl] — Golden Circle....517
C281 — [tha] — architecture de la thèse....519
C282 — [bol] — bolê « projeté »....522
C283 — [trn] — tribologie numérique....522
C284 — [scm] — système de commande....523
C285 — [acn] — algorithme de contrôle....523
C286 — [pai] — primitives de l'AI....524
C287 — [365] — outils, pratique....524
C288 — [ryf] — rythme, facteurs....526
C289 — [ryp] — rythme, phasage....526
C290 — [flo] — Flow....526

Encadrés

E1 — De l'architecture à l'Architecture de l'Information....14
E2 — Architecture de la thèse....20
E3 — Bref historique CD-ROM et de ses enjeux....23
E4 — Définitions de méthode, science, processus et raisonnement....41
E5 — La complexité : simple, compliqué, complexe, simplexe....46
E6 — Evolution de la logique....53
E7 — Classement des disciplines du CNU....56
E8 — Propos sur l'artificiel....61
E9 — Propos sur le jeu....62
E10 — Simplexes, structures mathématiques....63
E11 — Exemples d'ouvrages sur le croisement des disciplines....64
E12 — La notion de sens....84
E13 — La boucle d'addiction....90
E14 — Définitions de l'intelligence....91
E15 — Paradigmes en apprentissage machine (machine learning)....93
E16 — Dimension et variété, définitions mathématiques....116
E17 — Concepts autour de l'énergie....123
E18 — Transfert d'énergie....123
E19 — Les deux premiers principes de la thermodynamique....128
E20 — Les « chaînes monétaires »....147
E21 — Transformation numérique et bricolage....149
E22 — Le rapport du numérique à la transparence....151
E23 — La théorie du chaos....160
E24 — Autopoïèse....163
E25 — Loi systémique constructale, d'après Pierre Bricage....166
E26 — Evolution de notre rapport au travail....175
E27 — Styles d'architectures logicielles....178
E28 — Note sur l'évolution du design....193
E29 — Langages de balisage ou « markup langages »....205
E30 — Modélisation de l'année anomalistique....218
E31 — La proxémie, d'après Edward T. Hall....233
E32 — Rôles de la membrane....240
E33 — Formalisation mathématique....246
E34 — Suite de Conway et transformation organisationnelle....251
E35 — Le système éducatif, d'après Vilém Flusser....274
E36 — Théorie générale de la schématisation, de Robert Estivals....285
E37 — Propriétés du tore et interprétations mathématiques....296
E38 — Analogie entre Interacteurs et L-Systèmes....301
E39 — Perspective historique sur l'information touristique numérique....377
E40 — Courbe du deuil et courbe du changement....397
E41 — Evolution des objets techniques....405
E42 — Processing, Arduino et Raspberry....412

E43 — « Life Clock » de Bertrand Planes....430
E44 — Correspondances et singularités du chiffre 6....432
E45 — Analogie avec l'électromagnétisme....436
E46 — Proposition d'un néologisme : « holoptisme »....448
E47 — Opérations de dérivation et d'intégration....484
E48 — La théorie du métadesign de John Wood....490

Figures

F1 — Evolution du taux de densité énergétique....129
F2 — Formes d'énergie et conversions....132
F3 — Modèle de Greiner....458

Photos et Copies d'écran

P1 — Point d'entrée....382
P2 — Vue de détail....382
P3 — Vue *assembleur*....382
P4 — Version papier des graines d'information, grille....384
P5 — Graines, exemple....384
P6 — Bibracte, ensemble des planches réalisées en février 2019....391
P7 — Pavage hexagonal avec des billes aimantées....415
P8 — Projection des hexagones sur la spirale « compacte »....418
P9 — Spirale « développée »....419
P10 — Représentation graphique de l'hypothèse « tao-i »....420
P11 — Horloge Chronos....429
P12 — Horloge Aiôn....429
P13 — Life Clock, 2011....430
P14 — Life Clock #3, 2015....430
P15 — Trajectoire parabolique du développement psycho-social de l'humain....435

Schémas

S1 — Schéma de l'organisation technique du réseau....380
S2 — Bibracte, contexte interne....386
S3 — Modèle logique de données pour les ressources graphiques....392
S4 — Vue synoptique des enjeux du projet numérique avec R3....393
S5 — Analyse du contexte de médiation numérique avec R3....393
S6 — Deux usages de R5 en médiation....395
S7 — Extrait d'un support transmis en juillet 2020....398
S8 — Compte-rendu du premier atelier....403

Tableaux

T1 — Question de recherche et hypothèses....37
T2 — Transitions dans l'anneau des disciplines....58
T3 — Trois générations d'intelligence artificielle....91
T4 — Quelques philosophes abordant l'information et(ou) le numérique....98
T5 — Information et tiers-inclus....105
T6 — Classification de transformations élémentaires en géométrie....115
T7 — Sollicitation, mémoire de forme et mémoire d'interaction....127
T8 — Transformations en physique : potentialisation et actualisation....131
T9 — Mécanisme de transformation....136
T10 — Transformation : prise de conscience et mobilisation....138
T11 — Termes du numérique et notions induites....143
T12 — Marqueurs chronologiques de quelques transformations sociétales....144
T13 — Composantes technologiques de la communication numérique....145
T14 — Exemples de chaînes monétaires, fonctionnement, effets....147
T15 — Processus de transformations numériques et économiques....153
T16 — Structures mathématiques et notions liées....157
T17 — Qualificatifs de l'organisation et de l'inorganisation par discipline....167
T18 — Trois périodes dans l'organisation des connaissances....171
T19 — Glissement progressif du centre de gravité de l'informatique....174
T20 — Étapes de la géométrisation de l'algèbre....184
T21 — Interprétation des attracteurs énantiologiques....201
T22 — Table de valeurs des attracteurs énantiologiques....217
T23 — Interprétations du cycle thermodynamique....217
T24 — Phases de l'organisation....242
T25 — Précisions sur les phases de l'organisation....243
T26 — Classes de transformation....246
T27 — Evolution de la forme des documents....271
T28 — Raison graphique, computationnelle et processus....275
T29 — Logiques et champs....279
T30 — Logique de description avec des graines d'information....282
T31 — Éléments de la logique de description....284
T32 — Relation entre deux entités : émergence de l'organisation....299
T33 — Exemples d'application du modèle....323
T34 — Grille d'analyse du croisement des concepts d'espace et de temps....329
T35 — Correspondance avec les structures de l'imaginaire....337
T36 — Groupes de besoins et leur complémentarité....341
T37 — Projection des actes de langage....347

T38 — Modèle OSI....357
T39 — Relations entre les attracteurs de construction de l'internet....358
T40 — GAFAM et attracteurs....359
T41 — Quelques luttes emblématiques contre l'ouverture de l'Internet....360
T42 — Analyse de la création et du sens....362
T43 — Influence des attracteurs sur le sens (esquisse)....364
T44 — Projets de mise en application des recherches....374
T45 — Récapitulatif des premières rencontres....402
T46 — Illustration de l'environnement pervasif....405
T47 — Modèles et théories sollicités par « tao »....414
T48 — Découpage des périodes par demi-spire et âges remarquables....417
T49 — Correspondance avec les stades du développement (Erikson)....424
T50 — Âges de bifurcation par cycle....427
T51 — Influence des attracteurs sur les cycles de développement....427
T52 — Rapport de perception entre les deux horloges....431
T53 — Construction des nombres triangulaires....431
T54 — Correspondance entre les années Aiôn et Chronos (cycle 1)....433
T55 — Sensibilité aux conditions initiales....440
T56 — Hiérarchies d'équipes de 12 individus....450
T57 — Synthèse relationnelle....451
T58 — Corrélation entre cycles et phases de l'organisation....452
T59 — Interprétation du modèle de Greiner....460
T60 — Programmes....585

Index des mots-clés

Abduction....50
Abiogenèse....467
Accélération du temps....429
Accommodation....227
Acte de langage....347
Aethogenèse....172, 467
Affordance....227
Âge de bascule....426
Âge de bifurcation....425
Âge de transition....426
Âge pivot....426
Allagmatique....252
Allométrie....133
Analogie....50
Animateur....212
Anneau des disciplines....55
Année anomalistique....218
Anthropocène....140
Anti-pattern....249
Apprentissage....508
Apprentissage mutuel....510
Apprentissage non supervisé....93
Apprentissage par renforcement....93
Apprentissage supervisé....93
Approche qualimétrique....36
Architecture de l'information....14, 31
Architecture logicielle....178
Artificiel....61
Assembleur....299
Assimilation....227
Asymétrie d'information....492
Atechnogenèse....467
Attention....239
Attracteur....160
Attracteur multiple....200
Attracteur organisationnel....202
Attracteur unique....200
Autopoïèse....163
Autoréférence....215
Axe architectural....263
Axe existentiel....263
Axe opérationnel....263

Besoins....338
Biais cognitif....515
Big-bang....467
Bit....75
Boucle....224
Boucle C1 Création....59
Boucle C2 Connaissance....60
Boucle C3 Commande....60
Boucle d'addiction....90
Boucle OitO....29
Bricolage....149
Bruit....491
Cadres de pensée....507
CD-ROM....22
Cellules de Bénard....226
Centre organisateur....231
Chaleur....123
Champ de transformation....203
Champ organisationnel....247
Changement....109
Changement d'état....124
Chimérisation....133, 497
Chiralité....211
Chréode....81
Classification des disciplines....55
Clothoïde....438
Collectif....74
Commutativité....117
Complexion....210
Complexité....45
Concrétisation....209
Confiance numérique....493
Connaissance....39, 83
Connecteur....299
Conscience....505
Constructeur....298
Contexte de découverte....69
Contexte de justification....70
Contradictoire....54
Corps propre....52
Couplage....228
Courbe du changement....396
Courbe du deuil....397
Créativité....370
Crise....137

Cybernétique....46
Cyc....269
Cycle de transformation....217
Cycle de vie....249
Déduction....50
Dérivation....484
Design thinking....366
Désirs....340
Dette technique....150
Diagramme de phases....124
Dialogique....331
Dimension....116
Direction....74, 84
Directrice....433
Distance....327
Donnée....25, 83
Écarts....207
Écosystèmes....133
Émergence....159
Émergie....123
Énantiose....199
Encorporation....34
Endosymbiose....165, 477, 497
Énergétisme 123
Énergie....122
Enthalpie....124
Entrelacs....228
Entropie....128
Épistémologie....39
Espace externe....230
Espace interne....230
Étendue....326
Éxergie....123
Exobiologie....57
Expérience optimale....526
Extension....179
Extincteur....212
Finalité....74
Fluides....125
Flux....220
Forme....74, 109, 220
Formes d'énergies....123
Foyer....433
Fragmentation....51
FRL....269

Générateur poïétique....466
Gnoséologie....39
Golden Circle....517
Graine d'information....275
Grammatisation....180
Haptonomie....345
Harmonie....513
Heuristique....50, 317
Holoptisme....448
Homéorhésie....223
Homologie....135
Hyperchoix des matériaux....126
IA connexionniste....92
IA symbolique....92
IEML....270
Induction....50
Information....25, 83
Information affective....76
Information effective....76
Information-circulante....80
Information-déclencheur....103
Information-structure....80
Instrument d'observation....259
Intégration....484
Intelligence 91
Intelligibilité....84
Intension....179
Interacteur....303
Inverseur....212
Jeu....61
L-système....301
Langage de description....267
Libre arbitre....514
Lieu....326
Lituus....437
Logicisme....389
Logique....52
Matière....59, 121
Matière en grains....127
Médiologie....24
Membrane....240
Mémoire....367
Mémoire à Court Terme....448
Méréologie....235
Mesure....52, 77

Méthode 41
Méthode individuelle 510
Méthode scientifique 40
Méthode simultanée 510
Méthodes agiles 36
Micro-données 269
Modèle standard de la physique des particules 119
Modélisation 46
Modes d'apprentissage 509
Monde virtuel 371
Monnaie 348
Noème 271
Nomologie 68
Nouménalité 100
Objet 514
Objet d'Information Touristique 379
Ondes gravitationnelles 443
Ondoyant 271
Ontogenèse 133
Ontologie 39
Opérateur de transformation 212
Opérations mathématiques 503
Organisation 13, 74, 154
Parabole 433
Paradigme de programmation 368
Paradigme scientifique 42
Pattern 249, 304
Pédagogie transformationnelle 167
Pensée complexe 45
Pensée magique 507
Pentachore des disciplines 63
Perception 74
Perférent 273
Périhélie 218
Perspective anoptique 466
Pervasif 405
Pharmakon 99
Phases 242
Phylogenèse 133
Plasma 125
Point aveugle de la science 52
Point d'entrée 311
Point d'interaction 312
Point de bifurcation 310
Point de confiance 313

Point de repère....311
Point de vue....312, 320
Pression....211
Preuves-comme-discours....53
Preuves-comme-programmes....53
Primitives sémantiques....269
Principe d'évolution....127
Principe de conservation....127
Principes de la thermodynamique....128
Processing....412
Processus....41
Propagation....210
Protention....239
Proxémie....233
Puissance....124
Pulsars....444
Questions élémentaires....43, 516
Raison....52
Raison computationnelle....170, 275
Raison graphique....170, 275
Raisonnement....41
Rationnel....52
Rayonnement électromagnétique....123
Régime....236
Régulateur à boules....227
Relations allométriques....437
Représentation....33, 176
Réseau....13, 326
Réseaux Invariants d'échelle....361
Résilience....223
Résistance des matériaux....126
Résonance....343
Respiration....201
Rétention....239
Ruptures épistémologiques....42
Scalaire....434
Schéma....284
Schéma d'organisation....302
Science....41
Sémioscope....259
Sens....84
Sensibilité....84
Sérendipité....50
Signifiance....363
Silence....491

Simplexe....63
Simplexité....45, 476
Situation de l'expérience....52
Société de contrôle....61
Société disciplinaire....61
Société liquide....106
Solide....126
Spirale de Fermat....437
Spirale parabolique....437
Spirales anallagmatiques....439
Stabilisateur....212
Stade....303
Stades du développement intellectuel....422
Stades du développement psychosocial....422
Stigmergie....355
Stock....220
Structures dissipatives....160
Suite de Conway....251
Support....74
Supraconducteurs....124
Synchronicité....515
Systèmes d'information touristique....376
Systémique....46
Techno-cocon....90
Temps....327
Tension....208
Théorie du chaos....159
Théorie psychanalytique....422
Théories du développement....421
Toki pona....189
Topologie....296
Tore....296
Torsion....210
Transdisciplinarité....13
Transduction....222
Transformation....109
Transition de phase....124
Transparence....150
Travail....123, 175
Trigonométrie....501
Trois matières....59
Types d'apprentissage....510
Variété....116
Vortex....211
Web sémantique....269

Bibliographie

Abbott B. P. & al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration) (2016), « Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger », in *Physical Review Letters,* n° 116, disponible en ligne : https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102 [consulté le 2020-02-24]

Aden J. (2017), « Langues et langage dans un paradigme énactif », in *Recherches en Didactique des Langues et des Cultures, Les cahiers de l'Acedle*, vol. 14 n° 1, disponible en ligne : https://journals.openedition.org/rdlc/1085 [consulté le 2020-09-21]

Alexander C. (1971), *De la synthèse de la forme: essai*, Dunod

Alexander C., Ishikawa S. et Silverstein M. (1977), *A pattern language: towns, buildings, construction*, Oxford University Press

Alexander C. (1979), *The timeless way of building*, Oxford University Press

Alexander C. (1996), *Patterns in Architecture*, recorded live in San Jose, California, October of 1996, at The 1996 ACM Conference on Object-Oriented Programs, Systems, Languages and Applications (OOPSLA), disponible en ligne : https://youtu.be/98LdFA-_zfA [consulté le 2020-06-19]

Alexander C. (2002), *The Nature of Order, An essay on the Art of Building and The Nature of Universe*, Center for Environmental Structure

Alizart M. (2017), *Informatique céleste*, PUF

Ameisen J. C. (1999), *La sculpture du vivant, Le suicide cellulaire ou la mort créatrice*, Seuil

Ammer R. (2020), *Make me think*, disponible en ligne : https://ralphammer.com/make-me-think/ [consulté le 2020-08-04]

Anderson C. (2008), *The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete*, Wired, disponible en ligne : https://www.wired.com/2008/06/pb-theory/ [consulté le 2019-11-01]

Anzieu D. et Martin J.-Y. (1968), *La dynamique des groupes restreints*, PUF

Anzieu D. (1981), *Le corps de l'œuvre Essais psychanalytiques sur le travail créateur*, Gallimard

Arbisio C. (2007), *L'enfant de la période de latence*, Dunod

Ariès P. (2018), « Eloge de la gratuité », in *Le monde diplomatique*, n° 776, p.28, disponible en ligne : https://www.monde-diplomatique.fr/2018/11/ARIES/59231 [consulté le 2019-12-17]

Atkinson R.C. & Shiffrin R.M. (1968), « Chapter: Human memory: A proposed system and its control processes », in *The psychology of learning and motivation 2*, Spence K.W. & Spence, J.T. (eds.), Academic Press, pp. 89–195

Auber O. (2016), *Refonder la légitimité, Vers l'aethogénèse*, Médium, disponible en ligne : https://medium.com/@olivierauber/refonder-la-légitimité-25d6443e4a1b [consulté le 2020-10-10]

Auber O. (2019a), *Anoptikon, Une exploration de l'internet invisible*, *Échapper à la main de Darwin,* Fyp

Auber O. (2019b), *ANOPTIKON (Question 2 : la substance de l'anoptikon ?)*, disponible en ligne : https://youtu.be/8xvI4pPTstg [consulté le 2019-12-16]

Aumont J. (1979), *Montage Eisenstein*, Albatros

Austin J. (1970), *Quand dire c'est faire*, Seuil

Austin J. (1971), *Le langage de la perception*, Armand Colin

Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D. et Patel-Schneider P. (2010), *The description logic handbook Theory, Implementation and Applications*, Cambridge

Bachelard G. (1938), *La Formation de l'esprit scientifique*, Vrin

Bachelet R. (2011), *Cours de référencement*, École centrale de Lille, disponible en ligne : http://cours-de-referencement.ec-lille.fr/ [consulté le 2019-12-30]

Bachimont B. (2004), *Arts et Sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle*, HDR, Université de Technologie de Compiègne, disponible en ligne : http://www.utc.fr/~bachimon/Livresettheses.html [consulté le 2020-01-20]

Bachimont B. (2004), *Signes formels et computation numérique : entre intuition et formalisme, Critique de la raison computationnelle*, disponible en ligne : http://www.utc.fr/~bachimon/Publications_attachments/Bachimont.pdf

[consulté le 2020-06-19]

Bachimont B. (2007), *Ingénierie des connaissances et des contenus, le numérique entre ontologies et documents*, Lavoisier

Bachimont B. (2008), « Quand le calcul s'incarne : l'interaction avec les artefacts numériques », présentation à la *Journée Scientifique ARCo*, Association pour la Recherche cognitive, Couplage et Artefacts Numériques, 24 juin 2008

Bachimont B. (2015), « Le numérique comme milieu : enjeux épistémologiques et phénoménologiques. Principes pour une science des données », in *Interfaces Numérique n°4*, disponible en ligne : https://www.unilim.fr/interfaces-numeriques/index.php?id=386 [consulté le 2020-01-20]

Bachimont B. (2020), « rhétorique de l'intelligibilité, vers des humanités numériques », intervention au *Séminaire NumRev*, à l'Université Paul Valéry, le 28 février 2020,

Bächtold M. (2005), *Le possible, l'actuel et l'événement en mécanique quantique, une approche pragmatiste*, Thèse, sous la direction de Michel Bitbol, Université Paris 1

Bailly F. (2011), *L'anneau des disciplines*, disponible en ligne : http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/bailly/anneaudesdisciplines.pdf [consulté le 2019-10-22]

Bailly F. & Longo G. (2006), *Mathématiques & sciences de la nature: la singularité physique du vivant*, Hermann

Bak P. (1996), *How nature works, the science of self-organized criticality*, Springer

Ball J. (2019), *The Double Diamond: A universally accepted depiction of the design process*, site du Design Council, disponible en ligne : https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/double-diamond-universally-accepted-depiction-design-process [consulté le 2020-01-18]

Banakh T., Verbitsky O., Vorobets Y. (2010), « Fermat's spiral and the line between Yin and Yang », in *American Mathematical Monthly*, 117:9, pp.786-800, disponible en ligne : https://arxiv.org/abs/0902.1556 [consulté le 2020-03-02]

Baqué P. (2009), « Quand l'entreprise perd sa peau, elle se vide de sa substance,

Les mutations dans le management expliquent perte d'identité et suicide. », in *Le Monde* du 10 octobre 2009, disponible en ligne : https://www.lemonde.fr/idees/article/2009/10/10/quand-l-entreprise-perd-sa-peau-elle-se-vide-de-sa-substance_1252196_3232.html [consulté le 2020-01-13]

Barabasi A.-L.& Albert R. (1999), « Emergence of scaling in random networks », in *Science*, vol. 286, octobre 1999, pp. 509-512

Barthélémy J.-H. (2015), « Glossaire Simondon : les 50 grandes entrées dans l'œuvre », in *Individuer Simondon. De la redécouverte aux prolongements* Appareil, n°5, disponible en ligne : https://journals.openedition.org/appareil/2253 [consulté le 2019-12-02]

Barthes R. (1975), *Roland Barthes par Roland Barthes*, Seuil

Barthes R. (1980), *La chambre claire*, Gallimard

Bateson G. (1972), *Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology*, University of Chicago Press

Bauman Z. (1998), *Work, Consumerism and the New Poor*, Open University Press

Bellinger G. (2000), *Encyclopédie des religions*, Librairie Générale Française

Benghozi P.-J. et Chantepie, P. (2019), « Pourquoi le jeu vidéo est l'industrie culturelle du xxie siècle », *Nectart*, n° 8), pp. 46- 55 disponible en ligne : https://www.cairn.info/revue-nectart-2019-1-page-46.htm [consulté le 2020-02-03]

Bergé P., Pomeau Y., Dubois-Gance M. (1993), *Des rythmes au chaos*, Odile Jacob

Bergson H. (1907), *L'évolution créatrice*, éditions Rombaldi — [édition 1975]

Bernard C. (1865), *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, disponible en ligne : http://www.gutenberg.org/cache/epub/16234/pg16234.html [consulté le 2019-10-21]

Bernard-Weil, E. (1975), *L'arc et la corde, un modèle d'antagonisme dialectiques en biologie et sciences humaines*, Maloine éditeur

Bernays E. (2007), *Propaganda, Comment manipuler l'opinion en démocratie*, Zones

Berners Lee T. (2017), *Three challenges for the web, according to its inventor*, World Wide Web Foundation, disponible en ligne : https://webfoundation.org/2017/03/web-turns-28-letter/#VersionFR [consulté le 2019-12-18]

Berrou C. & Grippon V. (2012), *Petite mathématique du cerveau, une théorie de l'information mentale*, Odile Jacob

Berry G. (2017), *L'Hyperpuissance de l'informatique : Algorithmes, données, machines, réseaux*, Odile Jacob

Berry G. (2019), *Pourquoi l'informatique va mettre les sciences à l'envers ?*, Masterclass à la Cité des Sciences et de l'Industrie, disponible en ligne : http://www.cite-sciences.fr/fr/ressources/conferences-en-ligne/les-masterclass-du-cnrs/intelligence-artificielle/ [consulté le 2019-12-04]

Bertalanffy L. von (1968), *General System Theory*, Georges Braziller Inc — traduction française : *Théorie générale des systèmes*, Bordas (1973, édition consultée : Dunod (1993)

Berthoz A. (1997), *Le sens du mouvement*, Odile Jacob

Berthoz A. (2003), *La décision*, Odile Jacob

Berthoz A. (2009), *La simplexité*, Odile Jacob

Berthoz A. (2013), *La vicariance*, *Le cerveau créateur de mondes*, Odile Jacob

Berthoz A. & Petit J.-L. (2014), *Complexité-Simplexité*, Collège de France

Bertin J. (2005), *Sémiologie graphique, Les diagrammes - les réseaux - Les cartes*, Editions de l'EHESS

Beyaert-Geslin A. (2018), « Architecture de l'information versus design de l'information », in *Etudes de communication, n°50*, pp. 161-174

Biagini C. (2012), *L'emprise numérique — Comment internet et les nouvelles technologies ont colonisé nos vies*, Editions L'échappée

Bing Xu (2012), *Une histoire sans mots*, Grasset

Bion W. (1965), *Recherche sur les petits groupes*, PUF — [édition 2002]

Biot R. (1933), *Les rythmes de la vie - Avant-propos*, Groupe lyonnais d'études médicales philosophiques et biologiques, Librairie Lavandier

Bitbol M. (2010), *De l'intérieur du monde: pour une philosophie et une science des*

relations, Flammarion

Bitbol M. (2016), *À propos du point aveugle de la science*, article disponible en ligne : http://michel.bitbol.pagesperso-orange.fr/POINT_AVEUGLE.pdf [consulté le 2019-10-20]

Bitbol M. (2018), *Le point aveugle de la science et son dépassement*, vidéo disponible en ligne : https://youtu.be/EbCdiMy3KCk [consulté le 2019-10-20]

Boden, M. A. (2009), « Computer Models of Creativity », in *AI Magazine*, 30(3), p.23-34

Bogatyreva O. & Shillerov A. (2015), *Biomimétisme & Management: Leçons de la nature,* CreateSpace Independent Publishing Platform

Boltanski L., Thévenot L. (1987), *Les économies de la grandeur*, Cahiers du Centre d'études de l'emploi, Paris, PUF

Bonnet D. (2007), *Le pilotage de la transformation en environnement de coopération inter-organisationnelle : essence socio-économique de la transformation et des stratégies de transformations*, Thèse, sous la direction d'Henri Savall, Université Jean Moulin Lyon 3

Bonnet D., David P. et Tessier N. (2015), *Le travail du sens dans les organisations De la souffrance au travail à la reconnaissance et à la considération*, Revue Psychanalyse et Management, n°5

Bonnet D. et Saint-Léger G. (2015), « Concevoir le management des technologies organisationnelles dans un espace d'efficience », in *Réseaux numériques et performance des entreprises*, Revue MTO n°5, pp. 48-61

Bonnet D. & Lacombe E. (2016), « Éclairage de la problématique de la transformation du Système d'Information en environnement organisationnel ouvert et évolutif : la transformation nodale », *communication présenté aux journées d'étude TIC.IS*, actes en cours de publication

Bonnet D. (2019), *La transformation des objets de l'espace-temps dans la conduite du changement organisationnel*, communication présentée à la Journée de recherche RIPCO, ICN Business School - CNIT La Défense, Décembre 2019

Bono E. de (1992), *Serious creativity*, The McQuaig Group Inc.

Bontems V. (2017), « Individuation vitale et information morphogénétique :

Simondon à l'épreuve de la biologie », in *Sciences de la vie, sciences de l'information, Colloque de Cerisy*, sous la direction de Thierry Gaudin, Dominique Lacroix, Marie-Christine Maurel, Jean-Charles Pomerol, ISTE éditions, pp. 249-262

Bourg D. & Papaux A. (dir.) (2015), *Dictionnaire de la pensée écologique*, PUF

Bouvier A., George M, Le Lionnais F. (2014), *Dictionnaire des mathématiques*, PUF

Brenner J. (2010A), « The philosophical logic of Stéphane Lupasco (1900–1988) », in *Logic and Logical Philosophy, septembre*, disponible en ligne : doi: 10.12775/LLP.2010.009

Brenner J. (2010B), *Logic in reality*, Springer

Brenner J. (2012), « Mark Burgin's Theory of information », in *Information, vol.3 n°2*, pp. 224-228

Breton P. & Proulx S. (1994), *L'explosion de la communication, La naissance d'une nouvelle idéologie*, La Découverte - Boréal

Bricage P. (2007), *Comment les systèmes biologiques mettent-ils en place (team building) des organisations, juxtaposées et imbriquées en réseaux (networks), "groupwares" robustes et durables ? Quels sont les facteurs limitants de ces processus ?*, communication aux Journées annuelles AFSCET - Association Française de Science des Systèmes, disponible en ligne : www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf [consulté le 2019-12-19]

Bricage P. (2009), *L'évolution créatrice : De la physique à la biologie et de la biologie à la physique, les lois systémiques d'individuation et d'évolution du vivant. L'évolution du vivant a une direction. Comment est-elle orientée ?,* communication au congrès de l'AFSCET - Association Française de Science des Systèmes, disponible en ligne : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00423730/ [consulté le 2019-12-19]

Broglie de L. (1937), *Matière et Lumière*, Albin Michel

Brooks D. (2013), « The Philosophy of data », New York Times du 4 février, disponible en ligne : https://www.nytimes.com/2013/02/05/opinion/brooks-the-philosophy-of-data.html [consulté le 2020-07-23]

Burgin M. (2010), *The Theory of Information: Fundamentality, Diversity and Unification*, World Scientific Pub Co Inc

Buzon de F. (2012), « L'espace et le lieu chez Descartes », in *Espace et lieu dans la pensée occidentale, sous la direction de Thierry Paquot et Chris Younès, La Découverte*, pp. 81-95

Cabin P., sous la dir. de, (1999), *Les organisations, Etat des savoirs*, Editions Sciences Humaines

Caillois R. (1958), *Les jeux et les hommes*, Gallimard

Canguilhem G. (1965), *La connaissance de la vie*, Vrin

Caramello O. (2010), *The unification of Mathematics via Topos Theory*, disponible en ligne : https://arxiv.org/abs/1006.3930 [consulté le 2019-12-03]

Cardon A. (1999), *Conscience artificielle & systèmes adaptatifs*, Eyrolles

Cardon A. (2004), *Modéliser et concevoir une machine pensante : Approche de la conscience artificielle*, Vuibert

Cardon A. (2005), *La complexité organisée - systèmes adaptatifs et champ organisationnel*, Lavoisier

Cardon A. & Itmi M. (2016), *Les nouveaux systèmes autonomes*, ISTE éditions

Cardon A. (2018), *Beyond Artificial Intelligence: From Human Consciousness to Artificial Consciousness*, Wiley-ISTE

Cardon D., Cointet J.-P., Mazières A. (2018), « La revanche des neurones. L'invention des machines inductives et la controverse de l'intelligence artificielle », in *Réseaux n° 211*, pp. 173-220, disponible en ligne : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01925644/ [consulté le 2019-11-01]

Casilli A. (2013), « Contre l'hypothèse de la « fin de la vie privée » La négociation de la privacy dans les médias sociaux », in *Revue Française des SIC n°3, La vie des signes au sein de la communication: vers une sémiotique communicationnelle*, disponible en ligne : https://journals.openedition.org/rfsic/630 [consulté le 2020-01-13]

Cassan E., dir. (2014), *Bacon et Descartes, Genèse de la modernité philosophique*, ENS Éditions

Cassar E. (2015), *Des villes sensibles aux architectures subtiles*, conférence à TEDxLyon, disponible en ligne : https://youtu.be/oaIQbh6BCmE [consulté le 2019-11-01]

Certeau M. de (1990), *L'invention du quotidien, tome 1 : Arts de faire*, Gallimard

Chabin M.A. (2017), « Transformation ou transition numérique ? », in *Le blog de Marie Anne-Chabin*, disponible en ligne : https://www.marieannechabin.fr/2017/04/transformation-ou-transition-numerique/ [consulté le 2020-12-09]

Chaisson E. (2011), « Energy Rate Density as a Complexity Metric and Evolutionary Driver », in *Complexity*, vol. 16, n°3, pp. 27–40

Chamak B. (1997), *Le groupe des dix, ou, Les avatars des rapports entre science et politique*, Editions du Rocher

Changeux J.-P. & Connes A. (1989), *Matière à pensée*, Odile Jacob

Charlier J.-E. & Moens F. (2007), *Observer, décrire, interpréter: un état des méthodes en sciences sociales*, Institut National de Recherche Pédagogique

Charon J.E. (1962), *Du temps, de l'Espace et des Hommes*, Seuil

Chartron G., Chaudiron S., Ihadjadene M. (2014), *L'architecture de l'information : un concept opératoire ?*, Études de Communication langages, information, médiations, n°41, Université Charles-de-Gaulle-Lille 3

Chauvet G. (2006), *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*, Vuibert

Chazal G. (1997), *Formes, figures, réalité*, Champ Vallon

Chazal G. (2000), *Les réseaux du sens*, *de l'informatique aux neurosciences*, Champ Vallon

Chazal G. (2006), *L'ordre humain ou le déni de nature*, Champ Vallon

Checkland, P. (2000). Soft systems methodology: a thirty year retrospective. Systems research and behavioral science, 17(S1), S11-S58, disponible en ligne : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.133.7381&rep=rep1&type=pdf [consulté le 2019-10-17]

Chevallard Y. (1997), « Familière et problématique, la figure du professeur » in *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 17/3, pp. 17-54

Chomsky N. & McChesney R. (2005), *Propagande, médias et démocratie*, Ecosociété

Churchill N. & Lewis V. (1983), « The Five Stages of Small Business Growth », in *Harvard Business Review*, May Issue, disponible en ligne : https://hbr.org/1983/05/the-five-stages-of-small-business-growth [consulté

le 2020-02-26]

Citton Y. (2014), *L'économie de l'attention, Nouvel horizon du capitalisme ?*, La découverte

CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, disponible en ligne: https://www.cnrtl.fr/

Codd E. F. (1970), « A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks », in *Communications of the ACM*, vol. 13, no 6, p. 377–387

Comité d'Éthique VR (2019), Charte de recommandations sur l'usage de la Réalité Virtuelle, GIE VR Connection

Commandré M., Mocquet B., Vieira L., coord. (2020), *Visibles et invisibles dans les pratiques médiatiques et les interactions en réseaux*, Presses Universitaires de Perpignan

Conac S., Demaugé-Bost, Guienne B, Huchard I. Quimbetz I. (2019), *Les pédagogies Freinet*, Eyrolles

Connes A. & Rovelli C. (1994), *Von Neumann algebra automorphisms and time-thermodynamics relation in general covariant quantum theories*

Connes A., Lichnerowicz A. Schützenberger M. P. (2000), *Triangle de pensées*, Odile Jacob

Connes A. (2018), « Les mathématiques font-elles partie du monde réel ? », in *La conversation scientifique*, par Etienne Klein, France Culture, émission du 17 février 2018

Conway J. (1986), « The Weird and Wonderful Chemistry of Audioactive Decay », in *Open Problems in Communication and Computation*, Cover T.M., Gopinath B. (eds), Springer, pp 173-188, disponible en ligne : https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-4808-8_53 [consulté le 2020-05-15]

Conway J., Kochen S. (2006), « The Free Will Theorem », in *Foundations of Physics*, 36 (10): 1441, disponible en ligne : arXiv:quant-ph/0604079, [consulté le 2021-03-22]

Cornu J.-M. (2013), *Tirer bénéfice du don, pour soi, pour la société, pour l'économie*, éditions fyp

Cornu J.-M. (2016), « A combien peut-on coopérer ? », in *internetactu*, disponible

en ligne : http://www.internetactu.net/2016/05/12/a-combien-peut-on-cooperer/ [consulté le 2020-02-25]

Cowan N. (2001), *The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity*, disponible en ligne : https://www.cambridge.org/core/journals/behavioral-and-brain-sciences/article/magical-number-4-in-shortterm-memory-a-reconsideration-of-mental-storage-capacity/44023F1147D4A1D44BDC0AD226838496 [consulté le 2020-02-25]

Cowen R. (2015), « The quantum source of space-time », in *Nature*, volume 527, pp. 290–293

Crevoisier M, Ferri F. Widmaier C (sous la dir.) (2020), *Rencontre autour de Bruno Bachimont, La technologie nous fait-elle savoir et penser autrement ?*, Philosophique, Hors série, Presses Universitaires de Franche-Comté

Crozat S. (2019), *Le principe de documentarité*, conférence à l'université Bordeaux-Montaigne du 19 février 2019, disponible en ligne : https://aswemay.fr/co/2019-02-19.html [consulté le 2020-05-27]

Crozier M. & Friedberg E. (1977), *L'acteur et le système*, Seuil

Csikszentmihalyi M. (2004), *Vivre, La psychologie du bonheur*, Robert Laffont

Damasio A. (2017), *L'ordre étrange des choses. La vie, les sentiments et la fabrique de la culture*, Odile Jacob

Damour T. (2019), *Sur le "modèle Janus" de J. P. Petit*, IHES, disponible en ligne : http://www.ihes.fr/~damour/publications/JanusJanvier2019-1.pdf [consulté le 2020-05-15]

Darwin C. (1859), On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, disponible en ligne : http://darwin-online.org.uk/ [consulté le 2020-12-11]

Dawkins R. (1976), *The Selfish Gene*, Oxford University Press — traduction (consultée) : *Le gène égoïste*, Odile Jacob, 2003

De Biasi P.-M. & Guillaume M. (1997), Les Pouvoirs du Papier, Cahier de Médiologie n°4, Gallimard

De Bono E. (2004), *La boîte à outils de la créativité. Par l'inventeur de la pensée latérale*, Editions d'Organisation

Dehaene S. (2014), *Le code de la conscience*, Odile Jacob

Delage M. (2013), *La vie des émotions et l'attachement dans la famille*, Odile Jacob

Deleuze G. (1990), « Post-scriptum sur les sociétés de contrôle », in *L'autre journal, n° 1*, disponible en ligne : https://infokiosques.net/imprimersans2.php3?id_article=214 [consulté le 2020-01-10]

Demoule J.-P (2020a), *Pré-histoires du confinement*, Gallimard

Demoule J.-P (2020b), « Une longue histoire du confinement », in *L'Histoire*, n°475, pp.38-41

Deneault A. (2020), *L'économie esthétique*, Lux

De Rosnay J. (1975), *Le macroscope*, Seuil

Desachy B. (2008), *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, thèse en Sciences de l'Homme et Société, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I, disponible en ligne : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00406241v2 [consulté le 2020-07-30]

Desachy B. (2012), Formaliser le raisonnement chronologique et son incertitude en archéologie de terrain, Cybergéo n°597, disponible en ligne : https://doi.org/10.4000/cybergeo.25233 [consulté le 2020-07-30]

Desachy B., Durost S., Giudicelli M. et Guichard V. (2012), « Rapports scientifiques de fouilles programmées et publications de Bibracte Réflexions, acquis et perspectives », in L'accès à la documentation scientifique, *Les Nouvelles de l'archéologie*, n°130, pp. 58-64 disponible en ligne : https://doi.org/10.4000/nda.1960 [consulté le 2020-07-30]

Desachy B. (2018), « Recoudre des lambeaux de temps, notes sur le raisonnement chronologique en archéologie de terrain », in *Pour une archéologie indisciplinée, Réflexion croisée autour de Joëlle Burnouf*, Editions Mergoil, pp.79-88, disponible en ligne : https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/1428/files/2019/02/Desachy-2018-Recoudre-des-lambeaux-de-temps.pdf [consulté le 2020-07-30]

Descartes R. (1637), *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences, plus la dioptrique, les météores et la géométrie*, disponible en ligne :

https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b86069594/ [consulté le 2019-10-31]

Descola P. (2005), *Par-delà nature et culture*,Gallimard

DESIC : Lamizet B. & SILEM A., dir. (1997), Dictionnaire Encyclopédique des Sciences de l'Information et de la Communication, Ellipses

De Sousa Webber F. E. (2016), *Semantic Folding, Theory and its Application in Semantic Fingerprinting*, White Paper, Version 1.2, disponible en ligne : http://www.cortical.io/static/downloads/semantic-folding-theory-white-paper.pdf [consulté le 2020-10-10]

Dessalles J.L. (2014), « Why talk? », in *The social origins of language*, D. Dor, C. Knight & J. Lewis (Eds.), pp. 284–296, Oxford University Press

Dessalles J.-L., Gaucherel C., Gouyon P.-H. (2016), *Le fil de la vie : la face immatérielle du vivant*, Odile Jacob

Deutsch D. (2012), *Constructor Theory*, disponible en ligne : https://arxiv.org/abs/1210.7439 [consulté le 2019-10-30]

Deutsch D. & Marletto C. (2014), Constructor Theory of Information, disponible en ligne : https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2014.0540 [consulté le 2019-10-30]

Dewar, R.C. (2003), « Information theory explanation of the fluctuation theorem, maximum entropy production and self-organized criticality in non-equilibrium stationary states », in *Journal of Physics 36*, pp. 631–641

De Wilde L. (2016), *Les fous du son*, Grasset

Djindjian F. (2016), « Archéologie, de l'analogique au numérique : évolution technique ou révolution méthodologique ? », in *La 3D en archéologie : histoire, enjeux et études de cas, Les Nouvelles de l'archéologie*, n°146, pp. 6-11, disponible en ligne : https://doi.org/10.4000/nda.3820 [consulté le 2020-07-30]

Donnadieu G. & Karsky M. (2002), *La systémique : penser et agir dans la complexité*, Editions Liaisons

Doolittle, W. F. (2020), « Is the Earth an organism? », in *Aeon*, disponible en ligne : https://aeon.co/amp/essays/the-gaia-hypothesis-reimagined-by-one-of-its-key-sceptics [consulté le 2020-12-11]

Drake P. (2006), *High-Energy-Density Physics : Fundamentals, Inertial Fusion, and Experimental Astrophysics*, Springer

DRSIC : Conférence permanente des directeurs-trices des unités de recherche en sciences de l'information et de la communication, (2018), Dynamiques des recherches en sciences de l'information et de la communication

Dunbar R (1992), « Neocortex size as a constraint on group size in primates », in *Journal of Human Evolution*, n°20, pp. 469-493

Dunbar R. (1998), « Theory of mind and the evolution of language », in *Hurtford et al., Approaches to the evolution of language*, Cambridge University Press, pp.92-110

Dupuy J.-P. (2005), *Aux origines des sciences cognitives*, La Découverte

Durand G. (2016), *Les structures anthropologiques de l'imaginaire*, Dunod

D'Arcy Thompson (1994), *Forme et croissance*, Seuil

D'Herbemont O. & César B. (1996), *La stratégie du projet latéral, Comment réussir le changement quand les forces politiques et sociales doutent ou s'y opposent ?*, Dunod

Eisenstein E. (1979), *The Printing Press as an Agent of Change : Communications and cultural transformations in early-modern Europe*, Cambridge University Press

Einstein A. (1956), *La relativité*, Payot

Ekeland I. (1977), « La théorie des catastrophes », in *La Recherche*, n° 81 vol.8, p.745-754, disponible en ligne : http://pst.chez-alice.fr/TCIvarEk.htm [consulté le 2020-09-03]

Erikson E. (1994), *Childhood and Society*, WW Norton & Co

Erikson E. (1998), *The life cycle completed*, WW Norton & Co

Ermine J.-L., Moradi M., Brunel S. (2012) « Une chaîne de valeur de la connaissance», in *Management international / International Management / Gestiòn Internacional*, *vol. 16*, pp. 29–40, disponible en ligne : https://doi.org/10.7202/1012391ar [consulté le 2019-10-31]

Ertzscheid O. (2009), « L'homme, un document comme les autres », in *Hermès, La Revue*, n° 53, pp. 33-40, disponible en ligne : https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2009-1-page-33.htm

[consulté le 2020-06-19]

Ertzscheid O. (2018), « We need to talk. A propos du père Noël, des mensonges d'état et des interfaces vocales. », in *Affordance.info, le blog d'un maître de conférence en sciences de l'Information, ISSN 2260-1856*, disponible en ligne : https://www.affordance.info/mon_weblog/2018/09/we-need-to-talk.html [consulté le 2020-12-09]

Ertzscheid O. (2019), « Code is Outlaw. C'est la lutte digitale et la grève reconduc'stream », in *Affordance.info, le blog d'un maître de conférence en sciences de l'Information, ISSN 2260-1856*, disponible en ligne : https://www.affordance.info/mon_weblog/2019/12/cest-la-lutte-digitale.html [consulté le 2019-12-30]

Ertzscheid O. (2020), *Le monde selon Zuckerberg, Portraits et préjudices*, C&F éditions

Escarpit R. (1976), *Théorie générale de l'information et de la communication*, Hachette

Espagnat B. d' (1994), *Le réel voilé : analyse des concepts quantiques*, Fayard

Estivals R., (2002), *Théorie générale de la schématisation 1, Epistémologie des sciences cognitives*, L'Harmattan

Estivals R., (2003), *Théorie générale de la schématisation 2, Sémiotique du schéma*, L'Harmattan

Estivals R., (2003), *Théorie générale de la schématisation 3, Théorie de la communication*, L'Harmattan

Eyal N., & Hoover R. (2014), *Hooked: how to build habit-forming products*, Portfolio Penguin

Fahlman S. (1982), *Original Bboard Thread in which :-) was proposed*, disponible en ligne : http://www.cs.cmu.edu/~sef/Orig-Smiley.htm [consulté le 2019-12-17]

Farrington J. (2010), *Seven plus or minus two*, disponible en ligne : http://doi.wiley.com/10.1002/piq.20099 [consulté le 2020-02-25]

Ferber J. (2009), *La spirale dynamique : modèle d'évolution individuelle et collective,* disponible en ligne : http://www.lirmm.fr/~ferber/Cognition/vision-int1-spirale-

dynamique.ppt.pdf [consulté le 2020-02-28]

Ferrarese E. (2007), *Niklas Luhmann une introduction*, La Découverte

Fidel R. (2012), *Human information interaction: an ecological approach to information behavior*, MIT Press

Finidori H., Borghini S. & Henfrey T. (2016), « Towards a Fourth Generation Pattern Language: Patterns as Epistemic Threads for Systemic Orientation », in *Pursuit of Pattern Languages for societal change, Designing Lively Scenarios in Various Fields*, édité par Peter Baumgartner, Tina Gruber-Muecke, Richard Sickinger, disponible en ligne : http://www.purplsoc.org/ [consulté le 2020-06-24]

Fink M. (2011), « La complexité : un atout pour le retournement temporel des ondes », in *L'univers des ondes, Pour la Science*, n°409, pp. 30-37

Flipo F, Dobré M. & Michot M. (2013), *La face cachée du numérique: l'impact environnemental des nouvelles technologies*, L'échappée

Floreano D, Mattiusi C. (2008), *Bio-inspired artificial intelligence: theories, methods, and technologies*, MIT Press

Flor-Henry P., Shapiro Y., Sombrun C. (2017), Brain changes during a shamanic trance: Altered modes of consciousness, hemispheric laterality, and systemic psychobiology, in *Cogent Psychology*, vol. 4. n.1, disponible en ligne : https://www.cogentoa.com/article/10.1080/23311908.2017.1313522 [consulté le 2020-01-17]

Floridi L. (2010), *Information : a very short introduction*, Oxford

Fogg B.J., (2003), *Persuasive technology: using computers to change what we think and do*, Morgan Kaufmann Publishers

Foucault M. (1966), *Les mots et les choses*, Gallimard

Foucault M. (1975), *Surveiller et punir*, Gallimard

Freud S. (1905), *Trois essais sur la théorie sexuelle*, Gallimard

Freud S. (1916), *Introduction à la psychanalyse*, Payot, 1975, p. 266-267

Frey C. B. et Osborne M. A. (2017), « The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? », in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 114, pp. 254-280, disponible en ligne : https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019 [consulté le 2020-07-30]

FSF, Free Software Foundation (1996), *Qu'est ce que le logiciel libre ?*, disponible en ligne : http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.fr.html [consulté le 2019-12-30]

Gaillard F. & Bougnoux D. (2001), *Communiquer Transmettre, Actes du colloque de Cerisy*, Cahier de Médiologie n°11, Gallimard

Gallot-Lavallée P. (2007), *Donne-moi ce que je veux*, Kenazart Strategy Interactive

Garcia T. (2016), *La vie intense, une obsession moderne*, Autrement

Gardin J.-C., (1979), *Une archéologie théorique*, Hachette

Gardin J.-C., (2012), « 4 – Modèles et Récits », in *Épistémologie des sciences sociales*, PUF, pp. 407-454

Garrett J.J. (2002), *The Elements of User Experience*, New Riders

Gasançon C. (2017), « Le cyberespace, nouvel espace de souveraineté à conquérir », in *Penser Demain - 66e session du Centre des hautes études militaires*, Cahiers de la RDN, pp. 176-191

Gaudin T., dir. (1986), « L'hyperchoix des matériaux », in *Rapport sur l'État de la Technique « La révolution de l'intelligence »,* Réédition juin 1986, Numéro Hors-Série de Sciences & Techniques, pp. 48-61

Georgiev G. Y. , Smart J., Flores Martinez C., Price M. (2019), *Evolution, Development and Complexity Multiscale Evolutionary Models of Complex Adaptive Systems*, Springer

Gesell S. (1916), *Die Natürliche Wirtschaftsordnung* — traduction française de la 8e éd. par Félix Swinne (1948), *L'ordre économique naturel*, Issautier

Ghys E (2010), « L'attracteur de Lorenz, paradigme du chaos », in *Séminaire Poincaré, vol. XIV*, pp. 1-52, disponible en ligne : http://perso.ens-lyon.fr/ghys/articles/lorenzparadigme.pdf [consulté le 2019-12-24]

Gibson J. J. (1979), T*he Ecological Approach To Visual Perception*, Houghton Mifflin — édition consultée, traduction française : Gibson J. J. (2014), *Approche écologique de la perception visuelle*, Editions Dehors

Gielis J. (2003), « A generic geometric transformation that unifies a wide range of natural and abstract shapes », in *American Journal of Botany*, 90 (3), pp.

333–338, disponible en ligne : https://doi.org/10.3732/ajb.90.3.333 [consulté le 2019-12-12]

Girard J.-Y. (2016), *Le fantôme de la transparence*, Allia

Glanger E. & Toumani F. (2017), « Exploitation des données en astronomie », in *Les Big Data à découvert*, CNRS, éditions, pp. 206-207

Glushko R. (2013), *The discipline of organizing*, The MIT Press

Goldbeter A. (2018), *Au cœur du vivant, La vie oscillatoire*, Odile Jacob

Gonseth F. (1975), *Le référentiel, univers obligé de médiation*, L'Age d'Homme

Gonseth F. (1998), « Qu'est ce que la logique ? » in *Logique et philosophie mathématiques*, Hermann

Goody J. (1979), *La raison graphique : la domestication de la pensée sauvage*, Les Éditions de Minuit

Gould S.J., Vrba E. (1982), « Exaptation - a missing term in the science of form », in *Paleobiology*, vol. 8, pp.4-15

Gramaccia G. (2001), *Les actes de langage dans les organisations*, L'Harmattan

Greiner L. (1972), « Evolution and Revolution as Organizations Grow », in *Harvard Business Review*, July-August Issue

Greiner L. (1998), « Evolution and Revolution as Organizations Grow », in *Harvard Business Review*, May-June Issue, disponible en ligne : https://hbr.org/1998/05/evolution-and-revolution-as-organizations-grow [consulté le 2020-02-26]

Grenier J.-Y., Grignon C. & Menger P.-M (2001), *Le modèle et le récit*, Éditions de la Maison des sciences de l'homme

Grinbaum A. (2015), « Quantum theory as a critical regime of language dynamics », in *Foundations of Physics* 45, pp. 1341-1350, disponible en ligne : https://arxiv.org/abs/1501.02710 [consulté le 2019-12-03]

Grothendieck A. (1985), *Récoltes et Semailles, Réflexions et témoignage sur un passé de mathématicien*, disponible en ligne : http://matematicas.unex.es/~navarro/res/res.pdf [consulté le 2019-12-03]

Groulx L.-H. (2005), *Revenu minimum garanti. Comparaison internationale, analyses et débats*, Presses de l'Université du Québec

Guitton J. (1933), *Les rythmes de la vie - Introduction*, Groupe lyonnais d'études médicales philosophiques et biologiques, Librairie Lavandier

Guyon E., Delenne J.-Y. & Radjai F. (2017), *Matière en grains*, Odile Jacob

Habermas J. (1981), *The theory of communicative action*, Beacon Press

Hall E. T. (1971), *La dimension cachée*, Seuil

Harari N. Y. (2017), *Homo Deus : Une brève histoire du futur*, Albin Michel

Harcourt B. (2020), *La Société d'exposition*, Seuil

Hawkins J. (2005), *Intelligence*, Pearson

Hayen A. (1937), « La théorie du lieu naturel d'après Aristote. Contribution à l'étude de l'hylémorphisme », in *Revue Philosophique de Louvain Année 1937,* n° 53, pp. 5-43, disponible en ligne : https://www.persee.fr/doc/phlou_0776-555x_1937_num_40_53_3014 [consulté le 2019-12-30]

Herman E. & Chomsky N. (1988), *La Fabrication du consentement : De la propagande médiatique en démocratie*, Agone

Herrenschmidt C. (2007), *Les trois écritures : Langue, nombre, code*, Gallimard

Hofstadter D. (2008), *Je suis une boucle étrange*, Dunod

Hofstadter D. & Sander E. (2013), *L'analogie : cœur de la pensée*, Odile Jacob

Hottois G. (1996), *Entre symboles et technosciences, un itinéraire philosophique*, Champ Vallon

Houdé O. (2014), « chapitre 3. Inhiber pour raisonner : Le système 3 (exécutif) », in *Le raisonnement*, Que sais-je ?, pp.73-111

Houdé O. (2019), *3-System Theory of the Cognitive Brain, A Post-Piagetian Approach to Cognitive Development*, Routledge

Huchard M. (2012), *Analyse Formelle de Concepts : Une approche pour fouiller des ensembles de données multi-relationnels, et quelques applications au génie logiciel*, disponible en ligne : https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00808686 [consulté le 2020-05-05]

Hui Y. (2015), « Simondon et la question de l'information », in *Cahiers Simondon, n°6*, pp. 29-47

Huizinga J. (1951), *Homo Ludens, Essai sur la fonction sociale du jeu*, Gallimard

Idon (2000), *Thinking with Hexagon, A guide to modelling with magnetic hexagons on whiteboards and Idons-For-Thinking software*, Idon Thinking Resources Ltd

Illich I. (1971), *Une société sans école*, Seuil

Illich I. (1973), *La convivialité*, Seuil

Jacob F. (1970), *La logique du vivant, une histoire de l'hérédité*, Gallimard

Jacob F. (1977), « Evolution and Tinkering », in *Science, vol. 196, n°4295*, pp 1161-1167

Jacomy M. (2020), « Epistemic clashes in network science: Mapping the tensions between idiographic and nomothetic subcultures », in *Big Data & Society*, vol.7 n°2, disponible en ligne : https://doi.org/10.1177/2053951720949577 [consulté le 2020-09-02]

Jagers op Akkerhuis G. A.J.M. (2016), *Evolution and Transitions in Complexity, The Science of Hierarchical Organization in Nature*, Springer

Jancovici J.-M. (2019), « CO_2 ou PIB il faut choisir », in *Leçon inaugurale à Sciences-Po*, disponible en ligne : https://www.sciencespo.fr/fr/actualites/actualit%C3%A9s/%E2%80%9Cco2-ou-pib-il-faut-choisir%E2%80%9D/4307 [consulté le 2019-12-05]

Jantsch E. (1980), *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*, disponible en ligne : https://monoskop.org/images/9/9e/166495032-The-Self-Organizing-Universe-by-Erich-Jantsch.pdf [consulté le 2020-02-20]

Jarrige F. (2016), *Technocritiques. Du refus des machines à la contestation des technosciences*, La Découverte

Joinet J.-B. & Tronçon S. (2009), *Ouvrir la logique au monde : Philosophie et mathématique de l'interaction*, Hermann

Julia L. (2019), *L'intelligence artificielle n'existe pas*, First

Jung C. G., dir. (1964), *L'homme et ses symboles*, Robert Laffont

Jutand F. (2013), *La métamorphose numérique : vers une société de la connaissance et de la coopération*, Alternatives

Kahneman D. (2012), *Système 1 / Système 2 : Les deux vitesses de pensée*,

Flammarion

Kano N., Seraku N., Takahashi F., Tsuji S. (1984), « Attractive quality and must-be quality », in *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, vol. 14 n°2, pp. 39–48

Kaplan F. (2011), « Quand les mots valent de l'or », in *Le Monde Diplomatique*, n°692, nov. 2011, disponible en ligne : https://www.monde-diplomatique.fr/2011/11/KAPLAN/ [consulté le 2019-12-10]

Kim W.C. & Mauborgne R. (2010), *Stratégie Océan Bleu, Comment créer de nouveaux espaces stratégiques*, Pearson

Klein E. (2000), « La pluralité du vide de la physique contemporaine », in *L'unité de la physique*, PUF, pp. 287-296

Koestler A. (1967), *The Ghost in the Machine*, Hutchinson - trad. française : (1993) *Le cheval dans la locomotive*, Les belles lettres

Koltko-Rivera M. (2006), « Rediscovering the Later Version of Maslow's Hierarchy of Needs: Self-Transcendence and Opportunities for Theory, Research, and Unification », in *Review of General Psychology*, vol. 10, n° 4, disponible en ligne : https://journals.sagepub.com/doi/10.1037/1089-2680.10.4.302 [consulté le 2020-01-15]

Krueger M. (1991), *Artificial reality II*, Addison-Wesley

Krug S. (2000), *Don't make me think*, Pearson

Kuhn T. (1962), *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion

Kula D., Ternaux E. & Hirsinger Q. (2009), *Materiology, matériaux et technologies: l'essentiel à l'usage des créateurs*, Frame Publisher

Laborde S. (2010-2012), *Théorie Relative de la Monnaie*, disponible en ligne : http://trm.creationmonetaire.info/ [consulté le 2020-01-29]

Laborit H. (1974), *La nouvelle grille, pour décoder le message humain*, Laffont

Lacombe E. (1989), « Nouvelles technologies de l'image animée », mémoire de DEA, sous la direction de Jacques Aumont, Paris III, Université de la Sorbonne Nouvelle

Lacombe E. (2009), « Liens, flux et réseaux : indicateurs et repères pour le

Management des Technologies Organisationnelles », in *Management des Technologies Organisationnelles, vol.1*, Presse des Mines, Collection Design numérique, pp. 87-102

Lacombe E. (2011), « Gestion de l'information, le rôle du support documentaire ou comment améliorer les performances par l'usage des cartes numériques interactives », in *Management des Technologies Organisationnelles, vol.2*, Presse des Mines, Collection Design numérique, pp. 131-144

Lacombe E. (2013), « Distance et engagement des réseaux sociaux dans les réseaux sociaux numériques », in *Impact des réseaux numériques dans les organisations*, Management des Technologies Organisationnelles, vol.3, Presses des Mines, Collection Design numérique, pp.80-91

Lacombe E. (2014), « Le contexte informationnel de l'entreprise : levier ou frein ? », in *Management des Technologies Organisationnelles*, vol.4, Presses des Mines, Collection Design numérique,pp. 167-180

Lacombe E. (2015), « Graines d'information et schémas de transformation », in *Management des Technologies Organisationnelles, vol.6*, Presses des Mines, Collection Design numérique, pp. 109-124

Lacombe E. (2016), « Sous les algorithmes, des « Graines d'Information » : ouvrir le design numérique à un réseau d'acteurs du tourisme », *Sciences du Design n°4*, pp. 51-62

Lacombe E. (2018), « Conditions de l'agilité d'un système informationnel : le potentiel d'une approche holonique », in Vieira L., Schott A., Akam N., dir. *Adaptabilité, flexibilité, agilité des systèmes informationnels*, XIV Conférence internationale EUTIC, pp. 176-194

Lacombe E. (2019), « Les 5 rôles des « Points de connexion ». Un retour d'expérience dans la gestion de Graines d'information par un réseau d'acteurs du tourisme », in *Déconnexion des connexions, Sciences de la société*, n°103, pp. 40-53, https://doi.org/10.4000/sds.9761

Lacombe E. & Durost S. (2019), « Une approche holonique pour éclairer l'évolution du travail à l'ère numérique Ou « *ne poussez-pas, il y a de la place pour tout le monde* » », communication à la Journée de Recherche IP&M ICHEC Brussels Management School, 4 juin 2019, ICHEC — en évaluation

Lacombe E. & Monfort B. (2019), « Management XXI : TIC-TAC management ou BIO management », en évaluation pour parution dans la revue MTO — communication présentée au colloque M2019, 3 octobre, EMA

Lacombe E. & Vieira L. (2019, à paraître), « Le phénomène de résonance à l'ère du numérique. Perspectives et modélisations », in *Fractales et Résonances*, Presses des Mines — communication présentée au colloque TICIS, 5-6 juin 2019, ICHEC

Lallemand C. & Gronier G. (2018), *Méthodes de design UX, 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*, 2ème édition, Eyrolles

Laloux F. (2015), *Reinventing Organizations, Vers des communautés de travail inspirées*, Diateino

Lambert S. & Ropiequet S., dir. (1986), *CD ROM T1, The New Papyrus*, Microsoft Press

Lanier J. (2014), *Who Owns the Future?*, Penguin Books

Lasswell H. (1948), « The Structure and Function of Communication in Society », in *The Communication of Ideas*, Bryson L. (ed.), The Institute for Religious and Social Studies

Last C. (2017), « Big Historical Foundations for Deep Future Speculations: Cosmic Evolution, Atechnogenesis, and Technocultural Civilization », in *Foundations of Science*, vol. 22, n°1, pp. 39-124

Latour B. (1991), *Nous n'avons jamais été modernes*, La découverte

Latour B. (2017), *Où atterrir ? comment s'orienter en politique*, La découverte

Lavergne Boudier V. et Dambach Y. (2010), *Serious Game, révolution pédagogique*, Hermès-Lavoisier

Lawrence J. & Steck E. (1991), *Overview of Management Theory*, disponible en ligne : https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a235762.pdf [consulté le 2019-10-31]

Le Blanc B. (2014), « Francisco Varela : des systèmes et des boucles », in *Hermès, La Revue*, n°68, pp.106-107, disponible en ligne : https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2014-1-page-106.htm [consulté le 2020-09-28]

Le Breton D. (2006), *La saveur du monde Une anthropologie des sens*, Editions Métailié

Lecomte J. (2012), « Médias, culture et cognition : entretien avec le philosophe Pierre Lévy », in *Philosophie, médias et société*, article du blog de Julien

Lecomte, disponible en ligne : https://www.philomedia.be/medias-culture-et-cognition-entretien-avec-le-philosophe-pierre-levy/ [consulté le 2020-12-12]

Lederlin F. (2020), *Les dépossédés de l'open space: une critique écologique du travail*, PUF

Le Douarin N. (2000), *Des chimères, des clones et des gènes*, Odile Jacob

Leleu-Merviel S. & Useille P. (2008), « Quelques révisions du concept d'information », in *Problématiques émergentes dans les sciences de l'information*, Lavoisier, pp. 25-56

Leleu-Merviel S. & Boulekbache-Mazouz H. (2014), *Recherches en design, processus de conception, écriture et représentations*, ISTE éditions

Leleu-Merviel S., Schmitt D. et Useille P. (2018), *De l'UXD au LivXD Design des expériences de vie*, ISTE éditions

Le Moigne J.-L. (1990), *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod

Le Moigne J.-L. (2012), Les épistémologies constructivistes, PUF

Lendrevie J. & Lindon D. (2014), *Mercator, Théorie pratique du marketing*, 11ème édition, Dunod

Lerner R. (2001), *Concepts and Theories of Human Development*, Psychology Press

Leroi-Gourhan A. (1964), *Le geste et la parole, I. Technique et langage*, Albin Michel

Leroi-Gourhan A. (1965), *Le geste et la parole, II. La mémoire et les rythmes*, Albin Michel

Lessig D. (2000), « Code is Law », in *Harvard Magazine*, disponible en ligne : https://harvardmagazine.com/2000/01/code-is-law-html [consulté le 2019-12-30]

Levitin D. J., Chordia P. & Menon V. (2012), *Musical rhythm spectra from Bach to Joplin obey a 1/f power law*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109(10), pp. 3716–3720, disponible en ligne : https://doi.org/10.1073/pnas.1113828109 [consulté le 2020-02-26]

Levy P. (2017), « La pyramide algorithmique », in *L'ontologie du numérique*,

dossier de la revue Sens Public, coord. Vitali-Rosati M., Monjour S., Treleani M. disponible en ligne : http://sens-public.org/articles/1275/ [consulté le 2020-11-15]

Levy P. (2018), « Les opérateurs élémentaires de la réflexion », in *Cahiers Sens public*, 2018/1 (n° 21-22), p. 75-102.

Levy P. (2019), La grammaire d'IEML Le Métalangage de l'Economie de l'Information, version du 18 décembre 2019, disponible en ligne : https://www.dropbox.com/s/875vsj0atbcts43/0-00-IEML-Manifesto-2019-fr.pdf?dl=0 [consulté le 2020-06-15]

Lietaer B. (2008), *Monnaies régionales : De nouvelles voies vers une prospérité durable*, éditions Charles Léopold Meyer

Lieury A. (2005), *Mais où est donc ma mémoire ?; Découvrir et maîtriser les procédés mnémotechniques*, Dunod

Lindenmayer A. (1968), « Mathematical models for cellular interaction in development », in *J. Theoret. Biology.*, vol. 18, pp. 280-315

Logan R. (2012), « What Is Information ? : Why Is It Relativistic and What Is Its Relationship to Materiality, Meaning and Organization » in *Information, n°3*, pp. 68-91

Longo G. & Montévil M. (2011), « *Protention and retention in biological systems* », in Theory in Biosciences, vol. 130, n°2, Springer Verlag, pp.107-117, disponible en ligne : https://arxiv.org/pdf/1004.5361.pdf [consulté le 2020-05-13]

Lovelock J. (1979), *Gaia, a new look at life on earth*, Oxford University Press - traduction française (consultée) : *La Terre est un être vivant, L'hypothèse Gaïa*, Flammarion, 2017

Lupasco S. (1951), *Le principe d'antagonisme et la logique de l'énergie*, Hermann et Cie — réédition, Le Rocher, 1987

Lupasco S. (1960), *Les trois matières*, Julliard

Lupasco S. (1970), *La tragédie de l'énergie*, Casterman

Lupasco S. (1971), *Du rêve, de la mathématique et de la mort*, Christian Bourgois Editeur

Lupasco S. (1974), *L'énergie et la matière psychique*, Julliard

Maggiore M. (2018), *Gravitational Waves, Volume 2: Astrophysics and Cosmology*, Oxford University Press

Maillé A. J. (2016), *La loi des contraires, Corpus énantiologique de la conception du monde et de la réflexion humaine*, Carte Blanche

Mandelbrot B. (1975), *Les objets fractals : forme, hasard et dimension*, Flammarion

Manzini E. (1989), *La matière de l'invention*, Editions du Centre Pompidou

Marchais P. & Cardon A. (2010), *Troubles mentaux et interprétations informatiques, Contribution à l'étude du fonctionnement psychique*, L'harmattan

Martyushev L. M. & Seleznev V.D. (2006), « Maximum entropy production principle in physics, chemistry and biology », in *Physics Reports*, 426(1):145

Marzano M. (2010), *Le contrat de défiance*, Grasset

Maslow, A. H. (1969), « The farther reaches of human nature », in *Journal of Transpersonal Psychology*,1(1), pp. 1–9.

Masurel C. (2013), *Anallagmatic Spirals-Pursuit Curves-Hyperbolic-Tangentoid Spirals-Beta Curves (Part VII)*, disponible en ligne : http://christophe.masurel.free.fr/pdf/HyperbolicCKNP-PartVII.pdf [consulté le 2020-03-02]

Mathieu J.-P., Kastler A., Fleury P. (1983), *Dictionnaire de physique*, Eyrolles

Mathieu M.-A. (1995), *Le début de la fin / La fin du début*, Delcourt

Maturana H. & Varela F. (1980), *Autopoiesis and Cognition: the Realization of the Living*, Kluwer Academic Publishers

McLuhan M. (1968), *Pour comprendre les médias*, Seuil

Melot M. (2006), *Livre*, L'Œil neuf

Mersch D. (2018), *Théorie des médias, une introduction*, Les presses du réel

Merzeau L. (2009), « Du signe à la trace : l'information sur mesure », in *Hermès, La Revue*, n°53, pp. 21-29, disponible en ligne : https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2009-1-page-21.htm [consulté le 2020-06-19]

Meyer P. (2012), « Comment mathématiser la biologie ? » in *Rue Descartes, n°*

74, pp. 20-33

Mezirow J. (2001), *Penser son expérience, développer l'autoformation*, Chronique sociale

Mihelich M. (2015), *Vers une compréhension du principe de maximisation de production d'entropie*, Thèse, sous la direction de Bérengère Dubrulle, Université Paris-Saclay, disponible en ligne : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01308677 [consulté le 2019-12-09]

Miller G. (1956), « The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information », in *Psychological Review*, n°63, pp. 81-97 disponible en ligne : http://psychclassics.yorku.ca/Miller/ [consulté le 2020-02-25]

Miller G. A. (2003), « The cognitive revolution: a historical perspective », in *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 7, n° 3, pp. 141-144

Milnor J. (1985), « On the concept of attractor », in *Communications in Mathematical Physics, Volume 99, Number 2*, pp. 177-195, disponible en ligne : https://projecteuclid.org/euclid.cmp/1103942677 [consulté le 2020-01-04]

Moine L. et Eynaud P (2019), *Comment penser le numérique au service du projet associatif*, Jurisassociations 602, pp.43-45

Moore G. (2014), *Crossing the Chasm, 3rd Edition: Marketing and Selling Disruptive Products to Mainstream*, Harper Business

Moreau J. (1969), Aristote et la monnaie, in *Revue des Études Grecques, tome 82 fascicule 391-393*, pp. 349-364, disponible en ligne : https://www.persee.fr/issue/reg_0035-2039_1969_num_82_391 [consulté le 2019-12-29]

Morfin J.F., (2019), « Notion de perférent », in Cath.info, disponible en ligne : http://cath.info/index.php/Notion_de_perférent [consulté le 2020-05-19]

Morgan G. (1999), *Images de l'organisation*, de boeck

Morin E. (1973), *Le paradigme perdu, la nature humaine*, Seuil

Morin E. (1977), *La méthode. 1 : La nature de la nature*, Seuil

Morin E. (1981), *La méthode. 2 : La vie de la vie*, Seuil

Morin E. (1982), *Science avec conscience*, Seuil

Morin E. (1986), *La méthode. 3 : La connaissance de la connaissance*, Seuil

Morin E. (2005), *Introduction à la pensée complexe*, Seuil

Morizot B. (2020), *Manières d'être vivant*, Actes Sud

Morville P. & Rosenfeld L. (2006) (3e édition, 1e édition en 1998), *Information architecture for the World Wide Web*, O'Reilly

Mucchielli A. (2004), *Etude des communication : approche par la modélisation des relations*, Armand Colin

Mugur-Schächter M. (2006), *Sur le tissage des connaissances*, Lavoisier

Musso P. (2001), « Genèse et critique de la notion de réseau », in *Penser les réseaux,* sous la direction de Daniel Parrochia, Champ Vallon, pp. 194-217

Myers W. (2012), *Bio Design, nature, science, creativity*, Thames & Hudson (édition consultée : 2018)

Newman B. & Newman P. (2012), *Development Through Life, a Psychological Approach*, Wadsworth

Newman B. & Newman P. (2015), *Theories of Human Development*, Routledge

Nicolescu B. (1988), *La science, le sens et l'évolution - Essai sur Jakob Boehme*, Le Félin

Nicolescu B. (1996), *La transdisciplinarité : manifeste*, Éditions du Rocher

Nicolescu B. (2009), *Qu'est-ce que la réalité ? réflexions autour de l'œuvre de Stéphane Lupasco*, Liber

Nicolescu B. (2012), *Nous, la particule et le monde*, EME Éditions

Nielsen J. (1990), *Hypertext and Hypermedia*, Academic Press

Nitot T. (2009), « A propos de bidouillabilité », in *Standblog*, *Tristant Nitot sur la technologie, l'Internet et les libertés numériques*, disponible en ligne : http://standblog.org/blog/post/2009/09/16/A-propos-de-bidouillabilité [consulté le 2020-12-09]

Noble D. (2006), *The music of life, Biology Beyond Genes*, Oxford University Press

Nonaka I. & Takeuchi H., Ingham M. (1997), *La connaissance créatrice, La dynamique de l'entreprise apprenante*, De Boeck Université

Norman D. (2013), T*he Design of everyday things*, Basic Books

Nova N. (2020), *Smartphones: Une enquête anthropologique*, Métis Presses

Oliveira H. M. & Melo L. V. (2015), « Huygens synchronization of two clocks », in *Scientific Reports*, 5, article number 11548; doi: 10.1038/srep11548

Olivier L. (2008), *Le sombre abîme du temps, mémoire et archéologie*, Seuil

Ostwald W. (1937), *L'énergie*, Alcan

Ouaknin M.-A. (2004), *Le mystère des chiffres*, Assouline

Palsky G. (1999), « Borges, Carrol et la carte au 1/1 » , in *Cybergeo : European Journal of Geography*, Cartographie, Imagerie, SIG, n° 106, doi: 10.4000/cybergeo.5233

Papert S. (1993), *Mindstorms, Children, Computers, and Powerful Ideas, All About LOGO – How it was invented and how it works*, second edition, Harvester Wheatsheaf

Pariser E. (2012), *The Filter Bubble: What The Internet Is Hiding From You*, Penguin

Parrochia D. (1994), *Cosmologie de l'information: pour une nouvelle modélisation de l'univers informationnel*, Hermès

Parrochia D., sous la direction de (2001), *Penser les réseaux*, Champ Vallon

Parrochia D. (2006), *Philosophie et musique contemporaine ou le nouvel esprit musical*, Champ Vallon

Parrochia D. (2008), *La forme des crises, Logique et épistémologie*, Champ Vallon

Parrochia D. Micali A. Anglès P. (2012), *L'unification des mathématiques - algèbres géométriques, géométrie et philosophie de Langlands*, Hermès

Pasquier D. (2020), « Préface », in *Méthodes de recherche en contexte numérique Une orientation qualitative*, sous la dir. de Mélanie Millette, Florence Millerand, David Myles et Guillaume Latzko-Toth, Les Presses Universitaires de Montréal, disponible en ligne : https://www.pum.umontreal.ca/catalogue/methodes_de_recherche_en_contexte_numerique [consulté le 2020-11-17]

Passet R. (2010), *Les grandes représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire*, Les liens qui libèrent

Pédauque R.T. (2006), *Le Document à la lumière du numérique,* CF éditions

Petit J.P., D'Agostini G. et Debergh N. (2019), « Physical and mathematical consistency of the Janus Cosmological Model (JCM) », in *Progress in Physics*, vol. 15, 2019, disponible en ligne : https://www.ptep-online.com/2019/PP-56-09.PDF [consulté le 2020-05-13]

Peytavie A. (2010), *Génération procédurale de monde*, Thèse, sous la direction de Eric Galin, Université Claude Bernard - Lyon I

Piaget J. (1947), *La psychologie de l'intelligence*, Armand Colin

Piaget J. (2011), *L'épistémologie génétique*, PUF

Piketty T. (2013), *Le capital au XXIe siècle*, Seuil

Pitron G. (2018), *La guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique et numérique*, Les liens qui libèrent

Polanyi K. (1983), *La Grande Transformation*, Gallimard — 1944, pour l'édition originale

Popper F. (2007), *From Technological to Virtual Art*, The MIT Press

Popper K. (1934), *La logique de la découverte scientifique*, Payot, 1973

Prigogine I. (1968), *Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles*, Editions Jacques Gabay

Prigogine I. & Stengers I. (1986), *La nouvelle alliance : métamorphose de la science*, Seuil

Prigogine I. (1993), *Les lois du chaos*, Flammarion

Prince V. (1996), *Vers une informatique cognitive dans les organisations, le rôle central du langage*, Masson

Quéau P. (1986), *Eloge de la simulation, de la vie des langages à la synthèse des images*, Champ Vallon

Quéau P. (1989), *Metaxu — Théorie de l'art intermédiaire*, Champ Vallon

Quéau P. (1993), *Le virtuel — vertus et vertiges*, Champ Vallon

Querrien A. (2005), *L'école mutuelle : une pédagogie trop efficace ?*, Les empêcheurs de penser en rond

Rangaswami J.P. (2012), *Information is food*, conférence TED, disponible en ligne : https://www.ted.com/talks/jp_rangaswami_information_is_food [consulté le 2019-11-01]

Reichenbach H. (1938), *Experience and Prediction*, University of Chicago Press

Reix R. (2004), *Systèmes d'information et management des organisations*, Vuibert

Réka A. (2005), « Scale-free networks in cell biology », in *Journal of Cell Science*, vol. 118, nov. 2005, pp.4947-4957

Rendgen S., dir. (2012), *Information Graphics*, Taschen

Resmini A., Rosati A. (2011), *Pervasive information architecture : designing cross-channel user experiences*, Morgan Kaufmann

Ricœur P. (1990), *Soi-même comme un autre*, Seuil

Robert P. (2000), « Le MOTIF, de l'informatique comme moteur d'inférence et de gestion de formes », in *Revue Solaris,* déc. 2000-janv. 2001, disponible en ligne : http://gabriel.gallezot.free.fr/Solaris/d07/7robert.html [consulté le 2020-01-20]

Robert P. (2012), *L'impensé informatique: critique du mode d'existence idéologique des technologies de l'information et de la communication*, Editions des Archives contemporaines

Robert P. (2017), « Le Numérique, entre modélisation conceptuelle et approche critique », in *Design et Transmédia : le croisement des disciplines de SHS*, RFSIC n°10, disponible en ligne : https://journals.openedition.org/rfsic/2641 [consulté le 2020-01-14]

Robert P. (2018), *Petit kit conceptuel et critique de survie en société numérique…*, carnet de recherche DLIS, Digital Libraries & Information Sciences, disponible en ligne : https://dlis.hypotheses.org/1699 [consulté le 2020-01-20]

Robert P. & Proulx S. (2016), *L'impensé numérique. Tome 1*, Editions des archives contemporaines

Roberts R. (1989), *Serendipity : Accidental Discoveries in Science*, Wiley Science Editions

Robin J. (1989), *Changer d'ère*, Seuil

Robin J. & Baranski L. (2008), *L'urgence de la métamorphose : inscrire notre conscience humaine dans l'aventure de l'univers*, In Libro Veritas

Roddier F. (2012), *Thermodynamique de l'évolution — Un essai de thermo-bio-sociologie*, Editions Parole

Roddier F. (2018), *De la thermodynamique à l'économie — Le tourbillon de la vie*, Editions Parole

Roger A. & Guéry F., dir. (1991), *Maîtres & protecteurs de la nature*, Champ Vallon

Roger E. (2003), *Diffusion of Innovations: Fifth Edition*, S & S International

Ropiequet S., dir. (1987), *CD ROM T2, Optical Publishing*, Microsoft Press

Rosa H. (2014), *Accélération — une critique sociale du temps*, La Découverte

Rosa H. (2018), *Résonance — une sociologie de la relation au monde*, La Découverte

Rosch E. (1973), « Natural categories », in *Cognitive Psychology 4*, pp. 328-350.

Rosen N. (1940), « General Relativity and Flat Space. I », in Physical Review, vol. 57, n° 2, pp. 147–150, disponible en ligne : https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.57.147 [consulté le 2020-05-13]

Roulleaux Dugage M. (2008), *Organisation 2.0 Le knowledege management nouvelle génération*, Eyrolles

Rouvroy A. & Stiegler B. (2015), « Le régime de vérité numérique, De la gouvernementalité algorithmique à un nouvel État de droit », in *Socio n°4*, disponible en ligne : https://journals.openedition.org/socio/1251 [consulté le 2020-01-13]

Rovelli C. (2014), *Et si le temps n'existait pas ?*, Dunod

Rovelli C. (2015), *Par-delà le visible, La réalité du monde physique et la gravité quantique*, Odile Jacob

Rowley J. (2007), « The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy », in *Journal of Information Science, vol. 33 n°2*, pp. 163-180

Royston R. (1989), *Serendipity : Accidental Discoveries in Science*, John Wiley & Sons

Rozario P. de, Pesqueux Y. (2018), *Théorie des organisations*, Eyrolles

Rudin W. (1978), *Analyse réelle et complexe*, Masson

Sagan[403] L. (1967), « On the origin of mitosing cells », *Journal of Theoretical Biology*, vol. 14, n°3, pp. 255–274, disponible en ligne :

403. nom de Lynn Margulis lorsqu'elle était mariée avec Carl Sagan

https://doi.org/10.1016/0022-5193(67)90079-3 [consulté le 2020-10-10]

Sakharov A. D. (1967), « Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe », JETP Letters, vol. 5, n°1, pp. 24–26, disponible en ligne : http://www.jetpletters.ac.ru/ps/1643/article_25089.pdf [consulté le 2020-05-13]

Saleh I. & Hachour H. (2012), « Le numérique comme catalyseur épistémologique », in *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, n°1, disponible en ligne : https://doi.org/10.4000/rfsic.168 [consulté le 2020-12-12]

Savall H. & Zardet V. (1987), *Maîtriser les coûts et les performances cachés. Le contrat d'activité périodiquement négociable*, Economica

Savall H. (1989), *Enrichir le travail humain, l'évaluation économique*, Economica

Savall H. & Zardet V. (2004), *Recherche en Sciences de Gestion : Approche Qualimétrique, observer l'objet complexe*, Economica

Sawyer W. W. (1966), *Introduction aux mathématiques*, Payot

Scharmer O. & Kaufer K. (2013), *Leading from the emerging future, from ego-system to eco-system economies*, Berret-Koehler Publishers, Inc.

Schramm A. E., Carton-Leclercq A., Diallo S., Navarro V., Chavez M., Mahon S., Charpier S. (2020), « Identifying neuronal correlates of dying and resuscitation in a model of reversible brain anoxia », in Progress in Neurobiology, vol. 185, disponible en ligne : https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2019.101733 [consulté le 2020-10-20]

Schrödinger E. (1986), *Qu'est ce que la vie ? De la physique à la biologie*, Christian Bourgois

Schutz B. et Vitale S. (2011), « Ondes gravitationnelles la bande son de l'univers », in *Pour la Science, L'univers des ondes*, n°409, pp. 84-88

Serres M. (1968), *Le système de Leibniz et ses modèles mathématiques*, PUF

Shannon C. (1948), *A Mathematical Theory of Communication*, Bell System Technical Journal, vol. 27, n° 3, juillet 1948, p. 379-423 & n° 4, octobre 1948, p. 623-666

Sher G. (2012), *Handbook of Neuroevolution Through Erlang*, Pearson

Si Alhir S. (1998), *UML in a nutshell, A desktop quick reference*, O'Reilly

Simondon G. (2005), *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, Millon

Simondon G. (2010), *Communication et Information, Cours et conférences*, Les éditions de la transparence

Simondon G. (2012), *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier

Simondon G. (2014), *Imagination et invention 1965-1966*, PUF

Simon H. (1971), « Designing Organizations for an Information-Rich World », in *Computer, communications and the public interest*, The John Hopkins Press, p. 37-72

Simon H. (1996), *The Sciences of the Artificial*, MIT Press

Sinek S. (2009), *Start with Why: How Great Leaders Inspire Everyone to Take Action*, Portfolio

Skelsey H. (2014), « Maslow's Hierarchy of Needs – the sixth level », in *The psychologist*, vol. 27, pp. 982-983, disponible en ligne : https://thepsychologist.bps.org.uk/volume-27/december-2014/maslows-hierarchy-needs-sixth-level [consulté le 2020-01-17]

Sousanis N. (2015), *Le déploiement*, Actes Sud

Stalla-Bourdillon C. (2014), « La manipulation de l'information », in *Colloque Geolinks : NTIC et Géostratégie, Les nouveaux enjeux de la sécurité*, disponible en ligne : https://youtu.be/Op3q66ZvaKU [consulté le 2019-12-10]

Stalla-Bourdillon C. & Lapadu-Hargues A. (2014), « Les « bombes vidéo », nouvelle menace sur Internet », in *Veille magazine*, n°144

Stewart I. (2014), *17 équations qui ont changé le monde*, Laffont

Stiegler B. (2006), *La télécratie contre la Démocratie*, Flammarion

Stiegler B. (2012), « Attention, Rétention, Protention », in *Ars Industrialis*, disponible en ligne : http://arsindustrialis.org/vocabulaire-attention-retention-protention [consulté le 2020-06-16]

Stiegler B. (2016), *Dans la disruption, comment ne pas devenir fou ?*, éditions Les liens qui libèrent

Stiegler B., coord. (2020), *Bifurquer, il n'y a pas d'alternative*, éditions Les liens qui libèrent

Stiegler B. (2020), « Noodiversity, technodiversity. Elements of a new economic foundation based on a new foundation for theoretical computer science », in *Angelaki*, vol. 25, traduction Daniel Ross, disponible en ligne : https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0969725X.2020.1790836 [consulté le 2020-11-15]

Supiot A. (2005), *Homo Juridicus, essai sur la fonction anthropologique du droit*, Seuil

Swenson R. (1988). « Emergence and the principle of maximum entropy production: Multi-level system theory, evolution, and non-equilibrium thermodynamics », in *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the International Society for General Systems Research, 32*

Swenson R. (1989), « Emergent Evolution and the Global Attractor: The Evolutionary Epistemology of Entropy Production Maximization », in *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of The International Society for the Systems Sciences*, P. Leddington (ed)., 33(3), 46-53.

Tagawa K, Watanabe K., Ogata H. (2014), *Takram design engineering*, LIXIL Shuppan

Tarde G. (1890), *Les lois de l'imitation : étude sociologique*, Félix Alcan éditeur, disponible en ligne : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k77173k [consulté le 2020-02-25]

Tarde G. (1902), *Psychologie économique*, Alcan

Thebault P. (2013), *La conception à l'ère de l'Internet des Objets: modèles et principes pour le design de produits aux fonctions augmentées par des applications*, Thèse, ParisTech, École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, disponible en ligne : https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00869385v2 [consulté le 2020-06-20]

Thom R. (1977), *Stabilité structurelle et morphogenèse*, InterEditions

Thom R. (1988), *Esquisse d'une sémiophysique, physique aristotélicienne et Théorie des Catastrophes*, InterEditions

Tinland F., sous la dir. de, (1991), *Systèmes naturels systèmes artificiels*, Champ Vallon

Tinland F., sous la dir. de, (1994), *Ordre biologique ordre technologique*, Champ Vallon

Triclot M. (2008), *Le moment cybernétique, la constitution de la notion d'information*, Champ Vallon

Triclot M. (2011), *Philosophie des jeux vidéo*, Zones

Uexküll J. Von (1956), *Mondes animaux et monde humain*, éditions Gonthier

Ulanowicz R.E. (2009), *A third Window, Natural Life beyond Newton and Darwin*, Templeton Foundation Press

UPAC, Union internationale de chimie pure et appliquée (2014), « molecule », in *Goldbook*, disponible en ligne : https://doi.org/10.1351/goldbook.M04002 [consulté le 2019-12-05]

Varela F., Maturana H. et Uribe R. (1974), « Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model », in *Biosystems*, vol.5 n. 4, pp. 187-196

Varela F. (1989), *Autonomie et Connaissance, Essai sur le vivant*, Seuil

Varela F., Thompson E., Rosch E. (1993), *L'inscription corporelle de l'esprit: sciences cognitives et expérience humaine*, Seuil

Varela F. (1996) (1e édition en 1989), *Invitation aux sciences cognitives*, Seuil

Varela F. (2002), « Autopoïèse et émergence ». In *R. Benkinrane (ed.), La complexité, vertiges et promesses. 18 histoires de science*, Editions Le Pommier, pp. 161-176

Varenne F. (2018), *From Models to Simulations*, Routledge

Veldman F. (2007), *L'haptonomie, science de l'affectivité, Redécouvrir l'humain*, PUF

Verdier Y. (1979), *Façon de dire, façons de faire*, Gallimard

Verlaet L. (2015), « La deuxième révolution des systèmes d'information : vers le constructivisme numérique », in *Hermès, La Revue*, n°71, pp.250-256

Verlinde E. (2011), « On the origin of gravity and the laws of Newton », in J*ournal of High Energy Physics*, n° 4, p.29, disponible en ligne : https://doi.org/10.1007/JHEP04(2011)029 [consulté le 2019-12-04]

Vial S. (2012), *La structure de la révolution numérique — philosophie de la technologie*, Thèse de doctorat en philosophie, Université Paris-Descartes

Vieira L. (2015), « Les écosystèmes numériques : le Big Bang. Aux sources des logiques de l'information en réseau », in *Les écosystèmes numériques*,

Agostinelli S. & Koulayan N. (dir.), Presses des Mines, pp. 15-26

Vieira L. (2017), « Intelligence émotionnelle et management de l'information. L'ambivalence des réseaux numériques », in *Revue I.P&M,* n°9, Institut Psychanalyse et Management, pp. 23-38

Vieira L. (2020) « L'intelligence informationnelle : du biomimétisme à l'humanisme numérique », in *Robotique avancée, intelligence artificielle et développement*, Communication, technologies et développement n°8, doi.org/10.4000/ctd.2531

Vion-Dury P. (2016), *La nouvelle servitude volontaire. Enquête sur le projet politique de la Silicon Valley*, Fyp édition

Vitali-Rosati M. (2015), « An editor for academic papers (xml, html, md, TeX, pdf and if you really need it rtf) », in *Culture numérique, pour une philosophie du numérique*, disponible en ligne : http://blog.sens-public.org/marcellovitalirosati/an-editor-for-academic-papers-xml-html-md-tex-pdf-and-if-you-really-need-it-rtf/ [consulté le 2020-12-04]

Waddington C. H. (1961), *The Nature of Life*, George Allen & Unwin

Waddington C. H. (1975), *The Evolution of an Evolutionist*, University of Edinburgh Press

Wagner-Egger P. (2011), « Les canons de la rationalité : essai de classification des points de vue dans le débat sur les biais cognitifs et la rationalité humaine », in *L'Année psychologique*, vol. 111, pp. 191-224

Watzlawick P. (2000), *L'invention de la réalité: comment savons-nous ce que nous croyons savoir ? Contributions au constructivisme*, Seuil

Weiser M. (1991), *The computer for the 21st century*, Scientific American, sept. 1991, Nature Publishing Group

Wheeler J. (1998), Geons, Black Holes, and Quantum Foam, W. W. Norton & Company

Whorf B. L. (1969), *Linguistique et anthropologie*, Denoël

Wilson S. (2002), *Information Arts: Intersections of Art, Science, and Technology*, The MIT Press

Winnicott D.W. (1975), *Jeu et réalité*, Gallimard

Wittgenstein L (1922-1993),*Tractatus logico-philosophicus*, Gallimard

Wood J. (2013), *The creative quartet - a tool for metadesigners*, conférence à TEDxOslo, disponible en ligne : https://youtu.be/9dIQOrVhM5E [consulté le 2020-10-10]

Wurman R. S. (2000), *Information Anxiety 2*, QUE

Zacklad M. (2005), *Processus de documentarisation dans les Documents pour l'Action (DopA): statut des annotations et technologies de la coopération associées (nouvelle version corrigée)*, disponible en ligne : https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001072v2 [consulté le 2020-07-31]

Zacklad M. (2010), « évaluation des systèmes d'organisation des connaissances », in *Les Cahiers du numérique*, vol. 6, Lavoisier, pp. 133 - 166, disponible en ligne : https://www.cairn.info/revue-les-cahiers-du-numerique-2010-3-page-133.htm [consulté le 2020-07-10]

Annexes

Les annexes se composent des programmes informatiques que nous avons développés ou adaptés pour générer certaines illustrations. La version de Processing utilisée est la 3.5.3, en environnement Macintosh[404]. Le tableau T60 indique la correspondance entre les programmes et les illustrations.

T60 — Programmes

Programme	*Illustrations*
Onde organisationnelle	P8 — Projection des hexagones sur la spirale « compacte » P9 – Spirale « développée » P10 — Représentation graphique de l'hypothèse « tao-i »
Horloges	P11 — Horloge Chronos P12 — Horloge Aiôn
Parabole	P15 — Trajectoire parabolique du développement psycho-social de l'humain
Spirale de Fermat	T55 — Sensibilité aux conditions initiales

404. Mac Mini (fin 2014) sous macOS Catalina (version 10.15.2)

Programmes

Onde organisationnelle

```
/** Onde organisationnelle
Eric Lacombe, février 2020
*/
int ufcol = #800000; // attracteur )u) foncé
int uccol = #FFCCCC; // attracteur )u) clair
int mfcol = #204080; // attracteur (m( foncé
int nccol = #CCEEFF; // attracteur (m( clair
int ofcol = #208060; // attracteur (o) foncé
int occol = #CCFFCC; // attracteur (o) clair
int bgcol = #FFFFFF; // fond blanc
int bccol = #F0F0F0; // fond clair
int tfcol = #333333; // texte foncé
int tccol = #FFFFFF; // texte clair
float max= 2160;     // 360° x 6 tours
float r;             // rayon de la spirale
float w,h,x,y;       // largeur, hauteur, coordonnées
int d=18;            // diamètre puce age, taille et calage textes
int i=0;             // incrément=degré (360 par tour)
int c=0;             // compte-tour
int a=0;             // âge
int acol;            // couleur de l'âge
/* ==================== initialisation ==================== */
void setup(){
  fullScreen();
  frameRate(60);
  w = width;
  h = height;
  r = w/8;
  noStroke();
  background (bgcol);
  showAttracteurs();
  showReperes();
  showPeriodes();
}
/* ==================== construction ==================== */
void draw(){
  x = cos(radians(i)/2);     // i au lieu de i/2 pour générer la spirale compacte
  y = sin(radians(i)/2+ PI); // i au lieu de i/2 pour générer la spirale compacte
  textSize(d/2);
  if (i%360 ==  0) { c+=1; acol=ofcol;
    if (c==7) {showFrequence();noLoop(); }                // this is the end...
  }
  if (i%(60/c) == 0) {
    fill(acol);
    ellipse(w/6 - x*r*i/max, h/2 + y*r*i/max,d,d);        // spirale
    ellipse(w/3 + i*w/(2*max), h/2 + y*h*i/(3*max),d,d);  // sinusoïde
    textAlign(CENTER,CENTER);
    fill(tccol);
    text(a,w/6 - x*r*i/max, h/2 + y*r*i/max);             // dans spirale
    text(a,w/3 + i*w/(2*max), h/2 + y*h*i/(3*max));       // dans sinusoïde
    a+=1;
    if (c%2 == 0) { acol=mfcol; } else { acol=ufcol; }    // chg d'attract.
   }
   i = frameCount;
}
/* ==================== information ==================== */
void showAttracteurs(){
  textSize(d*5/4);
// attracteur )u)
  fill(uccol);
  noStroke();
```

```
  triangle(w/3,h/2,5*w/6,h/6,5*w/6,h/2);
  fill(ufcol);
  stroke(ufcol);
  strokeWeight(2);
  line(w/3,h/2,5*w/6,1*h/6);
  strokeWeight(4);
  line(w/3,h/2,5*w/6,5*h/24);
  text("champ d'influence de )u) attracteur
unique",5*w/6+d,5*h/24-h/12,w/6-d,2*h/12);        // sur sinusoïde
  textAlign(RIGHT,CENTER);
  text("attracteur unique )u)",w/6,h/4+d);        // et spirale
// attracteur (m(
  fill(nccol);
  noStroke();
  triangle(w/3,h/2,5*w/6,5*h/6,5*w/6,h/2);
  fill(mfcol);
  stroke(mfcol);
  strokeWeight(2);
  line(w/3,h/2,5*w/6,5*h/6);
  strokeWeight(4);
  line(w/3,h/2,5*w/6,19*h/24);
  textAlign(LEFT,CENTER);
  text("(m( attracteur multiple",w/6,3*h/4-d);    // sur spirale
  text("champ d'influence de (m( attracteur multiple",5*w/6+d,19*h/24-h/12,w/6-
d,2*h/12);   // et sinusoide
// attracteur (o)
  fill(ofcol);
  text("(o) attracteur organisationnel",5*w/6+d,h/2-h/12,w/6-d,2*h/12);
  strokeWeight(4);
  stroke(ofcol);
  line(w/3,h/2,5*w/6,8*h/24);
  line(w/3,h/2,5*w/6,16*h/24);
}
void showReperes(){
// Rayons spirale
  stroke(ufcol);
  line(w/6,h/2,w/6-cos(PI/3)*r,h/2-sin(PI/3)*r);  // rayon )u) gauche
  stroke(mfcol);
  line(w/6,h/2,w/6+cos(PI/3)*r,h/2+sin(PI/3)*r);  // rayon (m( droite
  stroke(ofcol);
  line(w/6,h/2,w/6+sin(PI/3)*r,h/2-cos(PI/3)*r);  // rayon (o) haut droit
  line(w/6,h/2,w/6-sin(PI/3)*r,h/2+cos(PI/3)*r);  // rayon (o) bas gauche
  strokeWeight(1);                                // champ mini
  stroke(ufcol);
  line(w/6,h/2,w/6+cos(PI/3)*r,h/2-sin(PI/3)*r);  // rayon )u) droite
  stroke(mfcol);
  line(w/6,h/2,w/6-cos(PI/3)*r,h/2+sin(PI/3)*r);  // rayon (m( gauche
  stroke(ofcol);
  line(w/6,h/2,w/6-sin(PI/3)*r,h/2-cos(PI/3)*r);  // rayon (o) haut gauche
  line(w/6,h/2,w/6+sin(PI/3)*r,h/2+cos(PI/3)*r);  // rayon (o) bas droit
  strokeWeight(2);                                // champ médian
  stroke(ufcol);
  line(w/6,7*h/24,w/6,h/2);                       // rayon (u) haut
  stroke(mfcol);
  line(w/6,h/2,w/6,17*h/24);                      // rayon (m( bas
  stroke(ofcol);
  line(w/32,h/2,5*w/6,h/2);                       // base, sur sinusoïde
// Phases
  line(w/3+0*w/12,h/16,w/3+0*w/12,2*h/3);         //   0 an
  strokeWeight(1);
  line(w/3+1*w/48,h/6,w/3+1*w/48,2*h/3);          //  18 mois
  line(w/3+1*w/24,h/6,w/3+1*w/24,2*h/3);          //   3 ans
  line(w/3+1*w/12,h/6,w/3+1*w/12,2*h/3);          //   6 ans
  line(w/3+3*w/24,h/10,w/3+3*w/24,2*h/3);         //  12 ans
  strokeWeight(2);
  line(w/3+2*w/12,h/16,w/3+2*w/12,3*h/4);         //  18 ans
  strokeWeight(1);
  line(w/3+3*w/12,h/6,w/3+3*w/12,3*h/4);          //  36 ans
  strokeWeight(2);
```

```
  line(w/3+4*w/12,h/16,w/3+4*w/12,5*h/6);         //  60 ans
  strokeWeight(1);
  line(w/3+5*w/12,h/6,w/3+5*w/12,5*h/6);          //  90 ans
  noStroke();
}
void showPeriodes(){
// Antiquité
  textSize(d*5/4);
  fill(tfcol);
  textAlign(RIGHT,CENTER);
  text("Antiquité ",w/3,h/16);
  textAlign(CENTER,CENTER);
  text("1. jeunesse",w/3+1*w/12,h/16);
  text("2. âge adulte",w/3+3*w/12,h/16);
  text("3. vieillesse",w/3+5*w/12,h/16);
// Pythagore
  textSize(d);
  textAlign(RIGHT,CENTER);
  text("Pythagore ",w/3,h/10);
  textAlign(CENTER,CENTER);
  text("1. enfance",w/3+3*w/48,h/10);
  text("2.   ",w/3+7*w/48,h/10);
  push();
  translate(w/3,h/2);
  rotate(HALF_PI);
  textAlign(LEFT,BOTTOM);
  text("adolescence",h/10-h/2,-7*w/48);
  pop();
  text("3. maturité",w/3+3*w/12,h/10);
  text("4. vieillesse",w/3+5*w/12,h/10);
// Erikson
  textSize(d*4/5);
  textAlign(RIGHT,CENTER);
  text("Erikson ",w/3,h/6);
  text("Freud ",w/3,3*h/10);
  push();
  translate(w/3,h/2);
  rotate(HALF_PI);
  smooth(3);
  textAlign(LEFT,CENTER);
  text("1. espoir",-h/3,0-d);
  text("2. volonté",-h/3,-1*w/48-d);
  text("3. conviction",-h/3,-2*w/48-d);
  text("4. compétence",-h/3,-4*w/48-d);
  text("5. fidélité",-h/3,-6*w/48-d);
  text("6. amour",-h/3,-8*w/48-d);
  text("7. attention",-h/3,-12*w/48-d);
  text("8. sagesse",-h/3,-16*w/48-d);
  text("9. transcendance",-h/3,-20*w/48-d);
// Freud
  text("1. stade oral",-h/5,0-d);
  text("2. stade anal",-h/5,-1*w/48-d);
  text("3. stade phallique",-h/5,-2*w/48-d);
  text("4. période de latence",-h/5,-4*w/48-d);
  text("5. stade génital",-h/5,-6*w/48-d);
  pop();
  }
void showFrequence() {
// durées
  textAlign(CENTER,CENTER);
  fill(ufcol);
  ellipse(w/3+1*w/24,h/2,w/12-d,4*d/5);    //  6 années
  ellipse(w/3+5*w/24,h/2,w/12-d,4*d/5);    // 18 années
  ellipse(w/3+9*w/24,h/2,w/12-d,4*d/5);    // 30 années
  fill(mfcol);
  ellipse(w/3+3*w/24,h/2,w/12-d,4*d/5);    // 12 années
  ellipse(w/3+7*w/24,h/2,w/12-d,4*d/5);    // 24 années
  ellipse(w/3+11*w/24,h/2,w/12-d,4*d/5);   // 36 années
  fill(bgcol);
```

```
  textSize(d*3/4);
  text("6 ans",w/3+1*w/24, h/2 -2);
  text("18 ans",w/3+5*w/24,h/2 -2);
  text("30 ans",w/3+9*w/24,h/2 -2);
  text("12 ans",w/3+3*w/24,h/2 -2);
  text("24 ans",w/3+7*w/24,h/2 -2);
  text("36 ans",w/3+11*w/24,h/2 -2);
// fréquences
  stroke(ofcol);
  fill(tfcol);
  textSize(d*4/5);
  textAlign(CENTER,TOP);
  line(w/3,2*h/3,w/3+w/6,2*h/3);
  text("période 1, fréquence 1.76 nHz ",w/3+1*w/12, 2*h/3);
  line(w/3+w/6,3*h/4,w/3+2*w/6,3*h/4);
  text("période 2, fréquence 0.75 nHz ",w/3+3*w/12, 3*h/4);
  line(w/3+2*w/6,5*h/6,w/3+3*w/6,5*h/6);
  text("période 3, fréquence 0.44 nHz ",w/3+5*w/12, 5*h/6);
  textSize(d/2);                        // affichage du 126
}
```

Horloges

```
/** Chronos & Aion
Eric Lacombe, février 2020
adaptation à partir d'un exemple : https://processing.org/examples/clock.html
*/

int uccol = #FFCCCC; // attracteur )u) clair
int mccol = #CCEEFF; // attracteur (m( clair
int tfcol = #333333; // texte foncé
int cx, cy;
float secondsRadius;
float clockDiameter;

/* ========== CHRONOS ========== */
int[] angles = { int(6.5*360/126), int(12.5*360/126), int(18*360/126),
int(24.5*360/126), int(30*360/126), int(36*360/126)};

/* ==== AION décommenter la suivante et commenter la précédente pour AION ==== */
//int[] angles = { 60, 60, 60, 60, 60, 60};

void setup() {
  fullScreen();
  stroke(255);
  int radius = min(width, height) / 3;
  secondsRadius = radius * 0.7;
  clockDiameter = radius * 1.5;
  cx = width / 2;
  cy = height / 2;
  }

void draw() {
  background(255);
  pieChart(clockDiameter, angles);
  for (int a = 0; a < 360; a+=3) {
    float angle = radians(a);
    float xs = cx + cos(angle-HALF_PI) * secondsRadius*1.2;
    float ys = cy + sin(angle-HALF_PI) * secondsRadius*1.2;
    textAlign(CENTER,CENTER);
    textSize(10);
    fill(tfcol);
    text(a*126/360,xs,ys);
    }
   }
void pieChart(float diameter, int[] data) {
  float lastAngle = -HALF_PI;
  for (int i = 0; i < data.length; i++) {
    if(i%2==0){fill(uccol);}else{fill(mccol);}
    arc(width/2, height/2, diameter, diameter, lastAngle,
lastAngle+radians(data[i]));
    lastAngle += radians(data[i]);
    fill(tfcol);
    textSize(30);
    textAlign(CENTER,CENTER);

/* ========== décommenter la ligne suivante pour AION uniquement ========== */
//    text(((i*(i+1)*3)+((i+2)*(i+1)*3))/2,width/2 + diameter*0.61*cos(lastAngle-
PI/6), height/2 + diameter*0.61*sin(lastAngle-PI/6));

    text((i+2)*(i+1)*3,width/2 + diameter*0.61*cos(lastAngle), height/2 +
diameter*0.61*sin(lastAngle));
    }
   }
```

Parabole

```
/** Parabole humaine
Eric Lacombe, février 2020
*/

float y = 0;
float a = 1/147 ;
float f = 147/4 ;
int age[] = {0,21,42,63,84,105,126};    // pour {0,6,18,36,60,90,126};

void setup(){
  size(600,600);
  background(255);                      // blanc
  smooth();
  /* ==================== le repère ==================== */
  translate (width/5,height/5);
  stroke(#CCCCCC);                      // gris
  fill(#CCCCCC);
  line(0,0,280,0);                      // axe des abscisses (x)
  text("x", 285,4);
  line(0,0,0,350);                      // axe des ordonnées (y)
  text("y", -4,360);
  /* ====== la courbe, d'équation y = ax^2 + bx, avec a=1/147 et b=1/7 ====== */
  for (int x= 0; x <150; x++) {
    y =sq(x)*1/147 + x/7;
    stroke(#208060);                    //vert
    if (x>126) {stroke(#CCCCCC);}
    ellipse(2*x,2*y,1,1);
    for (int i=0; i < age.length; i++) {
        if (x == age[i]) {
          stroke(#800000);
          line(0,2*f,2*x,2*y);          // distance au foyer
          stroke(#204080);
          line(2*x,-2*f,2*x,2*y);       // distance à la directrice
          fill(#208060);
          text (int(y),2*x+1,2*y-2);
        }
    }
  }
  /* ==================== la directrice ==================== */
  fill(#204080);                        //bleu
  stroke(#204080);
  strokeWeight(3);
  line(0,-2*f,252,-2*f);
  /* ====== le foyer, de coordonnées (0, 1/(4*a)) ====== */
  text("Directrice = attracteur multiple", 0,-10-2*f);
  noStroke();
  fill(#800000);                        //rouge
  ellipse(0,2*f,6,6);
  text("Foyer", -10,100);
  text("= attracteur", -30,115);
  text("unique", -10,130);
}
void draw (){
}
```

Spirale de Fermat

```
 /** Spirale de Fermat
 author : Anita Lillie, 2007
 site : http://flyingpudding.com
 source : http://flyingpudding.com/projects/florets/applet/
 adaptation : Eric Lacombe, février 2020
 // déconnexion d'un ensemble de fonctions non utiles à notre démonstration
interface : viz + UI
paramètres et valeurs par défauts :
  angleScrollbar         setAngle=88               // seed angle
  angleStepScrollbar
  frameRateScrollbar
  numDiscsScrollbar      numFlorets = 160 > 126    // number of disc
  stretchFactorScrollbar stretchFactor = 10 > 20   // zoom
  fadeMinScrollbar
  fadeMaxScrollbar
  dotMinSizeScrollbar    dotSizeMin = 0
  dotMaxSizeScrollbar    dotSizeMax = 15
variables :
  boolean readyToDrawNew(int timeBtwDraws)
  float closestHalf(float in)
  float closestTenth(float in)
fonctions
  drawFlorets(int numFlorets, float angle, float stretchFactor, int smallestSize,
int largestSize, int fadeMinMillisPerCycle, int fadeMaxMillisPerCycle)
objets de l'UI : (vers 260)
  class HScrollbar
  class ToggleButton extends Button
  class Button
  class RectButton extends Button
  class RectToggleButton extends ToggleButton
 */

 HScrollbar angleScrollbar, angleStepScrollbar, frameRateScrollbar,
numDiscsScrollbar, stretchFactorScrollbar;
 HScrollbar fadeMinScrollbar, fadeMaxScrollbar, dotMinSizeScrollbar,
dotMaxSizeScrollbar;
 RectToggleButton loopAngleButton, fadeButton;
 RectButton goldenAngleButton;
 int i = 0;
 int cyc=1;  //EL ajout de variables pour gérer les cycles
 int pas = 6; //EL
 int UIWidth = 610; // EL 410 (modification de valeurs d'origine)
 int vizWidth = 610;//EL 510
 int screenWidth = vizWidth + UIWidth;
 int screenHeight = vizWidth;
 int UIStartWidth = vizWidth;
 int UIStartHeight = 10;
 int vizStartWidth = 0;
 int vizStartHeight = 0;
 float currentAngle = 0.0;
 float goldenAngle = 137.5;  //or 222.5
 int timeLastDrawn = 0;
 int timeFadeStarted = 0;
 boolean wantFade = false;
int sbChunkSize = 45;  // amt of vert space allowed for each horiz scrollbar, used
for layout in setup()

void setup()
{
//+ fullScreen();
  size(1200, 700);

//EL size(screenWidth, screenHeight);
  smooth();
  ellipseMode(CENTER);
//  frameRate(100);
```

```
//  noStroke();
//  noLoop();


  // draw the line between display area and UI.  dammit WTF?!
//  stroke(255);
//  line(0, UIStartHeight,screenWidth,UIStartHeight);


//EL  PFont fontA = loadFont("Courier-14.vlw");
  // Set the font and its size (in units of pixels)
//EL  textFont(fontA);


 // Define and create horizontal scrollbars
  int thickerHSHeight = 14;
  int thinnerHSHeight = 14;

  angleScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight, UIWidth,
thickerHSHeight, 1, 0, 360, 20);
  angleStepScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight+sbChunkSize*2,
UIWidth, thinnerHSHeight, 1, 0, 360, 0);
  frameRateScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight+sbChunkSize*3,
UIWidth, thinnerHSHeight, 1, 25, 2000, 50);
  numDiscsScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight+sbChunkSize*5,
UIWidth, thickerHSHeight, 1, 1, 2000, 127);
  stretchFactorScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight+sbChunkSize*6,
UIWidth, thickerHSHeight, 1, 1, 20, 20);
  fadeMinScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight+sbChunkSize*9,
UIWidth/2-10, thickerHSHeight, 1, 20, 6000, 2500);
  fadeMaxScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth, UIStartHeight+sbChunkSize*10,
UIWidth/2-10, thickerHSHeight, 1, 20, 6000, 4500);
  dotMinSizeScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth + UIWidth/2+10,
UIStartHeight+sbChunkSize*9, UIWidth/2-10, thickerHSHeight, 1, 1, 30, 20);
  dotMaxSizeScrollbar = new HScrollbar(UIStartWidth + UIWidth/2+10,
UIStartHeight+sbChunkSize*10, UIWidth/2-10, thickerHSHeight, 1, 1, 30, 20);

 // Define and create buttons
  color buttoncolor = color(255);//EL 102
  color highlight = color(51);
  int buttonSize = 15;
  loopAngleButton = new RectToggleButton(UIStartWidth,
int(UIStartHeight+sbChunkSize*1.3), buttonSize, buttoncolor, highlight, "loop
through angles?");
  goldenAngleButton = new RectButton(UIStartWidth + UIWidth-buttonSize-2,
UIStartHeight + 12, buttonSize, buttoncolor, highlight, "go to golden angle");  //("
+ goldenAngle + ")" + '\u00B0');
  fadeButton = new RectToggleButton(UIStartWidth,
int(UIStartHeight+sbChunkSize*8.3), buttonSize, buttoncolor, highlight, "fade
discs?");

  timeLastDrawn = millis();
}

void draw()
{
  background(255); //EL 0

  float setAngle = angleScrollbar.getTrueValue();
//closestHalf(angleScrollbar.getPos());
  if (setAngle!=137.5) { //special case: allow non-int angles *only* if user has
selected golden angle .. other "irrationals" would be good, too
    setAngle = int(setAngle);
  }

  float angleStepSize = int(angleStepScrollbar.getTrueValue());
//closestTenth((log(angleStepScrollbar.getTrueValue()) / log(10)) * 120.0);
  if (angleStepSize==0) { angleStepSize=0.03; }  //a hack to get a small value that
makes the animation smooth (instead of just 0.0, which isn't very interesting)
```

```
  int frameRatePauseMillis = int(frameRateScrollbar.getTrueValue());
  int numFlorets = int(numDiscsScrollbar.getTrueValue());
  float stretchFactor = int(stretchFactorScrollbar.getTrueValue());
  int fadeMinRate = int(fadeMinScrollbar.getTrueValue());
  int fadeMaxRate = int(fadeMaxScrollbar.getTrueValue());
  int dotSizeMin = int(dotMinSizeScrollbar.getTrueValue());
  int dotSizeMax = int(dotMaxSizeScrollbar.getTrueValue());

  float loopStepValue = angleStepSize;  //radians(angleStepSize);
  angleScrollbar.update();
  if (!loopAngleButton.value) {
    angleScrollbar.display("seed angle: " + setAngle + '\u00B0');
  } else {
    float tempAngle = currentAngle + loopStepValue;
    angleScrollbar.display("seed angle: " + currentAngle + '\u00B0');  //hack: if we
show setAngle while looping, we don't allow non-ints, which we could get by starting
with the golden angle :P  so let's allow this here, only if we're looping.
  }
  angleStepScrollbar.update();
  angleStepScrollbar.display("looping angle step size: " + angleStepSize + '\
u00B0');
  frameRateScrollbar.update();
  frameRateScrollbar.display("looping frame rate: " + closestTenth(1000.0 /
frameRatePauseMillis) + " fps");
  numDiscsScrollbar.update();
  numDiscsScrollbar.display("number of discs: " + numFlorets);
  stretchFactorScrollbar.update();
  stretchFactorScrollbar.display("zoom: " + stretchFactor);
  loopAngleButton.update();
  loopAngleButton.display(false);
  goldenAngleButton.update();
  goldenAngleButton.display(true);

  // DOT SIZE sliders
//EL  fill(255);
  text("disc size range:", UIStartWidth + 0.5*UIWidth + 10,
int(UIStartHeight+sbChunkSize*8.3)+16);
  dotMinSizeScrollbar.update();
  dotMaxSizeScrollbar.update();
  if (dotSizeMax<dotSizeMin) {    //min and max sliders need to affect each other
    // if max is too small, bump it up to where min dictates it should be
    dotMaxSizeScrollbar.sposMin = int(dotMaxSizeScrollbar.setPos(dotSizeMin,
"outermost diam: " + dotSizeMin + " px"));
    dotMaxSizeScrollbar.spos = constrain(dotMaxSizeScrollbar.sposMin,
dotMaxSizeScrollbar.sposMin, dotMaxSizeScrollbar.sposMax);
  } else {
    //  .. otherwise, just update the minimum allowed for max size
    dotMaxSizeScrollbar.sposMin = int(dotMaxSizeScrollbar.getEquivPos(dotSizeMin)) +
dotMaxSizeScrollbar.xpos;
  }
  dotMinSizeScrollbar.display("innermost diam: " + dotSizeMin + " px");
  dotMaxSizeScrollbar.display("outermost diam: " + dotSizeMax + " px");

  // FADE RATE sliders
  fadeMinScrollbar.update();
  fadeMaxScrollbar.update();
  if (fadeMaxRate<fadeMinRate) {    //min and max sliders need to affect each other
    // if max is too small, bump it up to where min dictates it should be
    fadeMaxScrollbar.sposMin = int(fadeMaxScrollbar.setPos(fadeMinRate, "outermost
rate: " + closestTenth(fadeMinRate/1000.0)));
      fadeMaxScrollbar.spos = constrain(fadeMaxScrollbar.sposMin,
fadeMaxScrollbar.sposMin, fadeMaxScrollbar.sposMax);
} else {
    //  .. otherwise, just update the minimum allowed for max rate
    fadeMaxScrollbar.sposMin = int(fadeMaxScrollbar.getEquivPos(fadeMinRate)) +
fadeMaxScrollbar.xpos;
  }
  fadeMinScrollbar.display("innermost rate: " + closestTenth(1000.0/fadeMinRate));
  fadeMaxScrollbar.display("outermost rate: " + closestTenth(1000.0/fadeMaxRate));
```

```
  fadeButton.update();
  fadeButton.display(false);


  if (fadeButton.value) {
    if (!wantFade) { timeFadeStarted = millis(); }  // if this is the first time to
start fade, start the timer
    wantFade = true;
    fadeMinScrollbar.isActive = true;
    fadeMaxScrollbar.isActive = true;
  } else {
    wantFade = false;
    fadeMinScrollbar.isActive = false;
    fadeMaxScrollbar.isActive = false;
  }


  // BUTTONS and LOOPING SHIZZ
  if (goldenAngleButton.pressed()) {
    currentAngle = goldenAngle;  //radians(goldenAngle);
    angleScrollbar.setPos(goldenAngle, "seed angle: " + goldenAngle + '\u00B0');
  }
  else if (!loopAngleButton.value) {
    angleStepScrollbar.isActive = false;
    frameRateScrollbar.isActive = false;
    currentAngle = setAngle;  //radians(setAngle);
    drawFlorets(numFlorets,radians(setAngle),stretchFactor, dotSizeMin, dotSizeMax,
fadeMinRate, fadeMaxRate);
  } else {
    angleStepScrollbar.isActive = true;
    frameRateScrollbar.isActive = true;
    if (readyToDrawNew(frameRatePauseMillis)) {
      currentAngle+=loopStepValue;
      currentAngle = currentAngle%360;  //currentAngle%(2*PI);
      float newAngleForDisplay = currentAngle;
//closestTenth(degrees(currentAngle));
      angleScrollbar.setPos(newAngleForDisplay, "seed angle: " + newAngleForDisplay
+ '\u00B0');
      timeLastDrawn = millis();
    }

    drawFlorets(numFlorets, radians(currentAngle), stretchFactor, dotSizeMin,
dotSizeMax, fadeMinRate, fadeMaxRate);

  }

}

boolean readyToDrawNew(int timeBtwDraws) {
    return ( (millis() - timeLastDrawn) >= timeBtwDraws );
}

float closestHalf(float in) {
   if ((0.25 < (in - int(in))) && ((in - int(in)) < 0.75))  {
     float out = int(in) + 0.5;
     return out;
   }
   return int(in);
}

float closestTenth(float in) {
    int temp = int(in*10);
    return (temp/10.0);
}

void drawFlorets(int numFlorets, float angle, float stretchFactor, int smallestSize,
int largestSize, int fadeMinMillisPerCycle, int fadeMaxMillisPerCycle)
{
    float originX = vizStartWidth + 0.5*vizWidth;
```

```
    float originY = screenHeight/2.0;

    // draw gray dot at origin
//    fill(255,0,0);
//    ellipse(originX, originY, 20, 20);
    float c = stretchFactor;

//    fill(255);    //all the rest of the dots are in white

    float discDiameter = 1.0;
    for(int i=0; i < numFlorets; i++) {

        float radius = c * sqrt(i);//EL sqrt(i);
        float currentAngleMult = i * angle;

        float y = -1 * radius * sin(currentAngleMult);
        float x = radius * cos(currentAngleMult);

        float drawX = originX + x;
        float drawY = originY + y;

        // determine the color of this dot: depends on disc number
        int fillColor = 0;//EL255;
        if (wantFade) {
            float millisPerCycle = fadeMinMillisPerCycle + (i/float(numFlorets)) *
(fadeMaxMillisPerCycle - fadeMinMillisPerCycle);  //this isn't exact, but it's close
enough for now
            float numCyclesCompleted = (millis() - timeFadeStarted)/millisPerCycle;
            numCyclesCompleted = numCyclesCompleted - int(numCyclesCompleted);  //
we only care about the non-int part, since each rotation/cycle is the same
            fillColor = int(((cos(numCyclesCompleted*2*PI)+1) / 2.0) * 255);
//((cos(numCyclesCompleted*2*PI) + 1) / 2.0) * 255
        }
        fill(fillColor);
        stroke(fillColor);
        discDiameter = smallestSize + (i/float(numFlorets)) * (largestSize -
smallestSize);  //this isn't exact, but it's close enough for now
// EL couleurs
 if (cyc > 6) {cyc=1;pas=6;}
 noStroke();
 fill(0,128,0);
 if (i != 0) {
   if (cyc%2 == 0) {fill(0,0,128); } else { fill(128,0,0);}
   if (i%(pas) == 0) {cyc+=1;pas=pas+6*cyc;fill(0,128,0);}
 }
/* print(" i=",i);
 print(" c=",cyc);
 print(" p=",pas,"\n") ;
 */
         //draw the disc/floret IFF it sits within the viz window
        if ((vizStartWidth<=drawX) && (drawX<=vizStartWidth+vizWidth) &&
            (vizStartHeight<=drawY) && (drawY<=vizStartHeight+vizWidth)) {
              ellipse(drawX, drawY, discDiameter, discDiameter);
// EL textes
          fill(255);
          textSize(10);
          textAlign(CENTER,CENTER);
          text(i,drawX, drawY);
          fill(fillColor);
          textSize(12);
     }
    }

    // now reset the stroke color
    stroke(255);
}
class HScrollbar
{
  int swidth, sheight;    // width and height of bar
```

```
  int xpos, ypos;         // x and y position of bar
  float spos, newspos;    // x position of slider
  int sposMin, sposMax;   // max and min values of slider
  int loose;              // how loose/heavy
  boolean over;           // is the mouse over the slider?
  float lowestValue;      // lowest/leftmost spos equals this
  float highestValue;      // highest/rightmost spos equals this
  boolean locked;
  float ratio;
  boolean isActive;
  float trueValue;

  HScrollbar (int xp, int yp, int sw, int sh, int l, float lv, float hv, float
defaultPos) {
    swidth = sw;
    sheight = sh;
    int widthtoheight = sw - sh;
    ratio = (float)sw / (float)widthtoheight;
    xpos = xp;
    ypos = yp-sheight/2;
    spos = xpos + swidth/2 - sheight/2;
    newspos = spos;
    sposMin = xpos;
    sposMax = xpos + swidth - sheight;
    loose = l;    //make this value larger if want the slider to "glide" more slowly
to cursor location
    lowestValue = lv;
    highestValue = hv;
    isActive = true;
    this.setPos(defaultPos, " ");
    trueValue = defaultPos;
  }

  void setTrueValue(float tv) {
     trueValue = tv;
  }

  float getTrueValue() {
     return trueValue;
  }

  void update() {

    if(over()) {
      over = true;
    } else {
      over = false;
    }
    if(mousePressed && over) {
      locked = true;
    }
    if(!mousePressed) {
      locked = false;
    }
    if(locked) {
      newspos = constrain(mouseX-sheight/2, sposMin, sposMax);
      spos = spos + (newspos-spos)/loose;
    }
    trueValue = this.getPos();

  }

  int constrain(int val, int minv, int maxv) {
    return min(max(val, minv), maxv);
  }

  boolean over() {
    if(mouseX > xpos && mouseX < xpos+swidth &&
    mouseY > ypos && mouseY < ypos+sheight) {
```

```
      return true;
    } else {
      return false;
    }
  }

  void display(String label) {
    if (isActive) {
      fill(0); //EL 255
    } else {
      fill(255); //EL 51
    }
    text(label, xpos, ypos+sheight*2.2);
    rect(xpos, ypos, swidth, sheight);
    if(over || locked) {
      fill(255, 0, 255);
    } else {
      fill(255, 255, 255);// EL fill(102, 102, 102)
    }
    rect(spos, ypos, sheight, sheight);
  }

  float getPos() {
    // Convert spos to be values between
    // lowest and highest allowable values, scaled linearly with horiz position
    if (xpos>spos) { return lowestValue; }
    return (lowestValue + (highestValue-lowestValue) * (spos-xpos) / float(swidth-
sheight));
  }

  // this just does the inverse of getPos(), above.  you give it a value and it
moves the slider to that position.
  float setPos(float value, String label) {
    spos = (value * float(swidth-sheight) - lowestValue) / (highestValue -
lowestValue) + xpos;
    this.display(label);
    trueValue=value;
    return spos;
  }

  // this is just like setPos() above, except it doesn't move the slider or change
the position.
  float getEquivPos(float value) {
    return ((value * float(swidth-sheight) - lowestValue) / (highestValue -
lowestValue));
  }
}

class ToggleButton extends Button {
  boolean value = false;

  void update()
  {
    if(over()) {
      currentcolor = highlightcolor;
    }
    else {
      currentcolor = basecolor;
    }
    if(mousePressed && over() && !locked) {
      locked = true;
      value = !value;
 //     println(value);
    }
    if(!mousePressed) {
      locked = false;
    }
  }
}
```

```
class Button
{
  int x, y;
  int size;
  color basecolor, highlightcolor;
  color currentcolor;
  boolean over = false;
  boolean locked = false;
  String label = "";

  void update()
  {
    if(over()) {
      currentcolor = highlightcolor;
    }
    else {
      currentcolor = basecolor;
    }
    if(mousePressed && over() && !locked) {
      locked = true;
    }
    if(!mousePressed) {
      locked = false;
    }
  }
  boolean pressed()
  {
    if(!mousePressed) { return false; }
    if(over) {
      locked = true;
      return true;
    }
    else {
      locked = false;
      return false;
    }
  }

  boolean over()
  {
    return true;
  }
  boolean overRect(int x, int y, int width, int height)
  {
    if (mouseX >= x && mouseX <= x+width &&
      mouseY >= y && mouseY <= y+height) {
      return true;
    }
    else {
      return false;
    }
  }
}

class RectButton extends Button
{
  RectButton(int ix, int iy, int isize, color icolor, color ihighlight, String l)
  {
    x = ix;
    y = iy;
    size = isize;
    basecolor = icolor;
    highlightcolor = ihighlight;
    currentcolor = basecolor;
    label = l;
  }
  boolean over()
  {
```

```
    if( overRect(x, y, size, size) ) {
      over = true;
      return true;
    }
    else {
      over = false;
      return false;
    }
  }
  void display(boolean textBefore)
  {
    fill(0); // EL 255
    if (textBefore) {
      text(label, x - label.length() * 8.3, y+size);
    } else {
      text(label, x + size + 9, y+size);
    }

    stroke(255);
    fill(currentcolor);
    rect(x, y, size, size);
  }
}


class RectToggleButton extends ToggleButton
{
  RectToggleButton(int ix, int iy, int isize, color icolor, color ihighlight, String
l)
  {
    x = ix;
    y = iy;
    size = isize;
    basecolor = icolor;
    highlightcolor = ihighlight;
    currentcolor = basecolor;
    label = l;
  }
  boolean over()
  {
    if( overRect(x, y, size, size) ) {
      over = true;
      return true;
    }
    else {
      over = false;
      return false;
    }
  }
  void display(boolean textBefore)
  {
    fill(0);//EL 255
    if (textBefore) {
      text(label, x - label.length() * 9, y+size);
    } else {
      text(label, x + size + 9, y+size);
    }
    stroke(255);
    fill(currentcolor);
    rect(x, y, size, size);
    if (value) {
        line(x,y,x + size, y + size);
        line(x,y+size, x+size, y);
    }
  }
}
```

