



HAL
open science

**Une promesse plausible pour la symbiose territoriale.
Étude théorique et expérimentale de l'initiation de
démarches de gestion concertée des produits résiduaire
organiques.**

Nicolas Bijon

► **To cite this version:**

Nicolas Bijon. Une promesse plausible pour la symbiose territoriale. Étude théorique et expérimentale de l'initiation de démarches de gestion concertée des produits résiduaire organiques.. Environnement et Société. IMT - MINES ALES - IMT - Mines Alès Ecole Mines - Télécom, 2022. Français. NNT : 2022EMAL0006 . tel-04368446

HAL Id: tel-04368446

<https://theses.hal.science/tel-04368446>

Submitted on 1 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR
DE L'INSTITUT MINES-TELECOM (IMT) –
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES D'ALÈS (IMT MINES ALÈS)**

En Environnement, Territoires et Sociétés

École doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau

Unités de recherche Recyclage et Risques et HydroSciences Montpellier

**Une promesse plausible pour la symbiose territoriale.
Étude théorique et expérimentale de l'initiation de
démarches de gestion concertée des produits résiduaux
organiques.**

Présentée par Nicolas BIJON

Le 08 novembre 2022

**Sous la direction de Tom WASSENAAR
et Guillaume JUNQUA**

Devant le jury composé de

Nadège TROUSSIER, professeure, Arts et Métiers
Rémi BARBIER, professeur, ENGEES
Valérie LAFOREST, directrice de recherche, EMSE
Olivier BARRETEAU, directeur de recherche, INRAE
Julie WOHLFAHRT, chargée de recherche, INRAE
Tom WASSENAAR, chargé de recherche, Cirad
Guillaume JUNQUA, Maître assistant, IMT Mines Alès
Magali DECHESNE, docteure, Veolia Recherche et Innovation

Présidente
Rapporteur
Rapporteuse
Examinateur
Examinatrice
Direction de thèse
Codirection de thèse
Co-encadrante de thèse



A celles et ceux qui cherchent à rendre le monde meilleur

Résumé / Abstract

Résumé

L'agriculture industrielle du XXI^e siècle est dépendante de nutriments apportés par des engrais de synthèse produits à partir de ressources non renouvelables, alors que ces mêmes nutriments sont présents dans les Produits Résiduaux Organiques (PRO) dont la gestion entraîne des contraintes logistiques et environnementales. Il existe des territoires, comme celui de la plaine de Versailles, comprenant l'amont et l'aval d'une telle rupture métabolique. Cette situation dérive du fonctionnement non concerté des acteurs qui produisent, transforment et utilisent les PRO, formant le système sociotechnique de gestion des PRO (SGPRO). L'objectif de ces travaux est d'identifier les leviers d'initiation d'une démarche de concertation, que nous nommons symbiose territoriale, en se basant sur le cadre théorique de la promesse plausible. Cette dernière correspond au discours formulé par un acteur initiateur confronté à une situation donnée, visant à mobiliser un ensemble d'acteurs-cibles dans une réponse collective à cette situation. La problématique est étudiée de manière interdisciplinaire, selon deux grandes phases. Une analyse de cas d'étude de symbioses industrielles permet de consolider le cadre théorique des objets d'étude. Cette phase inclut une revue de littérature de cas d'étude de symbioses industrielles au niveau international, et une campagne d'entretiens réalisée auprès d'animateurs de démarches d'écologie industrielle et territoriale en France. Elle décrit, caractérise et illustre les éléments théoriques centraux – notamment les schémas de synergies bioéconomiques, la notion de système-territoire, une typologie de “mythes rationalisés” – nécessaires à la conception d'une symbiose territoriale et d'une promesse plausible. Une deuxième phase assemble ces éléments théoriques afin d'étudier une situation particulière, celle de la plaine de Versailles. Cette étude est composée d'une étape visant à caractériser le fonctionnement actuel du SGPRO, d'une étape de conception technique visant à modéliser des possibles évolutions de ce système, et d'une étape de mise à l'épreuve visant à présenter une gamme de promesses plausibles aux acteurs du système-territoire. La phase compréhensive met en évidence que le SGPRO est constitué de deux sous-systèmes : un système d'interactions physiques au sein duquel des acteurs manipulent matériellement les PRO et effectuent des choix d'affectation (mode de collecte, mode de traitement, mode d'utilisation...), et un système d'influence au sein duquel des acteurs modifient les choix d'affectation autrement que par une action matérielle (pression sociale, réglementation, sensibilisation...). La phase de conception propose un cadre d'analyse technique pour évaluer a priori les performances de scénarios de symbioses territoriales, par l'association d'hypothèses d'affectation des PRO et d'hypothèses de transformation. La mise à l'épreuve de promesses plausibles intégrant ces scénarios prospectifs montre que la capacité des promesses plausibles à mobiliser les acteurs – leur performativité – dépend de leur niveau de spécification et de leur horizon temporel. Les promesses plausibles les moins spécifiques se montrent notamment plus performatives que des promesses plausibles plus détaillées à un horizon temporel lointain. Ces résultats indiquent qu'il n'est pas nécessaire pour un acteur initiateur d'avoir une représentation extrêmement précise du fonctionnement technique du système-territoire pour mobiliser des acteurs dans une concertation. De manière plus générale, cette thèse propose une réflexion globale sur la symbiose territoriale bioéconomique et offre une meilleure compréhension sur l'initiation et l'évolution des démarches d'innovation collective. Au travers de ces objets, elle questionne les liens science-société, et le rôle de la connaissance dans la transition écologique.

Abstract

The XXIst century's industrial agriculture is dependent on nutrients provided by synthetic fertilizers made from non-renewable resources. On the other hand, these same nutrients are contained in organic residues, of which the management results in logistical and environmental burden. Territories like the "plaine de Versailles" (FR) include both sides of this metabolic rift. This situation stems from the non-concerted actions of organic waste producers, transformers and users, constituting the core of the sociotechnical organic waste management system (OWMS). The purpose of this work is to identify the levers for initiating a concerted initiative named territorial symbiosis, based on the theoretical framework of the plausible promise. The plausible promise is the discourse of an initiating actor confronted with a specific situation, formulated to enroll other actors in a collective response to address this situation. This interdisciplinary work includes two main phases. An analysis of industrial symbiosis case studies allows to reinforce the theoretical framework of the objects of study. This phase includes a literature review of international industrial symbiosis initiatives, and an interview campaign among promoters of french industrial symbioses. The results describe, characterize and illustrate central theoretical elements - such as bioeconomic synergy patterns, the concept of territory-system, a typology of rational myths - required to design a plausible promise featuring a territorial symbiosis. A second research phase assembles these theoretical elements to study the specific situation of the plaine de Versailles. This study includes three steps : (1) the description and characterization of the OWMS, (2) the design and modeling of possible evolutions of this system and (3) the testing of a set of plausible promises by actors of the territory-system. The results of the descriptive step highlight that the OWMS is composed of two subsystems : a physical interaction system among which actors materially handle organic waste and make allocation choices (type of collection, treatment, use...), and an influence system among which actors influence these choices in ways other than direct material action (social pressure, laws, awareness raising, etc.). The design and modeling step offers a technical framework of analysis to estimate *ex ante* the benefit of territorial symbiosis scenarios, by coupling allocation and transformation hypotheses. The testing of plausible promises including these scenarios show that their ability to engage actors - their performativity - depends on their level of specification and their time frame. The performativity of little specific plausible promises appears superior to that of more detailed ones, especially in long-term perspectives. These results suggest that the initiating actor doesn't require a comprehensive knowledge of the territory-system to engage other actors in a collective process. More generally, this thesis brings a global reflection on the bioeconomic territorial symbiosis and offers a better understanding of the initiation and evolution of innovative collective actions. It questions the link between science and society, fuelling the discussions on the role of knowledge in the ecological transition.

Remerciements

Je tiens à adresser mes plus sincères et profonds remerciements à mes directeurs de thèse et encadrants, Tom Wassenaar, Guillaume Junqua et Magali Dechesne, qui m'ont accompagné tout au long de ces trois années. Merci de vous être tenus disponibles chaque fois que j'en avais besoin et d'avoir su canaliser ma soif débordante d'explorer de nouvelles pistes, pour m'orienter dans cette « traversée du désert ». Merci pour votre soutien et votre accompagnement sans faille malgré la crise sanitaire, pour votre confiance sans cesse renouvelée, pour vos précieux conseils qui m'ont aidé à naviguer dans le monde de la recherche et l'univers des différentes structures partenaires.

C'est à ces structures que s'adresse la suite de mes remerciements, Veolia, le Cirad et IMT Mines Alès. Merci à Veolia pour m'avoir donné la chance de réaliser ce travail, donné accès sans réserve à leurs ressources et leur expertise. Je remercie notamment les personnes qui m'ont encadré hiérarchiquement, Marie-Pierre Jaffrezic à qui a succédé Daniel Dunet, pour leurs apports bienveillants, y compris sur des questions de fond liées à ma thèse. Je souhaite adresser un remerciement spécial aux collègues de Veolia qui ont contribué à la conception de ce sujet en plus de celles déjà citées, notamment Agathe Revallier et Maria Albuquerque avec qui nous avons eu de riches échanges en début de parcours et par la suite. Un grand merci au Cirad et à l'unité Recyclage et Risques, au travers de Frédéric Feder, pour m'avoir accueilli dans ses locaux montpelliérains et fourni tout le matériel nécessaire à la réalisation de ces travaux. L'expertise pluridisciplinaire de cette unité et plus généralement celle du Cirad ont constitué un apport déterminant dans mon parcours. Merci à l'IMT Mines Alès et à l'unité Eau Ressources et Territoires pour m'avoir ouvert ses portes et accompagné grâce aux connaissances aussi riches que diversifiées de ses membres. Merci également à l'INRAE, au travers de Florent Levavasseur et Sabine Houot, pour leur implication assidue dans mes travaux et leurs regards particulièrement constructifs lors des comités d'accompagnement partenariaux. Merci également à l'ANRT pour avoir financé ce projet de recherche et rendue possible cette aventure. Merci à Arlette Gonin et Brigitte Mayor pour leur réactivité et leur travail, grâce à qui le quotidien de ces trois années, à cheval entre Veolia et le Cirad, m'a paru toujours fluide.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont accompagné scientifiquement, sans qui ce travail interdisciplinaire n'aurait certainement pas pu aboutir de manière aussi approfondie. Je souhaite en particulier remercier les personnes qui se sont remarquablement impliquées dans certaines phases de mon travail, et avec qui j'ai eu le plaisir de partager mes doutes, mes réflexions, et mes résultats. Je remercie à ce titre Juliette Cerceau pour son aide précieuse dans la conception et l'analyse d'entretiens et ses retours particulièrement enrichissants tout au long de ma thèse. Je remercie également Fabien Vedrenne qui s'est impliqué de manière marquée dans l'exercice de conception et de modélisation de scénarios techniques. Merci également à François Bousquet pour son implication et ses conseils dans la conception de ma méthode expérimentale sur la plaine de Versailles, au-delà de son rôle de représentant de l'école doctorale dans mon comité de thèse. Merci à Marc Vinches pour son aide et ses conseils dans l'analyse des résultats numériques issus des entretiens. Merci à Léa Boros pour le travail accompli lors de son stage, qui a répondu de manière qualitative à tous ses objectifs, et à Kévin Morel pour la collaboration fructueuse réalisée autour de ce projet. Je remercie de plus les membres de mon comité de thèse, Olivier Théron, Sophie Madelrieux et Caroline Petit, pour

Remerciements

avoir ouvert les horizons de ces travaux en me donnant des recommandations et orientations déterminantes, au travers de discussions toujours constructives. Je remercie également toutes les personnes qui se tenaient en permanence disponibles pour m'assister dans les moments où j'en avais besoin, en m'accordant de longs et riches échanges : Jean-Marie Paillat, Jérôme Queste, Anne-Cécile Beaud, Jean-Christophe Soulié, Angel Avadi, Raphaëlle Ferzli, Loïc Loillier, Delphine Rivière. Merci également à tous les autres chercheur·es, ingénieur·es, doctorant·es, que je ne saurais lister de manière exhaustive, qui ont répondu à mes sollicitations tout au long de mon parcours et ajouté une pierre à cet édifice.

Je remercie aussi humblement toutes les personnes qui ont accepté de me consacrer du temps lors des multiples entretiens de recherche réalisés au cours de la thèse, malgré leur activité professionnelle déjà prenante. Leur expérience et leurs mots, que j'emprunte pour construire les différentes briques théoriques de ma thèse, sont un matériau brut sans lequel ce travail n'existerait tout simplement pas.

Merci enfin aux collègues qui rendent le quotidien agréable et une raison de venir travailler en présentiel après des mois de confinement : Loïs, Claire, Mélanie, Laure, ainsi que Samuel, Mathieu, Emma et Emmanuel, qui se sont joint plus tard, sans oublier ceux qui m'ont chaleureusement accueilli durant mon séjour à Maisons-Laffitte : Lauriane, Matthieu, Christine, Gaëla. Je remercie mes proches, mes amis, ma famille, pour leurs encouragements et leur soutien moral tout au long de ce parcours. Je remercie particulièrement ceux et celles chez qui j'ai pu trouver pied à terre, pour quelques jours ou plusieurs mois, au cours des multiples pérégrinations et divers confinements qui ont ponctué ces trois ans. Dans chacun de ces endroits résident des lignes de ce manuscrit. Merci Christine (en particulier pour son aide dans les corrections orthographiques de la version finale), Jacques, Marion, Ariane, Annette et Philippe. Je remercie également ma « deuxième famille », la communauté des Ingénieur·es Engagé·es, pour les nombreux échanges qui m'aident à avancer dans ma quête de sens personnelle et professionnelle. Pour terminer, je souhaite remercier celle qui me fait voir la lumière au quotidien dans un monde qui ne cesse de s'assombrir. Une grande partie du chemin parcouru, je te le dois aussi, Alice.

Avant-propos

De l'ingénierie à la recherche

Durant mon enfance et ma scolarité, j'ai eu la chance d'avoir pu satisfaire ma curiosité au sujet des questions environnementales. Cet intérêt m'a conduit à effectuer une formation d'ingénieur dans le domaine de l'énergie et de l'environnement. J'y suis entré en étant convaincu de l'importance d'œuvrer pour le développement d'un futur durable, et j'y suis sorti avec la conviction que les débouchés professionnels vers lesquels j'étais appelé contribuaient généralement plus au problème qu'à la solution¹. Je ne me prédestinais pas nécessairement au monde de la recherche, malgré ma curiosité toujours insatiable pour les sujets scientifiques, techniques et de plus en plus sociologiques. En 2018, s'est présentée à moi l'opportunité de m'engager sur le chemin d'une thèse interdisciplinaire et touchant à deux de mes centres d'intérêt : l'écologie industrielle et le recyclage de la matière organique. Au-delà de ces deux aspects, j'ai pressenti que ce sujet allait me permettre de prendre du recul et de questionner un sujet qui me passionne : celui de la place de la technique dans la société, et dans la transition écologique qu'il est nécessaire d'entreprendre.

La thèse Cifre – Un exemple d'objet-frontière

Ma thèse est l'objet d'une collaboration entre Veolia, le Cirad, IMT Mines Alès et l'INRAE, dont le sujet a été formalisé dès l'année 2016². Une telle collaboration me place, de fait, à l'intersection de mondes et de cultures très différents. En cela, ma thèse en elle-même correspond à ce que l'on appellera, un peu plus loin, un « objet-frontière » (Star et Griesemer, 1989). Plus qu'un doctorant à la poursuite de réponses à ma question de recherche, j'ai été, durant ces trois ans, une passerelle à l'interface de ces différents mondes dont il me fallait m'approprier les codes, comprendre les problématiques, et qu'il fallait faire interagir entre eux. N'étant moi-même pas expert pointu dans chacun des domaines qui composent mon sujet, une partie importante de ma démarche a été de mobiliser ces différents partenaires afin de m'outiller d'un regard expert pour avancer dans mes réflexions. Cela a été rendu possible par un accompagnement rigoureux et sans défaut des différentes structures, notamment au travers de points d'avancement réguliers et de comités d'accompagnement biannuels. Ces comités me permettaient de faire état de mes réflexions, de mes résultats, et d'exposer mes problématiques du moment, me permettant ainsi d'être guidé vers les experts de chaque institution sur des thématiques clés.

Contexte partenarial

Mes travaux s'inscrivent naturellement au croisement de l'intérêt de ces diverses structures. Veolia est un groupe industriel français dont l'activité s'étend sur l'ensemble de la planète. J'ai été accueilli au sein de l'équipe de recherche et d'innovation du groupe, située en

¹ Comme l'exprime très bien notamment le Manifeste Etudiant pour un Réveil Ecologique, ou encore les récentes prises de paroles lors de cérémonies de remises de diplômes d'écoles d'ingénieur.

² Ceci est une première illustration de l'écart entre temporalité de la recherche et temporalité des problèmes environnementaux. Cela signifie que des réponses que j'apporte, en 2022, étaient déjà d'une actualité brûlante 6 ans auparavant.

région parisienne, proche de mon territoire d'étude. L'intérêt de Veolia pour les résultats de ma thèse est la volonté de mener une réflexion systémique sur les métiers du groupe afin d'envisager plus de synergies entre les différentes activités, et d'ouvrir la voie vers des services innovants à l'échelle de territoires. La modélisation de scénarios prospectifs était également une attente forte, qui s'est finalement révélée moins centrale que prévue dans mes travaux³. Le Cirad est un institut de recherche agronomique dont l'activité est principalement centrée sur le développement de nouveaux modèles agricoles dans les pays du Sud. J'ai été accueilli au sein de l'unité de recherche « Recyclage et Risques », qui s'intéresse au recyclage de la matière organique en agriculture et des conséquences associées, de la chimie et biologie des sols jusqu'au niveau sociétal (Wassenaar *et al.*, 2014). Ma thèse se situe dans le prolongement des travaux d'écologie territoriale de l'unité, à l'interface entre les résultats de laboratoire et leur mise en œuvre au sein de la société, faisant une suite logique au projet GIROVAR mené sur l'île de la Réunion détaillé en introduction de ma thèse. L'IMT Mines Alès fait partie de l'Institut Mines Telecom, premier groupe français de grandes écoles d'ingénieurs et de management. Elle forme des ingénieurs pluridisciplinaires et possède un centre de recherche et d'enseignement spécialisé sur la question de l'énergie, de l'environnement et des risques industriels. Ma recherche a été codirigée par l'équipe de recherche Eau, Ressources, Territoires, rattachée à l'IMT, et récemment intégrée dans l'UMR Hydrosciences Montpellier. Mes travaux se rattachent à la vision interdisciplinaire des démarches d'écologie industrielle et territoriale portée par cette équipe, impliquée dans des projets de recherches pionniers et structurants en France comme le projet DEPART (Mat *et al.*, 2012). L'INRAE, enfin, est le plus important institut de recherche français en agronomie. Ma thèse s'inscrit en collaboration avec l'unité de recherche EcoSys, qui s'intéresse également au recyclage de la matière organique. Mes travaux s'inscrivent dans la continuité d'un nombre important de contributions scientifiques sur la plaine de Versailles coordonnées par l'INRAE (Dhaouadi, 2014 ; Noirot-Cosson, 2016), qui ont également constitué un élément de base pour mon analyse. Cette expertise du territoire et des questions agronomiques techniques a été une aide précieuse dans ma thèse, qui inversement est une ouverture vers la mise en œuvre de démarches visant à conduire un changement dans l'étude de ce système. Ma thèse s'inscrit dans la continuité d'un partenariat notable entre Veolia, l'INRAE et le Cirad au sein d'un projet de recherche intitulé PROTERR (Houot *et al.*, 2021), visant à améliorer la modélisation des dynamiques territoriales de valorisation des résidus organiques, et financé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe).

Un chemin vers l'adisciplinarité

Dans ma thèse, j'ai toujours eu le souhait de me placer dans une démarche réflexive, c'est-à-dire d'avoir un regard critique sur ma posture dans le monde de la recherche et sur les partis pris sous-jacents à mes travaux. Dans les nombreux échanges que j'ai eus au cours de ma thèse, j'ai souvent fait face à une incompréhension sur mon approche scientifique, menant à de longues discussions épistémologiques et méthodologiques qui m'ont parfois mis en défaut. Les questions prenaient la forme suivante : « *De quelle discipline te revendiques-tu ?* » ; « *Tu dois choisir un champ disciplinaire et déterminer la contribution que tu y apportes* » ; « *Quel est l'intitulé de ton doctorat ?* » ; « *A quelle communauté de chercheurs s'adressent tes travaux ?* ». Ne sachant

³ Initialement, ma thèse s'intitulait « Simulation de la Symbiose territoriale pour favoriser l'Economie Circulaire ». L'idée était notamment d'intégrer de manière centrale des résultats de simulations effectuées grâce au modèle de simulation multi-agents Maelia (Sibertin-blanc et Therond, 2011). La temporalité propre à ma thèse ainsi que les choix faits concernant l'angle d'étude m'ont éloigné de cet outil.

pas y apporter de réponse tranchée, ce sont des questions et remarques qui m'ont longuement questionné dans ma démarche, et qui m'ont fait à plusieurs reprises douter de la qualité de mes travaux selon les standards scientifiques⁴. Malgré une inscription initiale en filière « Agronomie » à l'école doctorale – qui n'avait que très peu de résonance avec mes travaux – j'ai fini par comprendre que ma thèse n'était pas ancrée dans une discipline proprement définie. Prenant acte de l'interdisciplinarité de mes travaux, je me suis cependant rendu compte que ce positionnement n'écartait pas la nécessité d'un ancrage théorique et thématique auprès de mes pairs. Malgré les appels répétés de la communauté scientifique à entremêler les connaissances issues de champ de recherche diversifiés, la question de mon positionnement revenait systématiquement dans les discussions. J'étais confronté à ce genre de remarques : « *Dans une posture interdisciplinaire, il te faut quand même tous les champs disciplinaires que tu mobilises* » ; « *Il faut faire attention à ne pas se cacher derrière l'interdisciplinarité pour bidouiller sur le plan méthodologique ; il faut se rattacher à un état de l'art* ». Il fallait ainsi toujours justifier un point de départ, une école, un champ... Au fil des discussions et de mes recherches, j'ai fini par comprendre que je marchais, comme nombre de mes pairs et prédécesseurs (Abitbol, 2012 ; Dumoulin, 2016 ; Gabriel, 2021), sur le chemin de l'adisciplinarité⁵ (Haider *et al.*, 2018). Pour reprendre les mots de l'un d'entre eux : « *je ne suis ni écologue, ni agronome, ni économiste, ni géographe, ni anthropologue, ni sociologue, ni bio- ou géophysicien* » (Dumoulin, 2016, p. v.)... et pourtant, sans doute sommes-nous une combinaison fertile de tout cela. À la suite d'une évolution des spécialités de l'école doctorale, l'intitulé de mon doctorat est Environnement, Territoires et Sociétés, qui correspond on ne peut mieux au champ d'expertise que j'ai développé et auquel je contribue. Je me reconnais pleinement dans la posture adisciplinaire, de par les nombreuses rencontres que j'ai eues avec des chercheurs et experts dans un très vaste champ de compétences. Sans prétendre apporter une contribution au sein de l'un de ces champs de recherche en particulier, mes travaux contribuent à une nouvelle manière de construire des connaissances, axée sur des problèmes concrets au sein de la société notamment liés à la recherche de durabilité (Gibbons *et al.*, 1994). En cohérence avec les enjeux des sciences de la durabilité, ma démarche constructiviste est basée sur une situation (*issue-based*), qui est une question posée conjointement par un laboratoire et un partenaire industriel : comment modéliser et initier une symbiose territoriale ? Ces travaux se destinent à quiconque saura y trouver un point d'accroche avec ses propres questionnements – qu'ils soient ou non disciplinaires. A quiconque s'intéresse à l'écologie industrielle, la symbiose industrielle, l'écologie territoriale, la bioéconomie, l'agronomie, la concertation, la transformation des déchets organiques, les systèmes sociotechniques, l'action collective, la sociologie de l'innovation, la sociologie pragmatique, la sociologie néo-institutionnelle, l'économie des promesses, l'analyse stratégique. A celles et ceux-là, je vous invite à suivre le voyage que j'ai parcouru, aussi important que la destination à laquelle il m'a conduit.

⁴ Je souhaite à ce sujet remercier une nouvelle fois mes directeurs de thèse, dont la confiance m'a permis d'avancer malgré ces doutes.

⁵ Nous définirons plus précisément ce terme dans le Chapitre 4, abordant plus en détail la posture de recherché.

Table des matières

Résumé / Abstract	i
Remerciements	iii
Avant-propos	v
Table des matières	viii
Introduction générale	1
Partie I Cadrage d'une problématique de recherche interdisciplinaire	12
Chapitre 1. Construction de la problématique de recherche – Initier la symbiose territoriale bioéconomique	15
1.1. La situation de rupture métabolique	16
1.2. L'écologie territoriale : approche systémique de l'écologie industrielle	21
1.3. La symbiose territoriale bioéconomique : une réponse à une situation de rupture métabolique territorialisée	31
1.4. Initiation de la symbiose territoriale par la promesse plausible.....	38
1.5. Problématisation de la recherche	48
Chapitre 2. Faire des déchets une ressource	53
2.1. De l'amont à l'aval de la rupture métabolique : logiques de traitement des produits résiduels organiques et de leur utilisation en agriculture.....	54
2.2. De l'approche par filière à l'approche territoriale : Enjeux conceptuels	65
2.3. Représenter, modéliser et évaluer la symbiose territoriale pour construire une promesse plausible.....	69
2.4. Questions de recherche : mettre en formule la symbiose territoriale bioéconomique .	75
Chapitre 3. L'action collective comme forme d'innovation	81
3.1. La promesse plausible dans la sociologie de l'innovation et la sociologie pragmatique	82
3.2. Institutionnalisation de l'action collective et mythes rationalisés.....	92
3.3. Promesses et performativité.....	97
3.4. Questions de recherche : formaliser la promesse plausible	101
Chapitre 4. Posture et stratégie de recherche	105
4.1. Une posture ancrée dans les sciences de la durabilité.....	106

4.2. Stratégie de recherche : Utilisation de cas d'étude dans une approche <i>ex post</i> et <i>ex ante</i>	113
Synthèse de la partie I.....	120
Partie II Analyse de cas d'étude pour renforcer les cadres théoriques liés à l'initiation de symbiose territoriale	122
Chapitre 5. Symbiose industrielle pour une bioéconomie durable : état actuel et perspectives.....	125
5.1. Introduction : Contexte et objectifs de l'étude.....	126
5.2. Méthodologie.....	129
5.3. Observation de schémas de synergies et du rôle de l'agriculture dans les BE-IS.....	135
5.4. Discussion et conclusion.....	141
5.5. Introduction de la notion de système-territoire basée sur l'observation des cas d'étude	144
Chapitre 6. Formalisation et étude des promesses plausibles et mythes rationalisés dans des démarches d'écologie industrielle et territoriale .	153
6.1. Définition des promesses plausibles et mythes rationalisés dans le cadre des démarches d'EIT, et objectifs de l'étude	154
6.2. Méthodologie de conduite et d'analyse d'entretien auprès de démarches d'EIT	157
6.3. Quoi et Pour Quoi ? Caractérisation des mythes rationalisés	162
6.4. Discussion et conclusions	167
6.5. Eléments d'analyse dynamique de l'action collective	171
Conclusion de la partie II	186
Partie III Conception et mise à l'épreuve de promesses plausibles sur la plaine de Versailles	188
Chapitre 7. Définition d'une stratégie de recherche pour l'étude interdisciplinaire du système de gestion des produits résiduaire organiques et l'évaluation de promesses plausibles sur la plaine de Versailles	191
7.1. Objectifs et hypothèses pour une étude de cas en amont d'une potentielle concertation	192
7.2. Conception d'une méthodologie d'expérimentation s'appuyant sur les apports théoriques.....	195
7.3. Acquisition des données et principes généraux d'analyse.....	202
7.4. Synthèse de la stratégie de recherche et structure de la partie III	210
Chapitre 8. Etude compréhensive du système sociotechnique de gestion des produits résiduaire organiques sur la plaine de Versailles.....	213
8.1. Diagnostic d'une rupture métabolique territorialisée sur la plaine de Versailles.	214

8.2. Analyse qualitative des rôles, facteurs d'influence et pratiques de concertation des acteurs du système-territoire.....	231
8.3. Analyse du réseau social lié à la gestion des PRO.....	263
Chapitre 9. Elaboration du contenu technique de promesses plausibles sur la plaine de Versailles	279
9.1. Méthodologie de conceptualisation, modélisation et évaluation de symbioses territoriales par un formalisme affectation-transformation.....	280
9.2. Présentation des scénarios et de leurs indicateurs de performance.....	293
9.3. Discussions : perspectives pour la symbiose territoriale	302
Chapitre 10. Mise à l'épreuve de promesses plausibles auprès des acteurs du SGPRO.....	311
10.1. Méthodologie pour la mise à l'épreuve de promesses plausibles	312
10.2. Description et analyse des notes données aux promesses plausibles par les répondants	325
10.3. Discussion.....	338
Conclusion de la partie III.....	345
Partie IV Discussion générale.....	346
Chapitre 11. Discussion et perspectives	347
11.1. Bilan de la démarche de recherche : Réponse à la problématique de recherche, portée des résultats et retours sur la posture	348
11.2. Mise en perspective des résultats.....	358
11.3. Opérationnalisation des résultats : principes méthodologiques à l'attention des acteurs initiateurs	369
Conclusion Générale.....	377
Glossaire	380
Liste des abréviations	383
REFERENCES	384
ANNEXES	417
A Annexes de la partie I.....	417
A-1 L'écologie industrielle pour l'étude du métabolisme	417
A-2 Les différentes voies de traitement des PRO	426
B Annexe de la partie II.....	429
B-1 Annexe du chapitre 5	429
B-2 Annexe du chapitre 6	440
C Annexe de la partie III.....	450

Table des matières

C-1	Annexes du chapitre 7.....	450
C-2	Annexes du chapitre 8.....	451
C-3	Annexes du chapitre 9.....	466
C-4	Annexes du chapitre 10.....	495
Résumé court / Short Abstract.....		513
	Résumé court	513
	Short Abstract	513

Introduction générale

Reconcevoir les liens science-société à l'aune de la crise environnementale

Anthropocène et limites planétaires – Déséquilibres globaux dans un monde fini

L'année 2020 a été l'une des plus chaudes jamais enregistrées depuis que l'espèce humaine est capable de calculer la température moyenne sur Terre (WMO, 2021). Selon les trajectoires d'évolution du changement climatique, elle sera en revanche probablement l'une des moins chaudes des prochaines décennies (IPCC, 2021b). Les modèles climatiques prévoient d'ores et déjà qu'à l'horizon 2100 le climat pourrait tout simplement ne plus être vivable pour des êtres humains sur des zones entières de la planète (Mora *et al.*, 2017). Les problèmes environnementaux ne sont plus une notion abstraite qui concerne les générations futures : en 2022 à l'heure où je rédige ces lignes, les enfants qui connaîtront ces conditions de vie sur Terre sont déjà nés. Le changement climatique, dont les projections sont illustrées par la Figure 1, est probablement l'un des enjeux environnementaux les plus visibles et les plus pressants, mais ne correspond cependant qu'à un seul aspect des défis auxquels est confrontée l'humanité. Le rythme d'extinction des espèces vivantes est à l'heure actuelle du même ordre de grandeur qu'aux périodes d'extinction de masses qu'a connu la vie sur Terre par le passé, c'est-à-dire 100 à 1000 fois plus élevé que le taux d'extinction naturel (Ceballos *et al.*, 2015). Cet effondrement de la biodiversité représente également des risques conséquents pour l'humanité, notamment du fait de sa dépendance envers les services rendus par les écosystèmes (Cardinale *et al.*, 2012 ; Costanza *et al.*, 1997). L'ampleur des impacts sur le climat et la biodiversité liés aux activités de l'humanité rivalise avec des changements qui relèvent de phénomènes géologiques, à un rythme inédit dans l'histoire du système-Terre (Steffen *et al.*, 2015a). Le géologue Paul Crutzen propose ainsi de qualifier notre régime climatique comme une nouvelle ère géologique qu'il nomme Anthropocène (Crutzen, 2002). Si ce terme reste à l'heure actuelle soumis à de vifs débats⁶, il est révélateur de l'échelle des phénomènes à l'œuvre, et donc des réponses à y apporter. L'enjeu de garder un environnement dans une « zone sûre », permettant aux sociétés humaines d'exister, se traduit par la notion de limites planétaires (Rockström *et al.*, 2009). Les chercheurs évaluent dans ce cadre des seuils de bouleversements environnementaux à ne pas dépasser. Sur les neuf limites listées pour l'instant par les auteurs, six seraient déjà dépassées par les activités humaines (Steffen *et al.*, 2015b), tels que le réchauffement climatique ou l'extinction de la biodiversité⁷.

⁶ La teneur des débats porte plus sur l'attribution de la responsabilité d'un changement d'ère géologique que sur ce constat en lui-même. Alors que certains auteurs proposent que l'anthropocène soit associé à la sédentarisation de l'Homme, d'autres proposent de l'associer à l'instauration du système économique capitaliste (Bonneuil et Fressoz, 2013).

⁷ Ce cadre et l'évaluation de ces limites sont soumis à une constante discussion.

Introduction générale

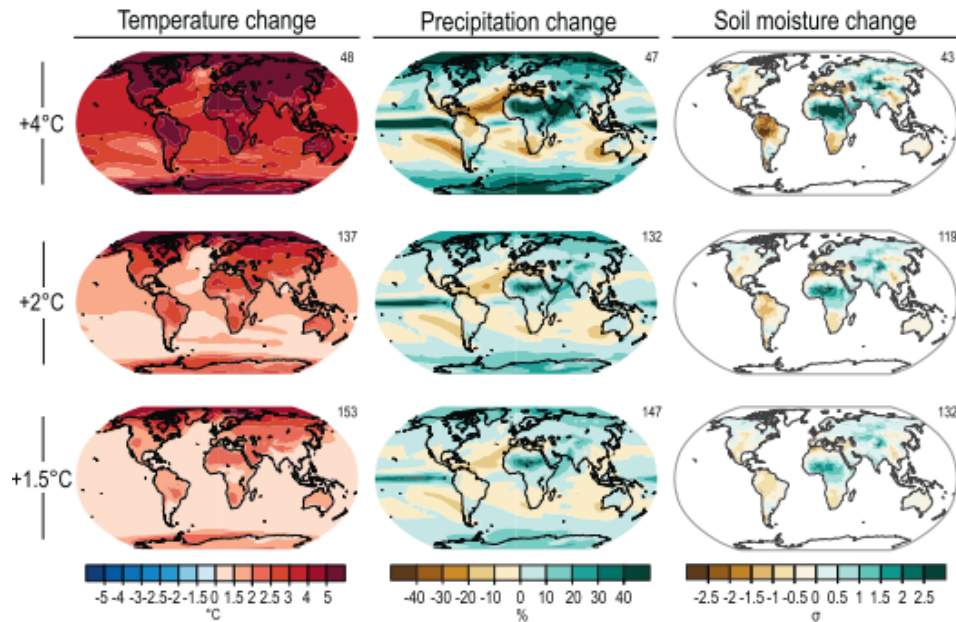


Figure 1 : Figure issue du 6^e rapport d'évaluation du GIEC, montrant à titre illustratif l'évolution du climat modélisée par le GIEC en fonction de la hausse de température par rapport à l'ère préindustrielle (IPCC, 2021a).

L'épuisement des ressources non renouvelables est une problématique beaucoup plus anthropocentrée, souvent présentée comme étant un autre risque majeur. La question des ressources est avant tout une question énergétique. Il subsistera nécessairement un stock d'énergie fossile ou de métaux sur la planète Terre, mais le coût énergétique de leur extraction ne pourra que s'accroître avec le temps. Ce simple constat, résumé par la notion de pic de production – ou pic de Hubbert⁸ (Tilton, 2018) –, rend obsolète toute politique basée sur l'augmentation croissante de la production matérielle, ce qui remet fondamentalement en cause la doctrine économique dominante visant à l'accroissement exponentiel perpétuel du PIB (Meadows *et al.*, 1972). Pour reprendre les mots attribués à Kenneth Boulding : « *Pour penser qu'une croissance infinie est possible dans un monde fini, il faut soit être un fou, soit un économiste* ». A ce jour, aucun découplage entre croissance du PIB et dégradations environnementales n'a été observé à la mesure nécessaire pour garantir la durabilité de nos sociétés (Parrique *et al.*, 2019). L'énergie facile d'accès et disponible en abondance durant la révolution industrielle et l'après-guerre est, physiquement, appelée à être de plus en plus rare, dans un contexte de tensions géopolitiques croissantes. L'enjeu de l'accès à l'énergie est d'autant plus problématique que maintenir les niveaux de production actuelle en se basant exclusivement sur de l'énergie renouvelable (ou, a minima, décarbonée) nécessite une quantité importante d'énergie... pour l'instant essentiellement non renouvelable. Autrement dit, les ressources non renouvelables utilisées aujourd'hui pour perpétuer ou accroître le niveau de confort actuel de l'humanité, par ailleurs grandement inégal (Raworth, 2012), sont autant de ressources et d'énergie qui sont rendues indisponibles à la transition vers une société durable.

La gestion de la matière organique se situe au cœur de cette double contrainte environnementale et énergétique. L'agriculture est en effet un secteur aujourd'hui très dépendant de l'énergie non renouvelable pour atteindre les rendements qui permettent de nourrir neuf

⁸ Pic qui a d'ailleurs été transposé pour les ressources biotiques en ACV (Hélias et Heijungs, 2019).

milliards d'êtres humains – ici aussi, inégalement. Dans le système de production actuel, les engrais, dont dépend la quasi-totalité du secteur agricole, sont issus de ressources non renouvelables. Par ailleurs, la gestion de la matière organique résiduelle (autrement dit, des déchets organiques) constitue par endroit une source de pollution importante. Ces deux phénomènes induisent en de nombreux lieux une introduction excessive dans l'environnement de nutriments, ce qui est aujourd'hui évalué comme un dépassement des limites planétaires. Au-delà de l'agriculture, la matière organique, y compris résiduelle, peut être une source importante de substitution aux ressources fossiles, que ça soit au niveau énergétique (biocarburants, biogaz, bois-énergie), ou au niveau matériel (matériaux de constructions, chimie verte, ...).

La temporalité des désastres et celle de la connaissance

Ces constats démontrent la nécessité d'un changement en profondeur dans nos modes d'organisation à une échelle de temps extrêmement courte. Plus que jamais, les sociétés sont plongées dans une ère du risque, de l'urgence, et de l'incertitude (Beck, 2002 ; Taleb *et al.*, 2014). Dans son dernier rapport, le GIEC énonce que le pic des émissions de gaz à effets de serre doit être atteint d'ici 2025 afin d'avoir une chance de rester dans la trajectoire des accords de Paris limitant le réchauffement à +1,5°C par rapport à l'ère préindustrielle⁹. Trois ans, c'est la durée minimale d'une thèse, si tout se passe bien. Or, la science actuelle est encore loin de mesurer l'intégralité des perturbations et des menaces liées à l'anthropocène, et encore plus loin de proposer une solution pour prévenir les désastres annoncés. La quantité de connaissance à acquérir pour réagir à la mesure des enjeux est encore extrêmement importante, d'autant que les transformations de la Terre et de la société se déroulent à un rythme que la recherche scientifique peine à suivre. Des espèces vivantes s'éteignent avant d'être découvertes (Tedesco *et al.*, 2014), des points de bascules climatiques sont identifiés au moment où ils sont sur le point d'être franchis (Steffen *et al.*, 2018), la stabilité des régimes politiques dans lesquels s'envisagent les actions est de plus en plus incertaine¹⁰.

La transformation des connaissances en actions dans un cadre politique – leur processus d'institutionnalisation – n'est également pas immédiat, et peut même être très long. Prenons un exemple issu de mon corpus de référence, l'écologie industrielle. Alors que la « découverte » de la première symbiose industrielle s'est faite dans les années 1990 (Chertow, 2007), la mise en œuvre d'une politique de développement de démarches d'écologie industrielle et territoriale en France n'a pris son essor que dans les années 2010 (Abitbol *et al.*, 2014), suite à divers travaux de recherche précurseurs. L'économie circulaire qui s'inscrit aujourd'hui dans les lois (République Française, 2018) est un concept qui a été formalisé dans la fin des années 1970 (Boulding, 1966). Au moment où sont mises en œuvre les actions politiques découlant de ces idées, celles-ci se trouvent fortement remises en question car insuffisamment aptes à accomplir les changements réellement nécessaires (Corvellec *et al.*, 2021). De fait, les politiques prises

⁹ “Global GHG emissions are projected to peak between 2020 and at the latest before 2025 in global modelled pathways that limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot and in those that limit warming to 2°C (>67%) and assume immediate action.” (IPCC, 2022, p.21)

¹⁰ Considérons à cet égard la tentative de coup d'état réalisée récemment dans l'une des plus grandes puissances mondiales, la chute de régimes démocratiques, l'augmentation des tensions internationales menant à de nouveaux conflits armés.

actuellement en réponse aux problèmes environnementaux sont issues d'un état des connaissances qui est dépassé au moment où elles le sont.

En résumé, l'humanité n'a probablement plus la possibilité à l'heure actuelle de se doter de toute la connaissance qui serait nécessaire pour agir, car la temporalité de la production de cette connaissance et de son institutionnalisation excède la temporalité dictée par l'action à entreprendre. Ce constat d'urgence appelle à une reconfiguration radicale de la place de la science et des techniques dans la société. Que l'on ne se méprenne pas sur le propos : la connaissance scientifique est essentielle pour comprendre et réagir face à la crise environnementale. Elle est la seule manière de comprendre réellement les conséquences des activités humaines sur leur environnement, d'anticiper les risques que cela engendre, d'identifier les moyens de lutter contre ces dérèglements et d'évaluer la pertinence des innovations au regard des enjeux auxquelles elles s'adressent. Il n'est en aucun cas question ici de remettre en cause la légitimité de la science pour étudier ces problèmes, ni la nécessité de poursuivre la quête de connaissance de l'humanité. Pouvons-nous cependant, face à une accélération exponentielle des bouleversements et des incertitudes qui y sont associées, nous permettre de consacrer des décennies à développer de nouveaux outils et modèles de décision basés sur la science qui sitôt qu'ils sont matures pourraient bien être *déjà obsolètes*, telles des « technologies zombies » (Halloy *et al.*, 2020) ? S'il est fondamental que les activités de recherche perdurent à tous les niveaux, il sera probablement trop tard pour agir lorsque de tels outils seront prêts à être mis en action. La science appliquée qui s'intéresse à la durabilité, lorsqu'elle se destine à intervenir dans la société, doit donc se doter d'une posture qui permette de composer avec les incertitudes radicales et irréductibles dans la temporalité de résolution imposée par les problèmes. Il serait vain d'attendre aujourd'hui de cette science qu'elle dicte directement les actions à entreprendre. Les réponses à mettre en œuvre sont profondément incertaines, la seule certitude étant la nécessité de s'engager, au plus vite, sur la voie d'un changement collectif. Dans cette configuration où l'action est nécessaire, mais les modèles de prévision insuffisants, la posture de la science est amenée à évoluer de deux manières. D'une part, il est nécessaire de renforcer ses liens avec la société pour l'engager dans un processus de changement, sans attendre l'institutionnalisation des connaissances. D'autre part, cela implique de passer d'une posture prescriptive à un engagement dans un processus d'accompagnement et d'information pour guider l'action. Le transfert des problématiques d'une communauté scientifique vers une communauté d'acteurs qui met en œuvre une action collective est précisément l'enjeu de la *promesse plausible*.

Base épistémologique des liens entre science et société : une promesse plausible pour une innovation durable inclusive.

En 2014, Tom Wassenaar et ses collègues de l'unité « Recyclage et Risques » du Cirad formalisent le rôle qu'ils conçoivent pour la recherche dans son lien avec la société, résumé par le schéma présenté sur la Figure 2. Les auteurs s'intéressent à la manière de mettre en œuvre une gestion collective des ressources naturelles, et notamment de la matière organique résiduelle (Wassenaar *et al.*, 2014). Ils proposent pour cela une approche d'innovation par laquelle la société serait directement mobilisée dans la production et l'utilisation des connaissances au fur et à mesure où elles sont produites. Cette approche s'oppose avec une approche « classique » de transfert de technologie de la recherche fondamentale par une extension unilatérale vers la société (représentée sur la partie haute de la Figure 2). Ces réflexions s'inscrivent dans la lignée des travaux de Douthwaite et ses collègues sur la co-construction de l'innovation dans le secteur agricole (Douthwaite *et al.*, 2001). Dans cette approche, la promesse plausible est un point de passage qui permet à la société de se saisir d'une problématique initialement posée par le monde de la recherche, de manière à ce que cette problématique devienne l'objet d'un processus de co-production de connaissances. Ce cadre ne remet donc aucunement en cause la rigueur du processus d'acquisition de connaissances, mais s'assure qu'il est directement connecté à un enjeu environnemental, et contribue à le régler de manière adaptée à un contexte local. Ce cadre constitue le point de départ de mes travaux.

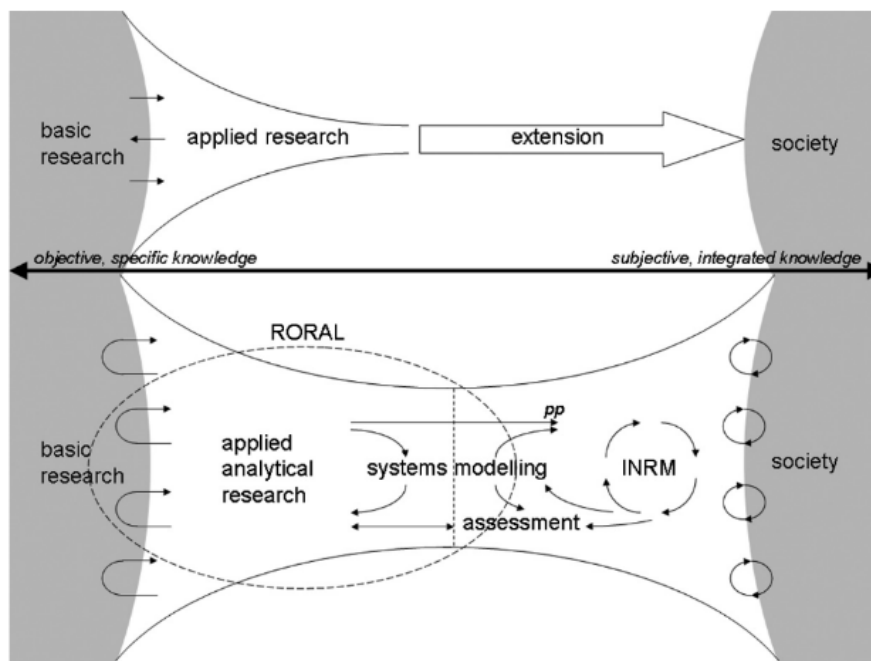


Figure 2 : Base épistémologique du lien science-société selon les travaux de Wassenaar *et al.*, 2014. RORAL : Returning Organic Residue to Agricultural Land ; pp : plausible promise ; INRM : integrated natural resource management, gestion intégrée des ressources naturelles.

La concertation : une approche sociotechnique de la transition

La nécessité d'intégrer des acteurs extérieurs à la communauté scientifique dans les problématiques scientifiques s'inscrit dans la posture des sciences « post-normales » (Funtowicz

et Ravetz, 1993). Contrairement à la science ‘normale’, la science post-normale appelle à prendre acte que la discipline scientifique n’est intrinsèquement pas apte à guider seule la décision dans des situations à enjeux forts, urgents, clivants, et dans lesquelles les incertitudes sont élevées¹¹. Dans ce contexte, les outils classiques de production scientifique sont inopérants : il n’est pas possible de répéter les expériences, de contrôler les paramètres, et d’exprimer des résultats statistiquement significatifs avec des marges d’erreurs fiables. La recherche ne peut appréhender l’intégralité des tenants et des aboutissants de ces enjeux, à fortiori depuis son seul point de vue. La transformation de la société nécessite un ensemble de processus sociaux, politiques, économiques, chacun étroitement liés les uns avec les autres. Quand bien même une solution technique parfaite existerait – ce qui, à l’heure actuelle, reste de l’ordre de l’utopie – les moyens de faire en sorte que cette solution soit adoptée et appropriée par le reste de la société est un problème au moins aussi complexe que d’identifier cette hypothétique solution. Pour intervenir dans ces situations, elle doit s’appuyer sur une communauté d’acteurs dépassant le cadre académique, de manière à intégrer la multiplicité des valeurs en jeu dans une décision technique, mais également l’existence et la pertinence de savoirs pluriels y compris hors de la sphère scientifique (Irwin *et al.*, 2018). Dans la continuité des sciences post-normales, la promesse plausible acte le fait que les détenteurs de la connaissance scientifique, en particulier en ce qui concerne les sciences de la durabilité, ne peuvent pas indiquer de voie tracée d’avance vers la résolution des problèmes qu’ils mettent en avant (Funtowicz et Ravetz, 1994). C’est donc par la concertation, c’est-à-dire l’intégration des points de vue de chaque partie prenante concernée par le problème, qu’une solution commune pourra se dégager. En cela, la concertation correspond à une approche sociotechnique de la transition écologique. Son fond est technique, car elle se base sur un ensemble d’observations, de prédictions, de modélisations sur une certaine situation. Sa mise en œuvre, en revanche, est un processus social qui met en jeu des relations humaines au sein d’un contexte sociopolitique et institutionnel existant. Cependant, du fait du décalage temporel décrit précédemment, les enjeux auxquels il faut s’atteler aujourd’hui ne font pas nécessairement partie de la culture ou de la connaissance des acteurs qui devraient participer à une concertation. La situation problématique n’a pas nécessairement de prise directe dans la perception des acteurs qui contribuent à façonner cette situation (Berthet, 2013). Pour le dire autrement, les actions exercées par chaque acteur à son échelle contribuent à engendrer une situation qui est collectivement problématique, sans même qu’ils n’en aient parfois conscience.

La représentation de la Figure 2 pourrait, à mon sens, être légèrement améliorée de manière à représenter l’encastrement de l’institution scientifique dans la société comme l’affirment les sociologues des sciences et des techniques (Akrich *et al.*, 2006). Ce ré-encastrement est proposé par la Figure 3 qui est la continuité logique du cadre théorique initial. Celle-ci représente la société humaine et toute son empreinte terrestre – « l’anthroposphère » (Baccini et Brunner, 2012) – comme enracinée dans un système-Terre biogéochimique, mais également dotée d’une composante culturelle qui n’est pas directement explicable par les processus naturels¹². Au sein de ce système humain, la recherche académique comporte une composante fondamentale qui vise à identifier et modéliser les principes physiques et biologiques

¹¹ Traduction et adaptation de la citation suivante : “To characterize an issue involving risk and the environment, in what we call ‘post-normal science’, we can think of it as one where facts are uncertain, values in dispute, stakes high and decisions urgent.” (Funtowicz et Ravetz, 1993, p.744)

¹² La représentation de la société comme l’intersection d’une composante biophysique et d’une composante culturelle est notamment en ligne avec l’idée de système socio-écologique de Fischer-Kowalski et Haberl (2007).

considérée comme un processus intrinsèquement vertueux, voire un phénomène naturel qui guiderait la société vers le « progrès » (Joly, 2010), l'innovation dont il est question est plutôt la réponse qu'il faut trouver collectivement face à une situation qui nous dépasse tous. Il faut faire les choses différemment, et il faut le faire ensemble. Cette innovation est donc durable, dans le sens où elle a pour objectif de rendre le métabolisme de l'anthroposphère compatible avec les limites de la bio-géosphère. Elle est également « inclusive » dans le sens où elle implique directement les parties prenantes concernées (Hoffecker, 2021).

La promesse plausible en action

De l'île de la Réunion à la plaine de Versailles : l'initiation d'une gestion concertée des matières organiques

Afin d'illustrer la pertinence d'étudier cette question dans le cadre de la gestion de la matière organique, étudions l'histoire du sujet de thèse. L'île de la Réunion est un territoire particulièrement dépendant de sa capacité à importer certains intrants, et à se défaire des flux de résidus qu'il produit. Les agriculteurs doivent en effet importer une très grande partie des nutriments nécessaires à la fertilisation des cultures, tout comme est importée une grande partie de l'alimentation de l'homme et du bétail. En parallèle, la production importante de déchets, notamment de déchets organiques, est un problème étant donné la limitation importante de la place de stockage disponible. Ces deux caractéristiques correspondent à ce que l'on appellera dans le Chapitre 1 une *rupture métabolique territorialisée*. Les acteurs du secteur ont une conscience aiguë de ces problèmes, mais manquent de solutions pour faire le lien entre produits résiduels organiques et agriculture. Dans cette situation, le recyclage des résidus organiques n'est pas uniquement un enjeu écologique, il s'agit d'une question sanitaire et économique pressante. C'est dans ce contexte que le projet GIROVAR initié en 2011 a proposé d'initier une discussion sur la gestion collective de la matière organique (Wassenaar et Queste, 2014). Les chercheurs à l'origine de cette démarche ont su mobiliser les acteurs au sein d'une concertation pour déterminer des leviers d'évolution, démarche que j'appelle dans ma thèse *symbiose territoriale*. La mobilisation des acteurs a donc pris place dans un contexte où ceux-ci partageaient un problème commun avant la concertation. La question des résidus organiques se posait alors comme un problème de gestion d'une ressource (Wassenaar *et al.*, 2016).

Changeons maintenant de perspective pour nous rendre au cœur du territoire métropolitain, qui n'a *a priori* rien en commun avec l'île de la Réunion. La plaine de Versailles (Figure 4) présente environ 10 000 hectares d'agriculture, majoritairement céréalière, intensive en engrais de synthèse. Par ailleurs, elle comporte un important volume de résidus organiques de nature diversifiée du fait de sa proximité avec la ville de Versailles (250 000 habitants) ou même de la métropole parisienne. Il s'agit d'un territoire dit agri-urbain, au sein duquel les relations entre une population citadine ou néo-rurale et le monde paysan et industriel sont parfois très tendues, malgré l'existence d'une association – l'Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets (APPVPA) – dont l'objectif est d'améliorer le lien entre ville et campagne. Nous voyons donc qu'à l'instar de l'île, la plaine importe l'essentiel des nutriments qui sont nécessaires à son agriculture. Sur la plaine de Versailles comme à la Réunion, une part infime des résidus organiques contribue à la fertilisation et l'amendement des terres agricoles. (Moinard *et al.*, 2021b). Une différence essentielle avec le système insulaire, cependant, est que la question n'y est pas vue comme centrale par les acteurs. Bien que l'approvisionnement en engrais et la gestion des déchets y constituent un problème moins sensible, le potentiel de

Introduction générale

recyclage y est similaire. Les connaissances et travaux scientifiques, qui se sont longuement intéressés à la plaine de Versailles, mettent en évidence ce potentiel (Dhaouadi, 2014), et sont même parvenus à modéliser des scénarios d'utilisation optimaux de résidus organiques en agriculture (Noirot-Cosson, 2016). Pourtant, le *statu quo* persiste. Chaque acteur gère son activité indépendamment de celle des autres, et l'évolution du système de gestion de déchets du territoire s'adapte lentement aux obligations réglementaires sans qu'une conscience collective du problème n'émerge réellement. Dans ce contexte, une symbiose territoriale permettrait d'intensifier l'interconnaissance et les synergies entre les acteurs, dans un processus d'innovation social et organisationnel. L'initiation d'une telle concertation dépend de la capacité de l'acteur qui dispose de la vision du déséquilibre à mobiliser ces autres acteurs par rapport à sa problématique. Nous avons vu en quoi la promesse plausible était un élément de réponse clé à cette question. C'est ainsi l'étude de cette promesse plausible qui sera le centre d'attention de ces travaux, guidé par une problématique de recherche qui peut être présentée, dans un premier temps, de la manière suivante :

Comment formuler une promesse plausible pour initier une symbiose territoriale visant à une gestion concertée des résidus organiques ?

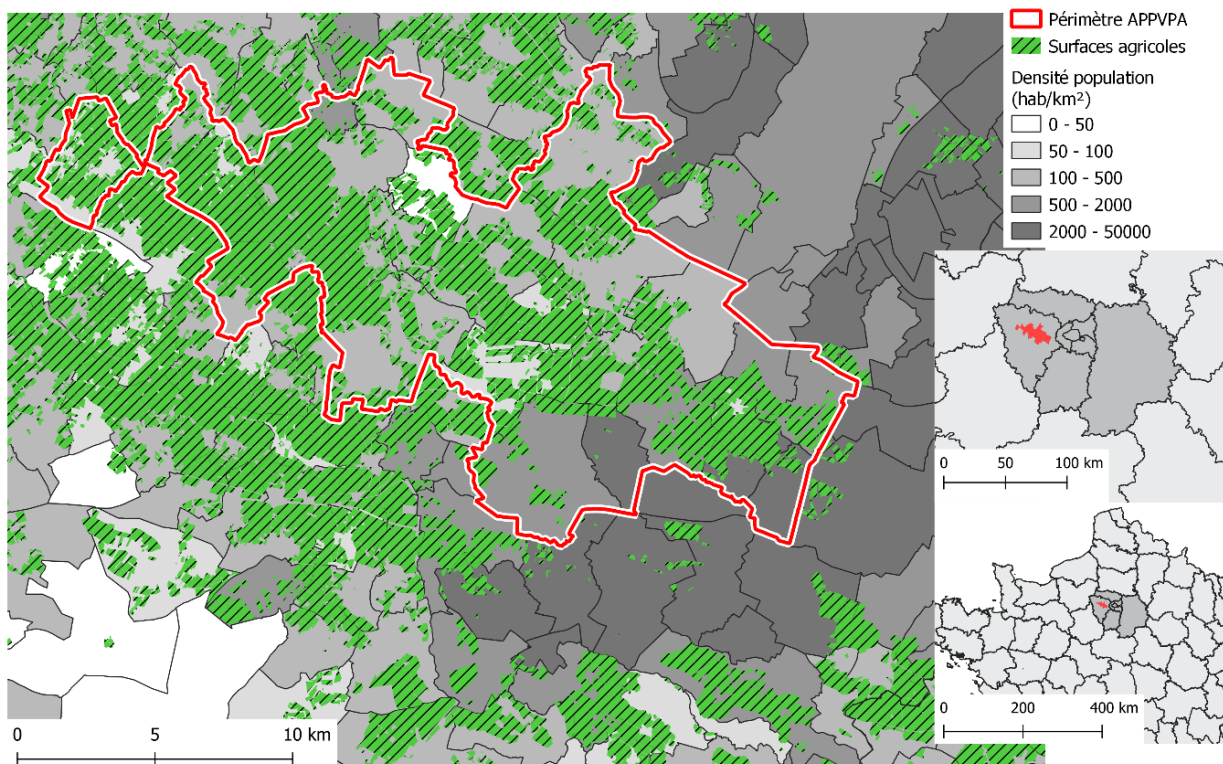


Figure 4 : La plaine de Versailles : un territoire agri-urbain. Les limites de l'APPVPA représentent les frontières du « territoire » tel qu'il est classiquement étudié, mais l'étude conduite dans cette thèse ne se restreint pas à ces limites. Données : RPG, INSEE.

Aperçu général de la démarche

En s'inscrivant dans les sciences de la durabilité, la problématique est posée d'une façon interdisciplinaire – ou plus exactement *adisciplinaire*¹³ – et vise à déterminer des principes de conception pour les promesses plausibles. Cet exercice requiert d'assembler de nombreux apports théoriques, afin de construire un cadre de compréhension propre à l'objet d'étude mais n'appartenant spécifiquement à aucun de ces cadres. La stratégie générale vise à analyser un ensemble de cas d'étude, de manière plus ou moins approfondie, dans l'optique de généraliser de tels principes. Dans la **Partie I**, nous revenons plus en détail sur le cadrage de la problématique de recherche (Chapitre 1). Cette partie fait état des référentiels théoriques de la littérature, dans les sciences des techniques comme dans les sciences sociales, qui sont mobilisés pour comprendre l'étendue de la question. Elle identifie les fronts de recherche auxquels se confrontent mes travaux, qui amènent à la formulation de quatre questions de recherche (Chapitre 2 et Chapitre 3), et une stratégie de recherche pour y répondre (Chapitre 4). La **Partie II** se consacre à consolider les cadres théoriques liés aux objets d'étude en étudiant des cas d'étude de symbiose industrielle. Au travers d'une analyse de la littérature (Chapitre 5) et d'une campagne d'entretiens conduite auprès d'animateurs de démarches d'écologie industrielle et territoriale (Chapitre 6) elle introduit les concepts clé qui sont nécessaire à la mise en œuvre d'une démarche expérimentale interdisciplinaire sur la plaine de Versailles. La **Partie III** présente en premier lieu la méthodologie générale entreprise sur ce territoire pour étudier l'initiation d'une symbiose territoriale au travers des promesses plausibles (Chapitre 7). Cette étude implique une étape compréhensive (Chapitre 8) destinée à décrire et caractériser le système sociotechnique de gestion des déchets de la plaine de Versailles. Sur la base de cette compréhension, des scénarios de symbiose territoriale sont conçus et modélisés dans une deuxième étape (Chapitre 9). Ces résultats sont assemblés dans une dernière partie de mise à l'épreuve de promesses plausibles auprès d'acteurs de la plaine de Versailles, afin d'en tirer des enseignements quant à leur formulation (Chapitre 10). Dans la **Partie IV**, les différents résultats sont synthétisés, discutés et mis en perspective, dans l'objectif de monter vers leur généralisation et leur opérationnalisation (Chapitre 11).

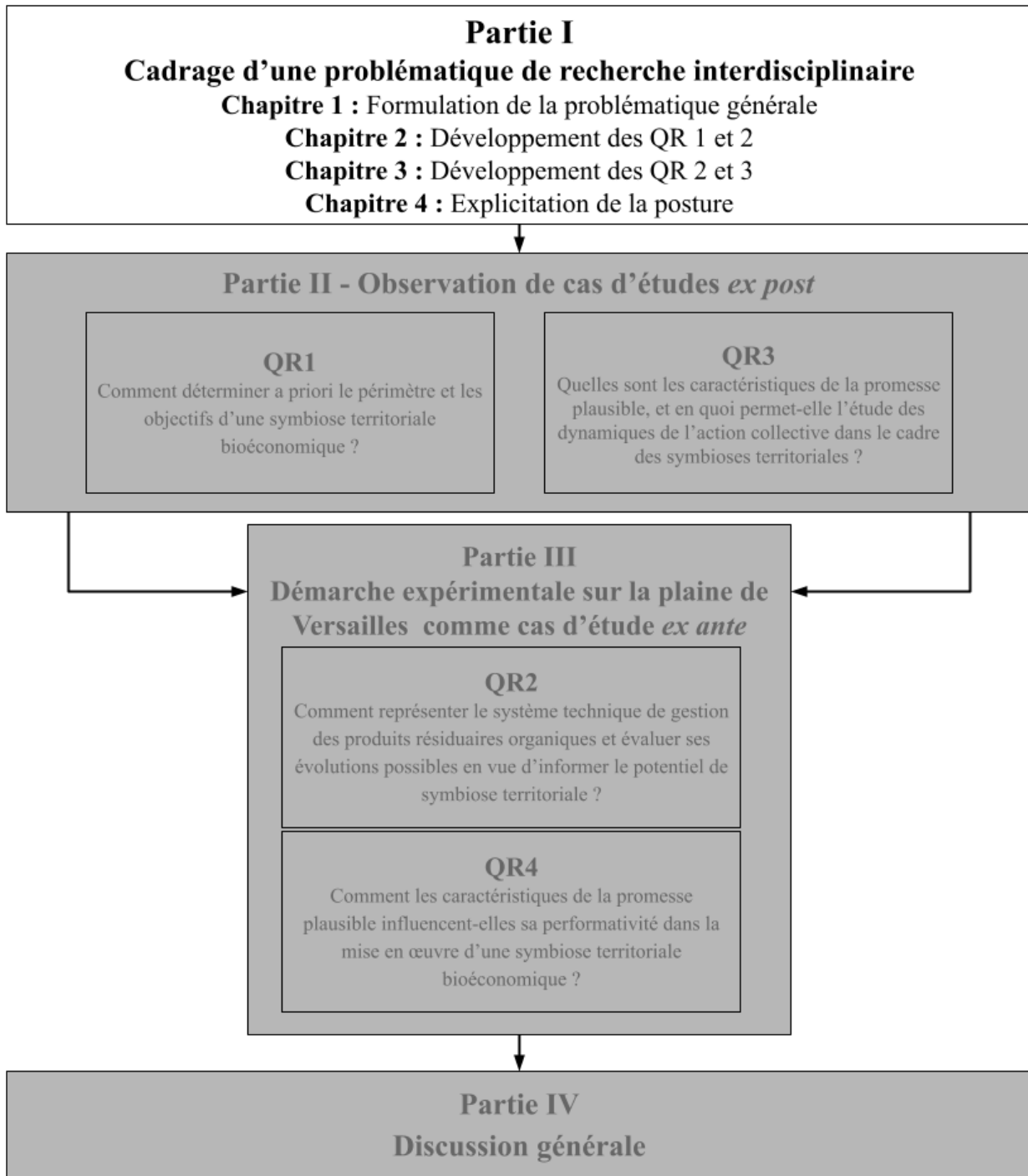
¹³ L'adisciplinarité dont il est ici question peut être considérée comme une forme particulière de l'interdisciplinarité, si bien que les deux termes peuvent de manière générale être interchangeables. Nous reviendrons plus en détail sur cette distinction au Chapitre 4.

Introduction générale

Partie I

Cadrage d'une problématique de recherche interdisciplinaire

Cette partie présente la construction de la problématique de recherche et les différents cadres théoriques qu'elle mobilise. Le premier chapitre développe des définitions précises et contextualisées des objets d'étude de la thèse, en formulant une problématique de recherche générale. Les deux chapitres suivants font un état de l'art plus avancé sur deux thématiques associées à cette problématique, qui permet d'en extraire des questions de recherche. Enfin, le quatrième chapitre présente la posture et stratégie générale de recherche pour répondre à ces questions et à la problématique.



Note : la structure de ce schéma sera développée au Chapitre 4 de cette partie.

Chapitre 1. Construction de la problématique de recherche – Initier la symbiose territoriale bioéconomique

Ce chapitre présente la construction de la problématique de recherche et les différents cadres théoriques qu'elle mobilise. La Figure 5 représente la feuille de route du cheminement qui sera parcouru au cours de cette section. Partant du constat d'une rupture métabolique globale associée à l'ouverture des cycles biogéochimiques (section 1.1), le cadre de l'écologie industrielle et plus particulièrement de l'écologie territoriale (section 1.2), est mobilisé comme pouvant y apporter des réponses. En transposant les principes de la symbiose industrielle comme outil normatif de l'écologie industrielle, une symbiose territoriale bioéconomique pourrait permettre de résorber la rupture métabolique territorialisée (section 1.3). La question centrale de cette thèse est l'initiation de cette symbiose, vue comme une démarche de gestion concertée, au travers d'un outil conceptuel appelé promesse plausible (section 1.4). La problématique de recherche est formulée dans la section 1.5.

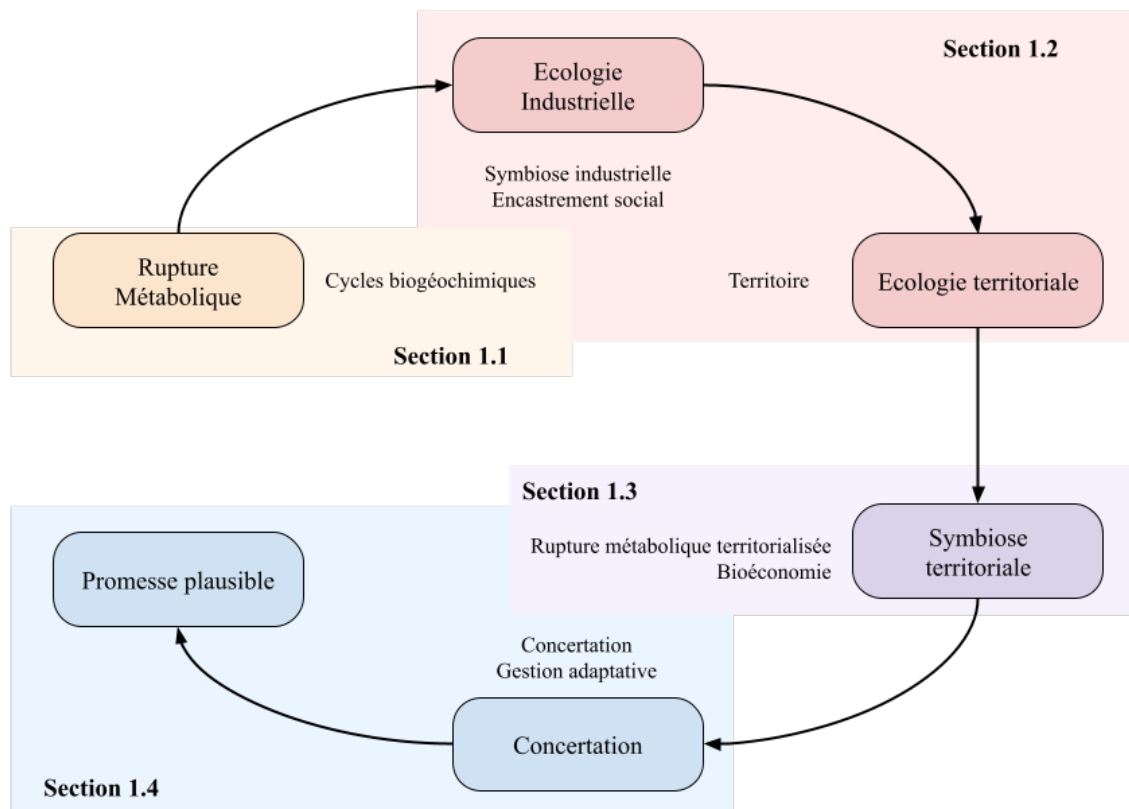


Figure 5 : Schémas synoptique de la construction de la problématique de recherche.

1.1. La situation de rupture métabolique

La rupture métabolique est la situation non durable qui constitue le point de départ de la construction de la problématique de cette thèse. Elle est l'expression d'un dysfonctionnement dans l'organisation des activités humaines. Cette section revient sur les fondements historiques de cette rupture (1.1.1), et sur sa signification en termes de cycles biogéochimiques et de limites planétaires (1.1.2).

1.1.1. Une situation qui trouve son origine dans la révolution industrielle

La notion de rupture métabolique est initialement une critique de la déconnexion entre le développement urbain et le monde rural formulée par Karl Marx, dans la deuxième moitié du XIX^e siècle (Foster, 2002)¹⁴. La mise en évidence des nutriments dans la croissance des plantes formalisée par Justus von Liebig en 1840 a conduit à un changement important des pratiques agricoles au cours du XIX^e siècle. L'accroissement de la production agricole est alors vu comme un impératif poussé par une croissance démographique, et la compréhension de l'importance des nutriments dans les rendements agricoles conduit à l'import de nouvelles sources d'azote et de phosphore (Smil, 2001). Les pratiques de fertilisation traditionnelles, basées sur le recyclage de matières organiques et la cultivation de légumineuses, sont progressivement concurrencées par l'importation massive de fertilisants, comme le guano, les nitrates chiliens, ou les superphosphates. Cette transformation a eu pour effet de rendre l'agriculture dépendante de ces intrants et de dégrader fortement la qualité des sols, ce qui suscitait déjà une certaine inquiétude à cette époque (Foster, 2002). Dans l'expression de rupture métabolique, l'urbanisation croissante et la diminution de la population agricole sont vus par Marx comme les deux facettes d'une même société capitaliste, exploitant les ouvriers d'un côté et la terre de l'autre. Ce qui est critiqué est avant tout la rupture du métabolisme « social », qui a pour conséquence de priver les sols des matières organiques de la ville, nécessaires à leur entretien.

La découverte du procédé Haber-Bosch au début du XX^e siècle, permettant la synthèse d'engrais azoté à partir de l'azote atmosphérique, engage un tournant déterminant dans cette rupture métabolique (Smil, 2002). La révolution agro-industrielle permet de multiplier les rendements des cultures, au prix d'une utilisation massive d'engrais de synthèse qui deviennent le mode de fertilisation quasiment exclusif (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019). La fabrication de ces engrais de synthèse nécessite une quantité d'énergie considérable. Cela, associé à la mécanisation de l'agriculture, rend le système alimentaire extrêmement dépendant des ressources énergétiques fossiles non renouvelables. Sabine Barles met en évidence que ce changement dans les pratiques agricoles a accentué la séparation entre la fertilisation des sols et le traitement des

¹⁴Dans son étude de l'histoire de cette notion, John Foster l'attribue à l'extrait suivant des écrits de Marx : "Large landed property reduces the agricultural population to an ever decreasing minimum and confronts it with an ever growing industrial population crammed together in large towns; in this way it produces conditions that provoke **an irreparable rift in the interdependent process of the social metabolism**, a metabolism prescribed by the natural laws of life itself. The result of this is a squandering of the vitality of the soil, which is carried by trade far beyond the bounds of a single country." (Marx 1981, pp. 949–50, in Foster, 2002, emphase ajoutée).

déchets organiques urbains (Barles, 2005). Les déchets des villes, qui ont longtemps été des ressources indispensables pour l'agriculture, sont délaissés pour les engrais de synthèse dont l'utilisation est plus simple. Ils deviennent dès lors une problématique d'hygiène publique, conduisant à de nouvelles infrastructures de traitement, qui n'ont pas pour vocation première l'utilisation agricole des résidus organiques. Cette situation constitue le paradoxe central de la rupture métabolique actuelle, illustré de manière simplifiée par la Figure 6. D'une part, l'agriculture est très dépendante de nutriments pour assurer sa productivité et importe des engrais minéraux essentiellement issus de ressources non renouvelables (Harchaoui, 2020). D'autre part, ces mêmes nutriments sont présents dans les déchets organiques urbains et industriels, qui sont considérés comme des matières problématiques et dont l'élimination génère de nouveaux problèmes environnementaux (Esculier, 2018).

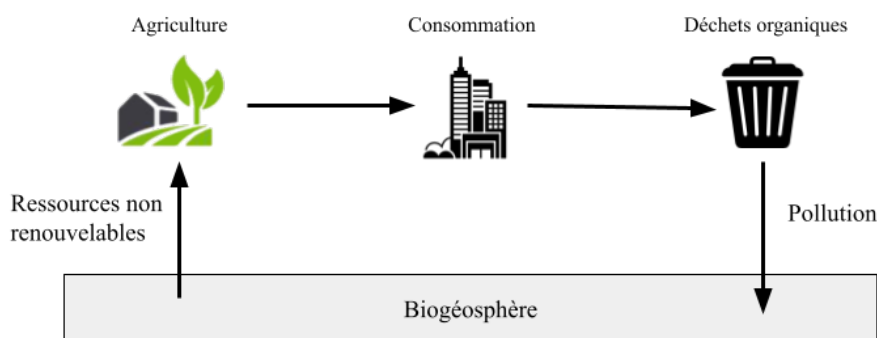


Figure 6 : Schéma de principe de la rupture métabolique.

1.1.2. Une ouverture des cycles biogéochimiques

Les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore

L'azote (N) et le phosphore (P) sont des nutriments essentiels au métabolisme de tous les êtres vivants¹⁵. Ils circulent dans les écosystèmes naturels au travers de la chaîne alimentaire et des transformations biologiques et chimiques qu'ils subissent dans différents compartiments (sol, eau, atmosphère, biomasse). Ces mécanismes sont appelés **cycles biogéochimiques** (Odum et Barrett, 2005 ; Pédro, 2007). La Figure 7 représente de manière simplifiée le cycle de l'azote dans un écosystème terrestre, qui permet de mieux comprendre les causes et les conséquences de la rupture métabolique. Sous forme de diazote (N_2), il est le composant majoritaire de l'air. Cette forme est très stable, mais inutilisable en tant que nutriment pour les êtres vivants. Ce sont les ions ammonium (NH_4^+) et nitrates (NO_3^-), des formes d'azote dites **minérales**, qui peuvent être assimilés par les végétaux, qui les puisent dans le sol pour l'assimiler à leur organisme. L'azote passe ainsi sous une forme dite **organique**, en tant que constituant de cellules, tissus, protéines, et autres chaînes carbonées complexes dont sont composés les êtres vivants. Les consommateurs primaires (herbivores) ou secondaires (carnivores) ne sont pas capables de puiser les nutriments dans le sol, mais le font en consommant et en digérant de l'azote organique. Lorsque ceux-ci

¹⁵ Notons que ces deux éléments ne sont pas les seuls concernés par les perturbations des cycles biogéochimiques dont il est question dans cette partie. Ces autres éléments sont laissés de côté dans le texte, car leur cycle biogéochimique est moins décrit comme critique par la littérature.

Ouverture des cycles

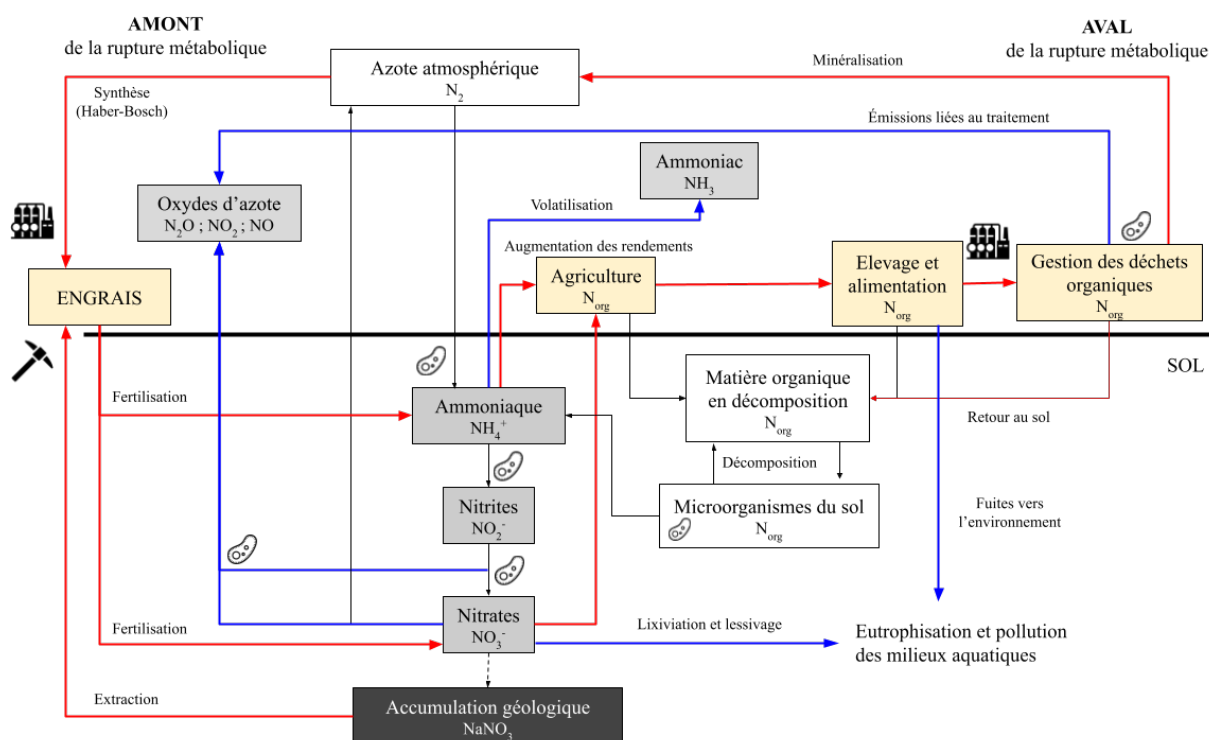


Figure 8 : Représentation des conséquences des activités humaines sur le cycle de l'azote. Les cases jaunes représentent les activités humaines. Les flèches rouges représentent les flux intentionnels liés à ces activités qui ouvrent le cycle de l'azote. Les flèches bleues représentent les conséquences de cette ouverture.

L'évolution des pratiques agricoles à la révolution industrielle bouleverse en profondeur les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore (Galloway *et al.*, 2008). En se basant sur la Figure 7, la Figure 8 représente la manière dont les activités humaines perturbent le cycle de l'azote et entraînent des conséquences néfastes pour les milieux naturels. En tant que composants essentiels pour la fertilité des sols et la croissance des végétaux, l'azote et le phosphore sont des composants majeurs des engrais actuellement utilisés en agriculture¹⁶. Ces nutriments proviennent de stocks fossiles ou inertes, qui n'entraient jusqu'alors pas dans les cycles courts. Les fertilisants azotés proviennent de la transformation d'azote atmosphérique en azote réactif à large échelle, par le procédé Haber-Bosch (Smil, 2001). L'essentiel des apports de phosphore en agriculture provient de ressources minières, les roches phosphatées, dont l'extraction engendre de lourds impacts environnementaux (Cordell *et al.*, 2009). En l'absence de l'action humaine, la quantité totale de formes réactives présente dans l'environnement est limitée par la cinétique des processus biologiques et chimiques naturels. Si les cycles ne sont jamais à un équilibre parfait, leurs variations à grande échelle sont très lentes et la quantité de nutriment présente dans les différents compartiments est relativement stable. Introduits sous forme réactive dans les engrais, la totalité de ces nutriments n'est pas absorbée par les cultures, ce qui implique une augmentation de la quantité de nutriments disponibles dans la biosphère¹⁷ et perturbe l'équilibre des

¹⁶ D'autres éléments sont également présents en quantité importante dans les engrais, comme le potassium et le soufre. Cf. note 15.

¹⁷ D'après Bouwman *et al.*, 2013, celles-ci étaient, en l'an 2000, de 138 Tg/an pour l'azote et 11 Tg/an pour le phosphore.

écosystèmes (Bouwman *et al.*, 2013). L'utilisation d'engrais phosphatés est par exemple la principale source d'eutrophisation¹⁸ des milieux aquatiques (Lavelle, 2007). Par ailleurs, les composés azotés réactifs sont également volatils et deviennent, dans l'atmosphère, des polluants atmosphériques toxiques¹⁹, ou de puissants gaz à effet de serre²⁰.

Déficits et excédents structurels de nutriments

En aval de la chaîne (Figure 8), les activités humaines induisent deux types de problèmes. D'une part, les cultures produites sont consommées par les humains et les animaux d'élevage, ce qui résulte en un surplus de nutriments dans les zones très peuplées ou les régions d'élevage intensif. Cela entraîne potentiellement de nouvelles fuites vers les écosystèmes naturels, qui ne bénéficient pas aux systèmes de production agricole. D'autre part, une partie de ces excréments, humaines et animales, est collectée par un système de gestion de déchets et d'assainissement qui au contraire limite le retour au sol des nutriments. Au cours de l'étape de traitement de ces déchets, une partie des nutriments est minéralisée sous une forme inerte, mais ils impliquent également l'émission de composés réactifs dans l'atmosphère. Par ailleurs, ils consomment de l'énergie et des réactifs dont une partie est produite à partir de ressources non renouvelables. Le bilan de ces activités humaines entraîne l'émission de larges quantités excédentaires de nutriments vers l'environnement. La rupture métabolique est exacerbée par la spécialisation régionale des systèmes agricoles, qui provoque une forte asymétrie entre les zones de production et de consommation des nutriments (Magdoff *et al.*, 1997). Dans les systèmes agricoles uniquement centrés sur la production végétale, les plantes sont exportées pour l'alimentation humaine ou animale, ce qui appauvrit continuellement le sol en nutriments et en matière organique. Ces exploitations nécessitent donc un apport constant de nouveaux éléments fertilisants. Les régions agricoles concernées sont dites en **déficit structurel**, car elles n'ont donc d'autre choix que d'importer massivement des engrais de synthèse. A l'opposé, certaines régions agricoles sont essentiellement concentrées sur la production animale et importent en grande quantité des végétaux nécessaires à l'alimentation du bétail. Ces zones sont dites en **excédent structurel**, car les déjections du bétail contiennent une quantité importante de nutriments qui ne sont pas utilisables par d'autres exploitations proches. Les excréments humains massifiés dans les grands centres urbains produisent également pour ces régions un excédent structurel de nutriments. La gestion de ces nutriments est problématique car leur excès représente un risque important de pollution de l'environnement.

Risques systémiques

Cette ouverture des cycles biogéochimiques est identifiée comme une limite planétaire remettant en cause les conditions d'existence des sociétés humaines, une limite aujourd'hui dépassée pour l'azote et le phosphore²¹ (De Vries *et al.*, 2013 ; MacDonald *et al.*, 2011 ; Steffen

¹⁸ L'eutrophisation correspond à l'asphyxie progressive des milieux par un développement d'algues lié à un excès de nutriment. En se développant rapidement, les algues font chuter le taux d'oxygène disponible pour les autres espèces, ce qui conduit parfois à la disparition d'écosystèmes aquatiques.

¹⁹ Notamment l'ammoniac, NH₃.

²⁰ Notamment le protoxyde d'azote, N₂O, qui a un pouvoir de réchauffement global 265 fois plus élevé que le CO₂.

²¹ Dans Steffen *et al.* 2015, les valeurs seuil utilisées sont de 62 Tg/an pour l'azote et de 6,2 Tg/an pour le phosphore. Les auteurs, ainsi que les auteurs cités par cette étude, précisent que les problématiques liées à l'excès de nutriments

et al., 2015b). Elles sont par ailleurs appelées à augmenter, pour répondre à la demande alimentaire croissante (Eickhout *et al.*, 2006). Outre la perturbation des cycles biogéochimiques, la rupture métabolique pose d'ailleurs de sérieuses questions quant à la sécurité alimentaire (Sutton *et al.*, 2013). Le système agricole – et donc alimentaire – est en effet extrêmement dépendant de ces nutriments issus de ressources fossiles, dont la disponibilité est mécaniquement vouée à décroître. Si l'azote est présent en grande quantité dans l'atmosphère et peut être fourni aux cultures par des méthodes renouvelables (Chel et Kaushik, 2011), il en va autrement du phosphore dont l'approvisionnement dépend de ressources minières (Cornish, 2011 ; Déry et Anderson, 2007), et dont la raréfaction est exacerbée par les tensions géopolitiques existantes dans les régions dotées de ressources (Cordell *et al.*, 2009).

Résorber la rupture métabolique

Ces constats appellent à un changement en profondeur dans la gestion des résidus organiques, afin que les systèmes agricoles soient en mesure de fournir une alimentation en quantité suffisante, sans menacer l'intégrité et la stabilité des écosystèmes (Galloway *et al.*, 2008 ; Kahiluoto *et al.*, 2014). Il existe notamment un potentiel important de recyclage des nutriments des zones en excédent structurel vers les zones en déficit structurel (Aubry *et al.*, 2014). La résorption de cette rupture implique l'intensification des échanges et synergies entre producteurs de résidus organiques et utilisateurs potentiels. La mise en œuvre de telles synergies, si elle a pu apparaître comme une évidence dans les précédents modèles agricoles (Berkes *et al.*, 2000), se trouve aujourd'hui confrontée à la dépendance au sentier (Barnett *et al.*, 2015 ; Spangler *et al.*, 2022), et à la configuration actuelle du mode de gestion des déchets (Charvolin, 2003). Ainsi, ce recyclage reste à l'heure actuelle très peu réalisé, et les nutriments excédentaires sont majoritairement traités comme des déchets à épurer. Pour améliorer ce recyclage, il est nécessaire de mobiliser des méthodes et des outils qui étudient les ressources nécessaires aux activités humaines et les déchets que celles-ci produisent, dans l'objectif de les rendre durables. C'est notamment à ce type de question que s'intéresse l'écologie industrielle, et plus spécifiquement l'écologie territoriale qui y apporte un regard systémique.

1.2. L'écologie territoriale : approche systémique de l'écologie industrielle

L'écologie industrielle est un champ scientifique qui permet de formaliser et mesurer la rupture métabolique tout en fournissant des solutions pour la résorber comme la symbiose industrielle (1.2.1). En tenant compte de l'encastrement social de telles symbioses (1.2.2) et de la traduction de cet encastrement au sein de territoires (1.2.3), l'écologie territoriale permet d'aborder ces questions avec un regard systémique particulièrement pertinent pour développer la problématique de recherche (1.2.4)

dans l'environnement nécessitent de s'intéresser à un échelon régional plus qu'à un échelon global. Les valeurs seuils proposées sont calculées par des méthodes prenant en compte cet aspect.

1.2.1. L'Écologie Industrielle : étude du métabolisme et symbiose industrielle

De l'écologie industrielle à la symbiose industrielle

L'écologie industrielle est un point d'entrée dans les sciences de la durabilité (Ayres et Ayres, 2002), qui se base sur une analogie centrale entre les écosystèmes naturels et la société industrielle (Allenby et Cooper, 1994). L'analogie est la suivante : à l'instar de tout organisme biologique, les activités humaines nécessitent un approvisionnement régulier en matière et en énergie et relâchent dans leur environnement des déchets, c'est-à-dire des matières ou de l'énergie dégradées, qu'elles ne sont plus en mesure d'utiliser (Ayres, 1994). Il est ainsi possible de s'intéresser au métabolisme d'un procédé (Diwekar *et al.*, 2002), d'une industrie (Short *et al.*, 2014), d'un écosystème industriel (Tian *et al.*, 2012a), d'un territoire (Ribon *et al.*, 2018) voire de régions entières (Schwarz et Steininger, 1997). Les objets étudiés sont donc très divers, variant d'un niveau très local à un niveau global. Elle a conduit à la formalisation d'outils devenus communs en sciences de la durabilité, comme les analyses de flux de matière et de substance ou encore l'analyse de cycle de vie. Parmi les objets d'étude de l'écologie industrielle, la symbiose industrielle en est un tellement emblématique que les deux notions peuvent parfois être confondues. Marian Chertow en propose la définition la plus consensuelle : « *La partie de l'écologie industrielle connue sous le nom de symbiose industrielle engage des entités traditionnellement séparées dans une approche collective de l'avantage compétitif, impliquant des échanges de matière, d'énergie, et de sous-produits.*²² » (Chertow, 2000, p.314). Il est considéré que de telles synergies, en permettant le bouclage des flux de matière et d'énergie, sont des échanges gagnant-gagnant, à la fois pour chaque partenaire, mais aussi en conciliant les avantages économiques et environnementaux (Chertow et Lombardi, 2005). L'écologie industrielle peut également être considérée comme une des prémices ayant conduit, plus tard, à l'économie circulaire (Pearce et Turner, 1990) qui prend aujourd'hui le pas sur l'écologie industrielle dans les arènes institutionnelles (voir Encadré 1).

Différentes approches de l'écologie industrielle

Il existe au sein de la communauté de recherche en écologie industrielle des manières très contrastées de se positionner par rapport à l'analogie centrale et d'utiliser les outils d'analyse. Juliette Cerceau note qu'il existe une dichotomie entre une approche techno-centrée et une approche socio-centrée (Cerceau *et al.*, 2014a). La publication de Frosch et Gallopoulos, ingénieurs à General Motors, marque un tournant décisif qui contribue fortement à populariser l'écologie industrielle auprès de la communauté scientifique (Lifset, 1997), tout en ancrant cette discipline dans une approche techno-centrée (Graedel et Allenby, 1995). Le succès rencontré par cette approche peut sans doute s'expliquer par sa compatibilité avec les cadres institutionnels internationaux, et notamment celui du développement durable. (Brundtland, 1987). Elle vise avant tout à accroître l'efficacité des systèmes industriels, sans fondamentalement remettre en cause le modèle de développement économique basé sur la croissance. Elle a vivement été critiquée, notamment pour cette raison par des auteurs considérant que cela la rendait insuffisante pour répondre aux enjeux environnementaux (Buclet, 2011 ; Vivien, 2005). Remettant en cause

²² "The part of industrial ecology known as industrial symbiosis engages traditionally separate entities in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and by-products."

cela, certains auteurs se sont ouverts à une approche mettant les processus sociaux et culturels au cœur de l'écologie industrielle, dans une approche dite socio-centrée (Boons et Roome, 2000 ; Ehrenfeld, 2008), étudiant notamment l'encastrement social de l'écologie industrielle. Un développement plus exhaustif sur l'écologie industrielle et la symbiose industrielle est proposé en annexe A-1, proposant une prise de recul et un élargissement de ce cadre.

Encadré 1 : Ecologie industrielle ou économie circulaire ?

Ecologie industrielle ou économie circulaire ?

Le vocabulaire « économie circulaire », aujourd'hui beaucoup plus utilisé que « écologie industrielle », reprend largement les idées de cette dernière mais introduit d'importants biais qui n'en font pas un cadre approprié pour la réflexion de la thèse. L'idée d'économie circulaire découle assez logiquement de la métaphore biologique de laquelle s'inspire l'écologie industrielle et prend ses racines à peu près à la même période (Pearce et Turner, 1990). Elle est formalisée dans un cadre institutionnel et politique au tournant des années 2010 (Ellen Macarthur Foundation, 2014 ; Lévy, 2009). L'idée alors développée est que le système économique doit tendre vers un fonctionnement en système fermé, en minimisant les impacts environnementaux à chaque étape du cycle de vie des objets ou services (McDowall *et al.*, 2017). Dans ses principes, l'économie circulaire apparaît presque comme une simple reformulation de l'écologie industrielle avec une philosophie similaire de « bouclage des flux » (Blomsma et Brennan, 2017). Cependant, il apparaît que cette nouvelle formalisation ne s'appuie pas de manière aussi rigoureuse sur le lien entre les activités humaines et leur environnement, ce qui conduit à d'importantes ambiguïtés théoriques (Korhonen *et al.*, 2018b). Le glissement sémantique entraîne un éloignement des enjeux de la durabilité (Corvellec *et al.*, 2021), et une inscription plus marquée dans la continuité du modèle économique dominant (Calisto Friant *et al.*, 2020). La « circularité » devient ainsi un mot d'ordre normatif flou²³ sans que les avantages environnementaux soient avérés. Cela entraîne un risque important de confusion entre les fins et les moyens, la circularité devenant parfois un objectif en soi (Harris *et al.*, 2021) plutôt qu'un outil de durabilité. L'économie circulaire s'apparente donc plus à un référentiel d'action politique plus qu'à un réel champ scientifique (Korhonen *et al.*, 2018a), bien que la littérature concernant ce concept abonde depuis quelques années (Merli *et al.*, 2018). Devenue au centre de l'attention, l'économie circulaire ne peut pas être simplement ignorée, car la mise en œuvre des principes de l'écologie industrielle se trouve de fait absorbée au sein de ce référentiel (Saavedra *et al.*, 2018). Dans le cadre français, par exemple, l'écologie industrielle et territoriale est vue comme un des leviers de l'économie circulaire²⁴. Ce glissement entraîne une réduction très forte du champ d'application de l'écologie industrielle, la restreignant aux synergies entre entreprises industrielles (la symbiose industrielle). Par ailleurs, l'économie circulaire a tendance à se focaliser sur la gestion des déchets, ce qui entraîne un fort appauvrissement des leviers de transformation du système productif en amont de la production de ces déchets.

²³ Ce que nous appellerons plus tard dans la thèse un *idéographe* (Joly, 2010) voir section 3.2.3.

²⁴ <https://expertises.ademe.fr/expertises/economie-circulaire/leconomie-circulaire>, consulté en août 2022.

1.2.2. L'encastrement social de l'écologie industrielle

Embeddedness dans la pensée économique

Le terme *embeddedness*, initialement issu des écrits de Karl Polanyi (1944), traduit que l'économie ne peut être conçue de manière indépendante des phénomènes sociaux et politiques (Polanyi, 1944). Il pointe notamment l'incohérence du projet des économistes classiques, qui souhaitent la mise en place d'un marché complètement autonome de la société et autorégulé. Il démontre que la mise en place et le maintien d'un tel marché nécessite une forte intervention des pouvoirs publics, notamment pour intégrer dans ces marchés des produits « fictifs » qui en sont initialement exclus (comme la force de travail, ou la terre). Il montre par ailleurs que ces transformations engendrent des résistances sociales qui rendent impossible la réalisation de ce projet (Block, 2001). Granovetter réutilise le terme *embeddedness* dans ses travaux, qui contribuent à le populariser dans la communauté scientifique (Granovetter, 1985). L'auteur met en évidence l'importance des relations sociales au sein des transactions économiques. Il souligne l'importance de considérer les agents économiques non comme des individus isolés mais comme faisant partie d'un réseau. Les transactions et les actions de ces acteurs peuvent ainsi s'expliquer au travers de ces réseaux, notamment car il leur est nécessaire d'entretenir des relations de confiance avec les autres membres. Granovetter contribue ainsi à la démonstration que les phénomènes économiques sont étroitement liés à des phénomènes sociaux. En langue française, cette notion a été traduite par *encastrement* et a également rencontré du succès en tant qu'approche sociologique de l'économie. Pour reprendre une formulation de Le Velly, la notion d'encastrement revient à « *prendre en compte le lien indissociable entre l'action et le cadre dans lequel elle se joue. Le social n'est pas le décor, c'est le socle des activités économiques.* » (Le Velly, 2002, p.12).

L'écologie industrielle et les sciences humaines

L'encastrement social des échanges économiques a d'importantes répercussions sur le champ de l'écologie industrielle. Dans l'introduction de l'ouvrage de référence coordonné par Boons et Howard-Grenville, les auteurs prennent la position suivante : « *Les actions des individus et des organisations qui sont à l'origine des flux de matière et d'énergie ne peuvent seulement être comprises qu'en prenant en compte le contexte social dans lequel elles interviennent, la politique gouvernementale et/ou les mécanismes de libre marché n'étant que des aspects de ce contexte*²⁵ » (Boons et Howard-Grenville, 2009, p.13). Ils inscrivent cette analyse dans le cadre proposé par Zukin et DiMaggio qui introduit quatre niveaux d'encastrement : cognitif, culturel, structurel et politique (Zukin et DiMaggio, 1990). L'encastrement cognitif correspond au fait que la rationalité des décisions individuelles est limitée par le niveau d'information disponible, notamment lorsque les incertitudes sont élevées, comme c'est généralement le cas dans les problématiques environnementales. L'encastrement culturel renvoie à l'existence de normes et valeurs partagées entre les acteurs opérant à un niveau collectif, contribuant à l'établissement d'une entente et d'une confiance mutuelle (Ashton et Bain, 2012). Ces normes peuvent être partagées à des niveaux variables comme un secteur industriel, une région, un pays ou un

²⁵ "The actions of individuals and organizations that create energy and material flows can only be understood by taking into account the social context in which they operate, and government policy and/or a free market mechanism are only aspects of such a context."

continent. L'encastrement structurel, proche de celui développé dans les travaux de Granovetter, correspond à l'existence de réseaux d'interactions au sein desquels évoluent les acteurs, et qui permettent donc d'expliquer une partie de leur comportement (Gnyawali et Madhavan, 2001). L'encastrement politique fait référence à l'influence des réglementations, lois et politiques publiques sur les activités économiques. Boons et Howard-Grenville proposent d'ajouter à cette liste deux niveaux d'encastrement propres à l'écologie industrielle : un niveau spatial et un niveau temporel. La dimension spatiale renvoie à la réalité physique et géographique dans laquelle prennent place les transferts de flux, et renvoie ainsi directement à l'aspect territorial de l'écologie industrielle. La dimension temporelle s'intéresse à l'aspect historique du métabolisme et des interactions entre les différents acteurs. D'une certaine manière, cet aspect temporel renvoie au principe « d'acculturation », c'est-à-dire à l'acquisition progressive d'une culture commune entre les acteurs de certains enjeux ou de certaines pratiques. Le Tableau 1 résume ce cadre fondateur, et la signification des différents niveaux d'encastrement.

Tableau 1 : Les différentes dimensions de l'encastrement de l'écologie industrielle telles que décrites dans l'ouvrage coordonné par Boons et Howard-Grenville (2009).

<i>Encastrement</i>	<i>Signification</i>
<i>Cognitif</i>	Limites de la décision humaine en situation d'incertitude.
<i>Culturel</i>	Influence des normes sociales opérant à un niveau collectif.
<i>Structurel</i>	Existence de réseaux sociaux entre individus.
<i>Politique</i>	Lois, normes, politiques publiques.
<i>Spatial</i>	Proximité géographique.
<i>Temporel</i>	Evolution temporelle des interactions (acculturation).

Aspects sociaux des symbioses industrielles

En ce qui concerne la symbiose industrielle, l'intérêt porté à l'encastrement est lié au constat que l'existence d'un potentiel technique de synergie est loin d'être suffisante pour que les synergies se mettent effectivement en œuvre (Neves *et al.*, 2019). Au-delà de la compatibilité entre une offre et une demande de sous-produits, celles-ci impliquent en effet la coopération entre des acteurs qui n'en ont traditionnellement pas l'habitude (Spekkink, 2015), ce qui recentre l'attention sur la qualité des rapports humains entre les différents porteurs. Les notions de *distance mentale* (Ashton et Bain, 2012), de *proximité* (Beaurain et Brullot, 2011), ou encore de *confiance* (Spekkink et Boons, 2016) sont par exemple mobilisées pour comprendre et qualifier ces mécanismes sociaux, considérés alors comme d'importants leviers de mise en œuvre des symbioses industrielles (Baas et Huisingh, 2008 ; Mortensen et Kørnøv, 2019). Une rapide revue des travaux réalisés en ce sens illustre en quoi les différentes dimensions de l'encastrement ont été étudiées.

Ashton et Bain proposent une méthodologie pour évaluer les différents aspects des relations interpersonnelles au sein des symbioses industrielles, permettant notamment d'évaluer l'encastrement cognitif et social (Ashton et Bain, 2012). Les auteurs montrent qu'il n'y a pas de dimension d'encastrement prépondérante de manière générale, leur importance relative variant avec la situation. Un large volet d'analyse porte sur l'encastrement structurel, qui s'intéresse à comprendre les réseaux d'interactions et leur influence sur la mise en œuvre de synergies. L'analyse de réseaux sociaux est ainsi un outil qui est mobilisé afin de comprendre la structure des échanges entre les différents membres des symbioses industrielles (Domenech et Davies, 2011 ; Mat *et al.*, 2012). L'aspect structurel fait également intervenir l'analyse du pouvoir des différentes parties prenantes, qui influence la mise en œuvre des synergies (Hein *et al.*, 2017).

Certaines études mettent par exemple en évidence la prépondérance d'un acteur au sein du réseau d'interaction, soit de par sa capacité à accepter beaucoup de sous-produits différents, soit au contraire car il est la source de beaucoup de sous-produits pouvant être acceptés par les autres acteurs (Korhonen, 2001). Les auteurs utilisent le terme *anchor-tenant* pour décrire un tel acteur, que nous traduirons par « acteur pivot »²⁶. D'autres études se sont portées sur l'importance de l'influence personnelle de certains acteurs particuliers au sein des symbioses industrielles. Hewes et Lyons mettent en évidence que le succès de ces démarches tient à l'existence d'acteurs charismatiques centraux, qu'ils nomment *champions*²⁷, qui promeuvent activement les projets de synergies (Hewes et Lyons, 2008). Cet aspect est un point important sur lequel nous reviendrons lorsque nous aborderons ces démarches sous l'angle de l'innovation. L'encastrement politique des symbioses industrielles a été étudié sous l'angle des programmes de développement de symbioses industrielles à l'échelle de pays. Ces politiques publiques favorisent la mise en place de synergies, tout en prédéfinissant la forme sous laquelle elles se développent. Dans certaines situations, la symbiose industrielle est développée sous une forme prédéterminée, devant répondre à des métriques précises et explicites (Shi *et al.*, 2012a, 2012b). Dans d'autres situations, la puissance publique s'efforce de mettre en place un cadre de synergie beaucoup plus libéral, basé sur la mise en relation de structures disposant de sous-produits et de structures pouvant les utiliser comme matière première (Mirata, 2004). L'encastrement temporel des symbioses industrielles a alimenté de nombreuses observations sur la manière dont se construisent progressivement les différents partenariats entre acteurs (Baas et Boons, 2007 ; Paquin et Howard-Grenville, 2012 ; Spekkink, 2015). Il a par exemple pu être observé que les synergies mises en place se basaient régulièrement sur des réseaux d'interconnaissance préexistantes (Spekkink et Boons, 2016). Enfin, concernant l'encastrement spatial des symbioses industrielles, la relation entre la valeur économique des sous-produits et la distance qu'ils parcourent a par exemple été étudiée, montrant de manière paradoxale que la corrélation entre les deux n'était pas particulièrement marquée (Jensen *et al.*, 2011). D'autres études de la dimension spatiale ont permis d'élucider la perception du territoire par les acteurs, permettant de remarquer l'existence de différents niveaux de représentation de l'espace géographique (Cerceau *et al.*, 2014b).

Encastrement territorial

Ces différents exemples soulignent l'attachement de la symbiose industrielle avec le contexte très spécifique dans lequel elle s'inscrit. Il est donc admis qu'elle est indissociable de son aspect territorial (Cerceau *et al.*, 2018 ; Madelrieux *et al.*, 2017a). Le concept de territoire porte en lui-même toutes les modalités d'encastrement décrites ci-dessus, bien au-delà de la dimension spatiale avec laquelle il est parfois confondu. Pour saisir la profondeur de l'écologie territoriale, il convient de se pencher sur la définition que les géographes donnent du territoire et de la manière dont celui-ci est représenté en écologie industrielle.

²⁶ On trouve notamment cette traduction dans les travaux de Beurain et Varlet, (2015). D'autres utilisations de la terminologie « acteur-pivot » ont été faites dans le champ de l'écologie industrielle, notamment par Sabrina Brullot dans sa thèse (Brullot, 2009).

²⁷ Le terme ayant une signification en français similaire à celle des auteurs, nous garderons le terme « champion » pour revenir sur ce concept.

1.2.3. Le territoire comme objet d'étude

Un système complexe

La notion de territoire renvoie à une représentation des interactions entre acteurs et espace (Berque, 2000), s'approchant de ce qui est décrit dans la littérature anglophone comme le *sense of place* (Grenni *et al.*, 2020)²⁸. La littérature scientifique qui s'y intéresse souligne la multi-dimensionnalité des territoires et la pluridisciplinarité des approches nécessaire pour les définir. Moine indique que « *le territoire est un système complexe évolutif qui associe un ensemble d'acteurs d'une part, l'espace géographique que ces acteurs utilisent, aménagent et gèrent d'autre part.* » (Moine, 2006, p.126) Dans cette définition, il décline la complexité du territoire en trois sous-systèmes : celui des acteurs, celui de l'espace géographique et celui des représentations forgées par les filtres individuels. Le système des acteurs correspond à un réseau relié par diverses formes de relation allant au-delà de l'échelle purement économique, comme le partage de connaissances, de pratiques, ou des liens interpersonnels (Mikhaylov, 2018). L'espace géographique correspond à la dimension physique et matérielle du territoire, comprenant à la fois les éléments géologiques et biologiques, les infrastructures techniques, et une dimension politique et institutionnelle (Moine, 2006). L'espace des représentations correspond à une dimension imaginaire et idéelle, construite par le vécu des acteurs du territoire et les informations qui leurs sont disponibles (Di Méo, 2006). Une part de ces représentations tient d'un processus collectif de construction d'un récit historique, tandis qu'une part est propre à chaque acteur au vu de son expérience propre. Parfois décrit comme un écosystème, le territoire peut être représenté comme une « *mosaïque d'un ensemble unique de ressources et d'infrastructures.* »²⁹ (Mikhaylov, 2018, p.1021).

La multiplicité des espaces

Paradoxalement, l'emploi immodéré du concept de territoire, notamment dans les politiques d'aménagement et de développement économique (Peres, 2020) en a fait un concept flou et « fourre-tout » (Moine, 2006). Les territoires ont ainsi tendance à en être réduits aux espaces administratifs qui délimitent spatialement les actions publiques (Bartoli et Trébuçq, 2022). La conception du territoire comme un périmètre géographique délimité a pour conséquence d'enfermer les actions entreprises au niveau territorial dans des pièges d'échelles³⁰. De tels pièges se traduisent par le fait que « (...) *la désirabilité et l'importance d'une échelle particulière est considérée comme supérieure aux autres, ce qui tient pour acquis que ces échelles particulières ont des qualités intrinsèques* »³¹ (Madsen, 2022, p.340). En ce sens,

²⁸ Il est important de noter, à ce propos, que le nom *territory* ou l'adjectif *territorial* en anglais ne réfèrent pas à ce concept de territoire en tant que système complexe.

²⁹ "mosaic of a unique set of resources and infrastructures".

³⁰ Traduction de *scalar trap* (Madsen, 2022)

³¹ "(...) the desirability and importance of one scale is assumed over others, which in turn takes for granted that particular scales have particular inherent qualities."

Laganier pose des questions clés concernant l'équité territoriale et l'échelle adaptée pour traiter les problèmes environnementaux : « *Ne peut-on [pas] admettre que la durabilité d'ensemble d'un pays puisse s'obtenir au détriment d'une région particulière ou, allant jusqu'à accepter l'idée d'équité interrégionale, ne peut-on accepter que la durabilité interne à la région s'obtienne au détriment d'une zone particulière, interne à cette région ?* » (Laganier et al., 2002, p.6). Les auteurs mettent ici en évidence qu'il peut être contre-productif de s'intéresser à la durabilité sur un territoire sans se soucier des liens qu'il entretient avec d'autres territoires. Ils pointent notamment un décalage important entre un « espace des problèmes » et un « espace des réponses ». Di Méo (2008) note un décalage similaire entre un « territoire des enjeux », correspondant à des objets d'intérêt pour l'action collective, et un « territoire des motivations », qui est issu des stratégies individuelles liées aux représentations de chaque acteur du territoire.

Une échelle de mise en œuvre des politiques environnementales

Le territoire est considéré comme une échelle indispensable pour la mise en œuvre des politiques environnementales (Hopoglu et Sevinç, 2020 ; Laganier *et al.*, 2002). Il est central dans les réflexions associées au développement territorial (Pecqueur, 2016), mettant en évidence que les acteurs composant ce territoire sont les mieux placés pour en valoriser les ressources endogènes. Il s'agit d'une échelle qui permet de traduire en actions concrètes les politiques environnementales, en impliquant dans ces transformations les acteurs ancrés localement, pour qui les enjeux sont plus directement perceptibles (Dumoulin *et al.*, 2017). La dimension territoriale permet d'apporter une réponse adaptée au contexte, au travers d'une gouvernance plurielle essentielle dans la réponse aux problèmes environnementaux (Di Méo, 2006). Elle permet de décliner ces réponses dans une multiplicité d'initiatives de nature variée, qui ne pourraient pas être élaborées de manière pertinente par une politique uniforme et tranchée issue d'un pouvoir centralisé (Mishenin *et al.*, 2018). Dans les régions post-industrielles, très représentées en Europe par exemple, il existe un fort potentiel de synergie dans les territoires mixtes périurbains comprenant la ville, l'agriculture, l'industrie et le secteur des déchets et de l'énergie (Simboli *et al.*, 2017), la proximité géographique et l'unité législative étant leurs principaux avantages. Ainsi, de par son encastrement social et notamment spatial, la symbiose industrielle s'inscrit pleinement dans ce cadre.

La dimension territoriale des symbioses industrielles

Bien que l'attachement des symbioses industrielles à un territoire ait une importance déterminante sur leur mise en œuvre, très peu d'études intègrent une réflexion explicite sur cet objet. Cerceau et al. (2014a) remarquent ainsi que le territoire prend implicitement une signification différente selon les auteurs en écologie industrielle. Dans les approches techno-centrées, il apparaît sous sa seule dimension physique, comme support matériel de la symbiose industrielle. Dans les approches socio-centrées, la symbiose industrielle est représentée comme un système d'acteurs territorialisés, dont le territoire est un projet collectif qui s'inscrit dans une stratégie de développement. En s'appuyant sur le cadre théorique des géographes, Cerceau et al. (2014a) proposent une redéfinition du territoire en écologie industrielle comme un système complexe, mettant notamment en avant l'importance des systèmes non anthropiques. Le territoire d'application de l'écologie industrielle intègre ainsi trois composantes que sont la dimension **matérielle**, la dimension **organisationnelle** et la dimension **identitaire**. Ces dimensions font écho à la lecture des symbioses industrielles par l'école de la Proximité (Gilly et Torre, 2000) proposée par Christophe Beaurain et Sabrina Brullot. Les auteurs rappellent que, selon ce cadre

théorique, il existe trois formes de proximité que sont la proximité géographique, la proximité organisationnelle et la proximité institutionnelle (Beurain et Brulot, 2011). La proximité géographique correspond simplement à la distance qui sépare les acteurs les uns des autres, renvoyant à la dimension matérielle du territoire. La proximité organisationnelle correspond aux réseaux d'interaction entre les différents acteurs, renvoyant à la dimension organisationnelle du territoire. Enfin, la proximité institutionnelle correspond à « *l'adhésion des acteurs à un espace commun de représentations et de règles d'actions orientant les comportements collectifs* » (Colletis et al. 1999 pp.27-28, in Beurain et Brulot, 2011 p.314.). Cela correspond donc à l'existence d'un cadre d'action commun et d'une vision partagée des enjeux du territoire. Cette proximité, renvoyant à une dimension identitaire du territoire, est estimée par les auteurs comme un aspect indispensable à développer lors d'une symbiose industrielle. L'aspect territorial de la symbiose industrielle est donc un assemblage de proximité entre différents acteurs qui sera amené à évoluer au fur et à mesure du processus (Beurain et Varlet, 2015).

Un processus de construction territorial

Si l'aspect territorial est structurant pour la mise en œuvre de symbioses industrielles, celles-ci participent également à la définition et la construction du territoire (Cerceau *et al.*, 2018). La mise en œuvre de synergies permet en effet d'influencer les trois dimensions du territoire. La dimension matérielle est modifiée par l'implantation de nouvelles infrastructures et par la modification des interactions avec le milieu naturel (préservation d'une ressource, ou au contraire, nouvelles sources de perturbations). Les nouveaux modes de fonctionnement et synergies correspondent à une modification de la dimension organisationnelle. Enfin, la structuration de symbioses industrielles autour d'acteurs moteurs et l'acculturation progressive des autres acteurs à ce type de démarche entraîne une modification de la dimension identitaire. Les symbioses industrielles modifient ainsi en profondeur les territoires dans lesquels elles s'implantent, leur influence dépassant parfois même le simple cercle des acteurs participant aux synergies. Par le biais de l'action collective, ces démarches permettent d'acquérir de nouvelles ressources et de produire de nouvelles richesses qui étaient inaccessibles par les actions individuelles non concertées. Les chercheurs en écologie territoriale définissent ce phénomène par l'augmentation de la **capabilité territoriale** (Buclet *et al.*, 2015)³². La capabilité offre ainsi la possibilité aux acteurs de faire évoluer le territoire dans une direction jugée souhaitable, bien que cette direction soit elle-même sujette à des négociations (Cerceau et Florentin, 2018).

1.2.4. Ecologie territoriale : objectifs et applications

L'écologie territoriale

Se saisissant du territoire comme objet d'étude, l'écologie territoriale s'intéresse à des systèmes plus larges que les approches classiques et techno-centrées de l'écologie industrielle, en mettant en regard la composante physique et la composante sociale du métabolisme. Héritière de l'écologie urbaine et de l'écologie industrielle, elle s'affirme cependant explicitement en

³² La capabilité est initialement une notion introduite par l'économiste Amartya Sen, dont la thèse est que la maximisation des libertés individuelles maximise également le bien-être (Bénicourt, 2007). Cette approche rejette l'idée d'une capabilité collective, ce qui s'oppose aux principes de l'écologie territoriale. Jugeant malgré tout ce cadre intéressant, les chercheurs détournent fortement le concept pour s'attacher à le mobiliser dans une approche collective (Buclet *et al.*, 2015).

rupture avec ces approches (Barles *et al.*, 2011). Elle « *privilégie une entrée par le territoire, à la fois espace localisé et théâtre de jeux d'acteurs complexes (...)* » (Barles *et al.*, 2011, p18). Elle s'intéresse donc au métabolisme du territoire, en y associant « *l'analyse des acteurs, institutions, politiques, techniques qui sont à l'origine de ces flux, c'est-à-dire la dimension sociale du métabolisme, au côté de celle des processus naturels qui le guident.* » (*ibid.*). L'écologie territoriale s'intéresse par exemple à l'approvisionnement en matière et en énergie des villes et à leurs zones de rejet (Bahers *et al.*, 2019). Elle s'intéresse également à l'interaction entre les filières de production et les territoires dans lesquelles elles sont ancrées (Madelrieux *et al.*, 2017b). Cela permet par exemple d'évaluer la répartition du pouvoir dans la chaîne d'interaction entre les différents acteurs au sein de réseaux territorialisés (Gabriel, 2021). L'étude du métabolisme territorial s'inscrit dans une perspective de transition socio-écologique (Barles, 2017) qui vise à faire évoluer la société vers un fonctionnement compatible avec les limites environnementales dans lesquelles elle s'inscrit (Haberl *et al.*, 2016). Cet aspect se base sur le concept de **régime socio-écologique**, qui sont définis comme des « *schémas d'interaction entre la société et son milieu, maintenus dans un équilibre relativement dynamique sur de longues périodes* » (Fischer-Kowalski et Haberl, 2007). L'idée sous-jacente derrière ce concept est que les sociétés humaines sont progressivement passées d'un régime de chasseurs-cueilleurs à un régime agraire, puis à un régime industriel, ce dernier étant la cause des déséquilibres majeurs de l'anthropocène. L'écologie territoriale se donne pour objectif d'imaginer une nouvelle transition socio-écologique, en s'appuyant sur l'étude du métabolisme des sociétés (Esculier, 2018 ; Krausmann *et al.*, 2008). Avec un regard systémique sur la situation de rupture métabolique, capable d'appréhender les aspects techniques et leur encastrement social, l'écologie territoriale constitue un cadre de pensée particulièrement adapté pour développer la problématique de recherche. Cependant, la mise en œuvre de ses principes pour transformer réellement les systèmes qu'elle étudie reste rare, contrairement au volet normatif marqué des symbioses industrielles plus techno-centrées.

Une difficile mise en action de l'écologie territoriale

Malgré la terminologie employée, les démarches d'écologie industrielle et territoriale (EIT) – correspondant à la mise en œuvre de symbioses industrielles dans le contexte national français, cf. Encadré 8 en Annexe A-1 – ne tiennent que peu de l'écologie territoriale telle qu'elle est développée par le monde de la recherche. Si les questions de métabolisme et d'encastrement social sont bien présentes dans les démarches d'EIT, celles-ci ne s'inscrivent pas dans l'ambition de transition socio-écologique dans laquelle se situe l'écologie territoriale. Par ailleurs, le cadrage institutionnel de ces démarches restreint fortement leur domaine d'application et rend ainsi difficile la conception de symbioses industrielles centrées sur la rupture métabolique, intégrant notamment le secteur agricole au premier plan. De ce fait, l'écologie territoriale peine pour l'instant à dépasser le volet descriptif et à se transcrire en un outil normatif dédié à l'action dans les territoires (Gabriel *et al.*, 2020). Il existe seulement quelques travaux emblématiques dédiés à l'interaction avec des acteurs territorialisés (Buclet *et al.*, 2015 ; Petit *et al.*, 2018). Depuis quelques années, la volonté transformative de l'écologie territoriale est renouvelée par la stratégie nationale bioéconomique, un nouveau cadre d'action publique qui s'intéresse aux synergies territoriales dans l'usage de la biomasse (Wohlfahrt *et al.*, 2019a). Ce cadre sert de référentiel dans la conduite de démarches concertées de gestion de la matière à l'échelle de territoires, à la fois par les institutions (Ademe, 2018) et le monde de la recherche (Grillot *et al.*, 2019). Les similarités de ces démarches avec la symbiose industrielle, en particulier lorsque la réflexion porte sur les déchets organiques, restent cependant peu considérées. Ces constats amènent à proposer une transposition de la logique de symbiose industrielle avec l'angle d'étude de l'écologie territoriale capable d'intégrer cette question bioéconomique.

1.3. La symbiose territoriale bioéconomique : une réponse à une situation de rupture métabolique territorialisée

Le cadre théorique présenté jusqu'ici permet à présent de développer deux objets centraux de la thèse : la **symbiose territoriale** et la **rupture métabolique territorialisée**. La première est une réponse collective à la situation problématique exposée par la seconde. Cette section développe en détail ces deux aspects et trace un lien avec la question émergente de la bioéconomie.

1.3.1. La symbiose territoriale : un outil normatif de l'écologie territoriale

Définition de la symbiose territoriale

La terminologie de symbiose territoriale n'est pas particulièrement usitée, mais dérive à présent logiquement du positionnement de l'écologie territoriale par rapport à l'écologie industrielle. Dans le monde académique francophone, la seule contribution à la définition de la symbiose territoriale est proposée par Perret. Ses travaux l'introduisent comme une prolongation de la symbiose industrielle, tenant en compte de la dimension systémique et humaine des territoires. Selon elle, « *Aller en direction d'une symbiose territoriale systémique qui protège la*

Biosphère et permette un développement territorial viable suppose non seulement la création de nouveaux liens mais aussi de nouveaux rapports humains ou rapports à l'environnement au sens large » (Perret, 2018, p.13). Au-delà des synergies matérielles, il s'agit donc d'un processus de développement de la capacité territoriale, en s'intéressant notamment aux multiples proximités entre les acteurs. Le cadre de l'écologie territoriale permet de situer plus précisément le positionnement et les objectifs de cette approche, notamment en distinction avec la symbiose industrielle, comme le synthétise la Figure 9. Dans le cadre de cette thèse, la symbiose industrielle est vue comme une appellation générique pour désigner tout type de démarche ayant pour objectif d'implanter des synergies (techniques ou non) entre des acteurs à une échelle spatiale dépassant l'activité d'un seul acteur. Un de ses objectifs est de recycler au mieux les flux de matière et d'énergie. Cet outil désigne avant tout **l'ambition normative** et transformative de l'écologie industrielle, c'est-à-dire la mise en application de l'analyse du métabolisme pour transformer la société, plus ou moins en profondeur. Ce terme englobe ainsi toute la diversité existante de symbioses industrielles (Boons *et al.*, 2016), qu'il s'agisse de synergies entre entreprises co-localisées, d'éco-parcs, de dynamiques à l'échelle de zones industrielles, ou encore d'initiatives territoriales impliquant une grande diversité d'acteurs comme les démarches d'EIT. Dans cette généralité, la symbiose territoriale correspond à l'application de cet outil avec les considérations de l'écologie territoriale, c'est-à-dire en s'intéressant avant tout au territoire comme système complexe. La symbiose territoriale est donc **la mise en œuvre d'un processus visant à modifier le métabolisme d'un territoire en mobilisant les acteurs qui contribuent à ce métabolisme, quelle que soit leur nature, et dont l'un des objectifs est que les déchets de certains acteurs puissent devenir des ressources pour d'autres**. Elle traduit la volonté de mettre en œuvre des synergies, non pas entre des entreprises ayant un caractère industriel, mais entre des acteurs diversifiés composant le territoire et participant à son métabolisme. Par ailleurs, ces synergies ne sont pas considérées comme une fin en soi, mais plutôt comme le moyen d'engager un changement en profondeur du métabolisme, cohérent avec les conditions de durabilité du territoire.

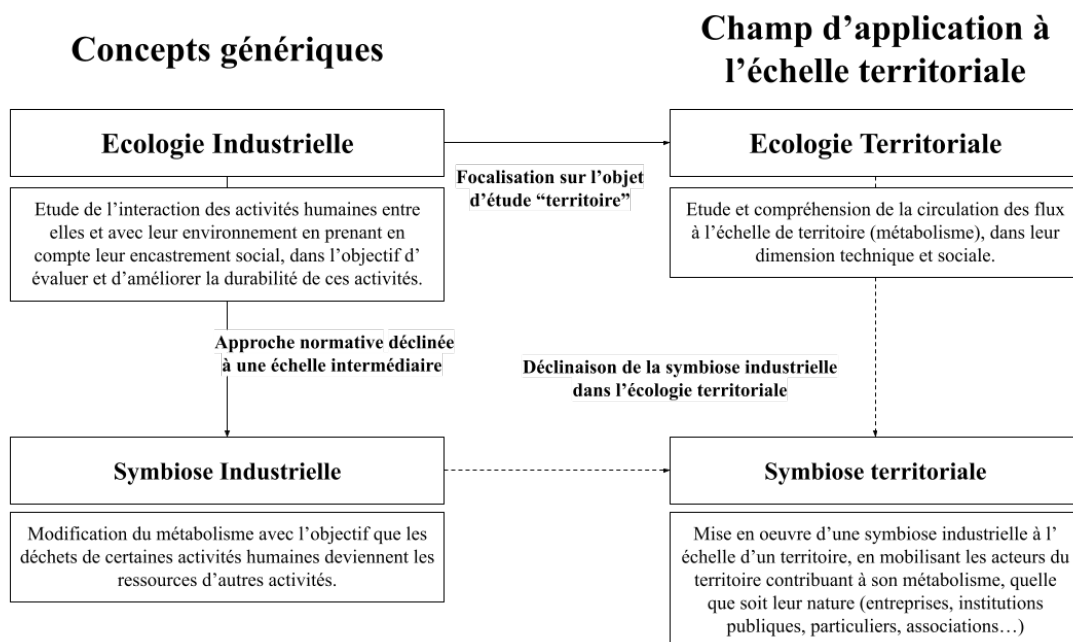


Figure 9 : Présentation de la relation considérée dans la thèse entre écologie industrielle, écologie territoriale, symbiose industrielle et symbiose territoriale.

Pour synthétiser, une symbiose territoriale est donc une symbiose industrielle qui présente les particularités suivantes : (1) Elle porte sur un **territoire**, vu en tant que système complexe, ne se limitant donc pas aux acteurs industriels ou aux entreprises de ce territoire, (2) Elle vise avant tout à établir un projet de **développement territorial** basé sur le développement des proximités entre les acteurs et l'augmentation de la capacité territoriale, (3) Elle a pour ambition une **transformation en profondeur du métabolisme**, de manière à ce que les activités humaines représentées sur le territoire soient compatibles avec les limites environnementales auxquelles elles sont soumises. Cette nouvelle formalisation ne désigne donc pas des objets totalement nouveaux. Certaines symbioses industrielles existantes, notamment certaines démarches d'EIT, répondent déjà à la définition proposée pour la symbiose territoriale, tout du moins partiellement. Par ailleurs, de nouvelles initiatives peuvent émerger, en dehors du cadre institutionnel se rapportant à l'économie circulaire, correspondant à ce type de démarches. C'est notamment le cas des stratégies bioéconomiques territoriales (Ademe, 2018), dont nous aurons l'occasion de discuter. La symbiose territoriale est donc un outil de l'écologie industrielle qui permet de mettre en œuvre **des synergies visant à résorber la rupture métabolique à l'échelle d'un territoire**. Ce type de symbiose ne peut cependant être mis en œuvre que sur des territoires présentant un certain potentiel de synergie.

1.3.2. Rupture métabolique territorialisée

La rupture métabolique territorialisée correspond à la situation qui se veut être le domaine d'application de cette thèse. L'idée est qu'il existe, dans certains territoires, un potentiel de symbiose territoriale visant à résorber la rupture métabolique, notamment au travers du recyclage des résidus organiques en agriculture. Il s'agit donc de cas dans lesquels il serait possible de mettre en œuvre des symbioses territoriales. Grâce aux apports théoriques de l'écologie territoriale, il est possible de définir cette situation de manière générale.

Ecologie territoriale et rupture métabolique

Du fait de ses spécificités, l'écologie territoriale est particulièrement adaptée pour s'intéresser aux systèmes agricoles dans le métabolisme des sociétés, ce qui en fait un outil idéal pour caractériser la rupture métabolique. Cette approche territoriale permet une analyse des flux de nutriments, et est ainsi en mesure de décrire précisément et quantifier la quantité de nutriments dont dépend l'agriculture, celle qui est rejetée par les villes et les pratiques de recyclages existantes (Billen *et al.*, 2014 ; Esculier *et al.*, 2018). Billen *et al.* se sont par exemple intéressés au système agro-alimentaire, retraçant l'origine géographique de l'approvisionnement alimentaire de la ville de Paris, mettant en évidence sa dépendance à des zones de production très éloignées (Billen *et al.*, 2012). Cet amont et cet aval caractérisent la notion d'*hinterland* qui est centrale dans l'analyse de la rupture métabolique (Bahers *et al.*, 2019). L'écologie territoriale formalise ainsi l'analyse de la rupture métabolique. Elle fournit des outils pour évaluer les propriétés du recyclage de nutriments, tout au long de la chaîne de production alimentaire (Harder *et al.*, 2021a). Dans une approche socio-écologique du territoire, l'écologie territoriale s'intéresse également aux réseaux d'acteurs, au jeu de pouvoirs, reliant ainsi la dimension sociale initiale de la rupture métabolique (Bahers et Giacchè, 2019). Certains travaux mettent particulièrement en avant le potentiel inhérent à certains territoires pour résorber la rupture métabolique, en reconnectant la production agricole avec les gisements de nutriments présents dans des déchets organiques (Petit *et al.*, 2018 ; van der Wiel *et al.*, 2019 ; Wassenaar *et al.*, 2016). Ce potentiel

s'exprime par exemple dans des territoires fortement urbanisés, disposant notamment de sources importantes et concentrées en nutriments (Wielemaker *et al.*, 2019), situés à proximité d'une agriculture nécessitant une quantité importante d'intrants (Trimmer et Guest, 2018). Il existe, dans ce type de situation, un enjeu important pour initier des symbioses industrielles qui permettent de recycler les résidus organiques dans les systèmes agricoles (Wassenaar et Queste, 2015). Wassenaar décrit deux types de territoire présentant un tel potentiel : « *les mégapoles à forte croissance et à élevage périurbain intensif, constituant le puits de nutriments provenant d'un hinterland agricole aux sols s'appauvrissant ; et les territoires confinés et isolés à forte croissance démographique.* » (Wassenaar *et al.*, 2016, p. 99).

Une jonction territoriale des deux côtés de la rupture

De manière plus générale, la rupture métabolique territorialisée est une situation dans laquelle la proximité géographique des acteurs des deux côtés de la rupture – producteurs de résidus organiques d'une part et utilisateurs d'autre part – permet d'envisager le développement de synergies. A l'instar des autres symbioses industrielles, il est nécessaire que les acteurs concernés par cette situation disposent d'une relative proximité géographique. Cet aspect est d'autant plus important pour la gestion des résidus organiques, car ils sont volumineux et humides, ce qui rend leur transport coûteux en argent et en énergie. Il est donc nécessaire de présupposer qu'il existe une unité géographique qui « fasse territoire » en ce sens, bien que l'échelle de cette unité ne soit pas une donnée prédéfinie. En termes d'écologie territoriale, la rupture métabolique se traduit lorsqu'un territoire au sens géographique est caractérisé par : (1) la présence d'activités, notamment agricoles, mobilisant des intrants non renouvelables substituables par des résidus organiques ou par des produits issus de leur transformation, (2) la production en quantité importante de résidus organiques dont la gestion ne contribue pas à substituer ces intrants et (3) l'absence de cadre d'action collectif pour gérer cette situation. Les deux premiers points traduisent un manque de proximité organisationnelle, c'est-à-dire le fait que des acteurs qui pourraient travailler en synergie n'en font rien. Cela implique généralement une diversité notable de matières organiques résiduelles différentes et/ou d'acteurs impliqués dans la gestion de ces matières. Le troisième point correspond à un éloignement institutionnel, c'est-à-dire à l'absence d'un espace commun de règles et d'actions pour modifier cette situation. Notons que cela ne signifie pas nécessairement que les acteurs n'ont pas conscience qu'il existe un problème ou des opportunités de synergie, mais plutôt qu'il n'existe aucune dynamique collective pour faire évoluer cette situation. Ce manque de proximité et de collaboration entre des acteurs géographiquement proches, dont les activités comportent un potentiel de synergie, pourrait également être qualifié de « rupture territoriale ». Cela traduit le fait que chaque activité fonctionne indépendamment des autres, que les filières de gestion des PRO raisonnent « en silo » sans s'intégrer dans une vision globale du métabolisme territorial. Cette situation de rupture métabolique territorialisée correspond à un terreau favorable à la mise en œuvre d'une symbiose territoriale telle que nous l'avons définie. Cela implique que la résorption de la rupture métabolique passe également par la résorption de la rupture territoriale, c'est-à-dire la construction d'une proximité institutionnelle. La Figure 10 représente et synthétise ces différents aspects en complétant la schématisation proposée par la Figure 6 (cf. 1.1.1).

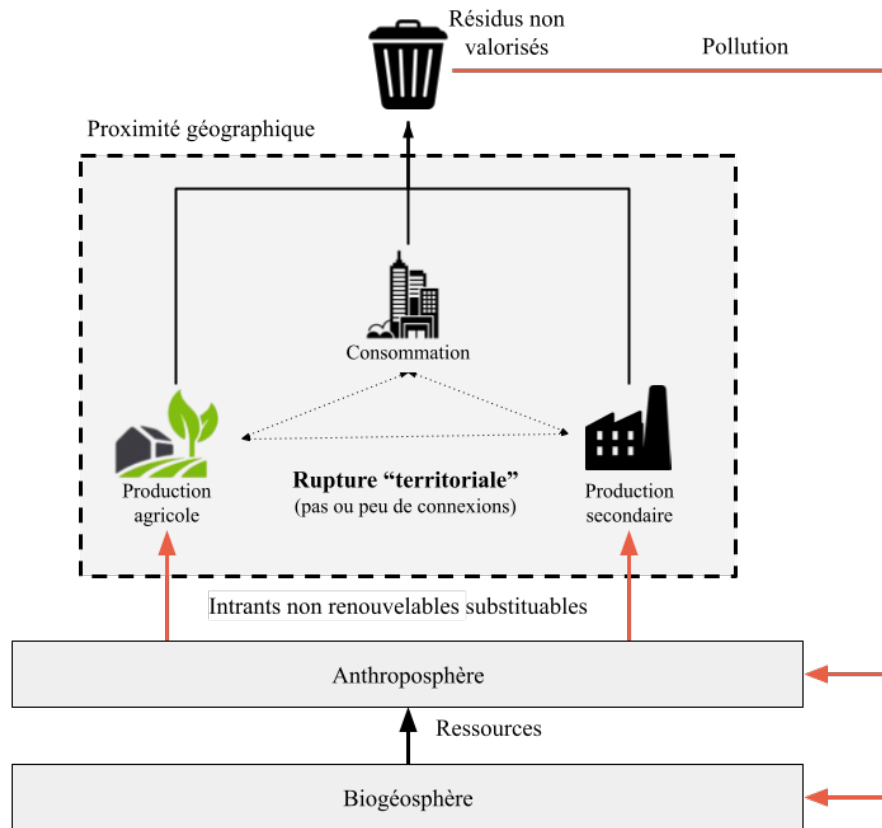


Figure 10 : Représentation schématique des flux de matière et de résidus organiques dans une situation de rupture métabolique territorialisée.

1.3.3. La bioéconomie : une extension de la rupture métabolique à la gestion de la biomasse

En se focalisant sur les nutriments et la matière organique, la problématique développée dans les paragraphes précédents se rapproche fortement du cadre de la bioéconomie recevant une forte attention dans les agendas politiques et dans les travaux de recherche (Bugge *et al.*, 2016 ; Staffas *et al.*, 2013). Ce cadre reconfigure la question de la rupture métabolique sous un angle nouveau que nous proposons de détailler, afin de comprendre la portée potentielle d'une symbiose territoriale bioéconomique.

La bioéconomie de Georgescu-Roegen

Historiquement, le mot « bioéconomie » provient de différents courants de recherche, avec des significations différentes. En biologie, il a été utilisé pour désigner l'étude des échanges entre différents organismes, mais également pour désigner l'étude mathématique du seuil maximal de prélèvement de ressources renouvelables d'un milieu donné sans compromettre le renouvellement du stock (Pahun *et al.*, 2018). C'est cependant l'utilisation de ce terme par l'économiste Nicholas Georgescu-Roegen, dans le champ de l'économie environnementale et politique, qui est aujourd'hui la plus popularisée dans la communauté scientifique. Ses travaux mettent en avant l'irréversibilité de l'utilisation de matière et d'énergie par les activités humaines, liée à l'inévitable production d'entropie attenante (Georgescu-Roegen, 1971). Selon cet auteur, « le terme est destiné à nous faire garder à l'esprit l'origine biologique du processus

économique, et de mettre ainsi en évidence le problème de l'existence humaine avec un ensemble limité de ressources, réparties et appropriées de manière inégale »³³ (Georgescu-Roegen, 1976, in Bonaiuti, 2011). Contrairement aux thèses économiques classiques auxquelles elle s'oppose vivement, cette vision de l'économie basée sur les lois thermodynamiques appelle à prendre en compte les limites physiques inhérentes au système terrestre dans les perspectives de développement. Ses thèses ont fortement influencé le champ de l'écologie industrielle (Ayres, 1994), en particulier les travaux d'écologie territoriale (Giampietro *et al.*, 2009 ; Grillot *et al.*, 2019). Ces travaux, contemporains de ceux de Meadows pointant les limites de la croissance au travers de l'analyse de systèmes dynamiques (Meadows *et al.*, 1972), ont particulièrement contribué à développer le cadre théorique et politique de la décroissance (Bonaiuti, 2011). Ce cadre est toujours discuté au niveau académique, notamment face au constat de l'inefficacité des mesures politiques prises jusqu'à maintenant pour lutter contre les dérèglements liés aux activités humaines (Parrique, 2019).

Détournement de la bioéconomie

Malgré ce cadrage très critique, la bioéconomie est devenue un programme d'action politique de développement économique qui a émergé notamment au niveau européen (European Commission, 2018) et décliné dans une stratégie nationale (Ministère de l'Agriculture et de L'Alimentation, 2018). Dans la stratégie bioéconomique française, « *La bioéconomie englobe l'ensemble des activités liées à la production, à l'utilisation et à la transformation de bioressources. Ces activités sont destinées à répondre de façon durable aux besoins alimentaires et à une partie des besoins en matériaux et en énergies des sociétés, tout en préservant les ressources naturelles et en garantissant la production de services environnementaux de bonne qualité.* » (Ministère de l'Agriculture et de L'Alimentation, 2018, p.2). Cette nouvelle utilisation du terme s'écarte cependant fortement de la portée initiale, si bien que certains auteurs n'hésitent pas à parler d'un « détournement » (Vivien *et al.*, 2019). Ce sont les dynamiques liées aux programmes de développement de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) à partir des années 2000 qui ont majoritairement contribué à la définition de la bioéconomie dans le cadre de l'action publique (Pahun *et al.*, 2018). La vision portée par l'OCDE met en avant les opportunités d'innovation et de croissance économique liées à l'intensification et à la diversification de l'usage des matières organiques et des procédés biologiques (OECD, 2004). Elle est également portée par la problématique de la saturation des débouchés agricoles vers la fin du XX^e siècle (Domecq, 1989), entraînant un excédent de production qui se confronte à un « mur des estomacs » (Debatisse, 1980). L'utilisation non-alimentaire des produits agricoles devient ainsi un enjeu à l'échelle française et européenne (Pasty, 2004), qui appelle au développement des biotechnologies. Cette bioéconomie se proclame *Knowledge-Based*, en se distinguant ainsi des usages traditionnels de la biomasse avant l'ère industrielle (Patermann et Aguilar, 2018). La stratégie européenne bioéconomique (European Commission, 2018), dont dérive celle mise en œuvre à l'échelle de la France (Etat Français et MAAF, 2017), s'inscrit dans cette volonté de développement industriel, bien qu'elle change de perspective pour y ajouter un volet environnemental marqué. Dans la continuité du développement durable et de l'économie circulaire, ces stratégies s'inscrivent comme une

³³ "The term is intended to make us bear in mind continuously the biological origin of the economic process and thus spotlight the problem of mankind's existence with a limited store of accessible resources, unevenly located and unequally appropriated."

réponse à l'enjeu de substitution d'énergies fossiles par des ressources organiques, considérées comme renouvelables (Nieddu *et al.*, 2010). Ces ressources peuvent être mobilisées pour fournir par exemple de l'énergie, des matériaux de construction, ou des molécules utilisées par la chimie.

Un terme en débat

La définition de la bioéconomie reste donc actuellement vague, et sujette à de vifs débats. La langue anglaise permet de marquer une nuance entre *bioeconomics*, se rapprochant des écrits de Georgescu-Roegen, et *bioeconomy* qui correspond aux cadres institutionnels et politiques. En se basant sur l'observation de ces contradictions, Markus Bugge et ses collègues ont proposé une formalisation de trois *visions* de la bioéconomie (Bugge *et al.*, 2016) : une vision biotechnologique, proche de celle de l'OCDE, une vision basée sur les bio-ressources à laquelle peut se rattacher la stratégie européenne, et une vision bio-écologique qui témoigne de l'influence toujours forte des travaux de Georgescu-Roegen, notamment en écologie territoriale. Nous aurons l'occasion de revenir sur ces visions dans le Chapitre 5.

Une symbiose territoriale bioéconomique

De même que pour la symbiose industrielle, le territoire est central dans la mise en œuvre des stratégies bioéconomiques et s'inscrit dans la continuité des travaux de l'écologie territoriale (Grillot *et al.*, 2019 ; Petit *et al.*, 2019). Ce nouveau cadrage élargit la thématique de la rupture métabolique de deux manières. D'une part, le système agro-alimentaire n'est plus l'unique objet d'intérêt dans la production et l'utilisation des matières organiques. C'est d'ailleurs la diversité d'usages possibles de la matière organique autre qu'alimentaire qui suscite l'intérêt et les perspectives de développement de cette bioéconomie. D'autre part, les matières organiques considérées ne sont pas uniquement des déchets organiques, c'est-à-dire des matières résiduelles, mais également des matières premières produites à dessein. La bioéconomie vise notamment à augmenter la substitution de matières non renouvelables par des matières organiques, considérées comme renouvelables. La symbiose industrielle présente le potentiel de réfléchir à la mise en œuvre de synergies à l'échelle d'un territoire pouvant contribuer à la bioéconomie. De fait, l'agriculture n'est pas la seule activité humaine qui présente un cycle ouvert, ni la seule dans laquelle la matière organique peut se substituer à des intrants non renouvelables. Au-delà de la rupture métabolique liée aux flux de nutriments telle qu'elle est représentée dans le système alimentaire (Esculier, 2018), la bioéconomie peut être vue comme une invitation à résorber une rupture du métabolisme de l'anthroposphère de manière plus générale. Cette manière de poser le problème nécessite alors de faire des arbitrages complexes entre les différents usages possibles de la biomasse (Wohlfahrt *et al.*, 2019b). Les réflexions en écologie territoriale tendent de plus en plus à prendre en compte cette question, notamment en étudiant les territoires sous l'angle des biomasses disponibles et de leur usage potentiel (Grillot *et al.*, 2019 ; Lescoat *et al.*, 2019). Notons qu'un enjeu supplémentaire est que la bioéconomie part de l'hypothèse, loin d'être évidente, qu'une telle matière est renouvelable. Pour le dire simplement, une bioéconomie basée sur un système agricole non durable ne serait pas durable (Sherwood, 2020). C'est en ce sens que des travaux récents se penchent sur la bioéconomie durable (Vainio *et al.*, 2019) ou circulaire (Cheng *et al.*, 2020), et qu'il est nécessaire d'intégrer cet aspect dans la déclinaison territoriale de la bioéconomie. La symbiose territoriale bioéconomique peut donc être définie comme une symbiose territoriale visant à reconfigurer la production et la transformation de la matière organique à l'échelle du territoire où elle se décline. Sans s'ouvrir au champ le plus large possible

de cette définition, une symbiose territoriale visant à résorber la rupture métabolique des nutriments peut prétendre répondre à un tel objectif.

Une action collective à initier

La connaissance et la représentation d'une rupture métabolique territorialisée est un motif suffisant pour développer des symbioses territoriales bioéconomiques. Face à une telle complexité systémique, il est peu probable que de telles symbioses émergent d'elles-mêmes de la part des acteurs des territoires. En cela, l'initiation de telles symbioses est un enjeu déterminant. Comme le montrent les expériences d'écologie industrielle, les synergies à mettre en œuvre sont moins un système technique à orchestrer, que l'évolution d'un système sociotechnique à négocier entre ses parties prenantes. Il s'agit donc d'une dynamique de concertation et d'innovation collective qui doit être appréhendée en tant que telle. C'est finalement grâce à l'idée de promesse plausible que nous pourrions avoir prise sur la compréhension des mécanismes d'initiation.

1.4. Initiation de la symbiose territoriale par la promesse plausible

Cette section présente en quoi il est pertinent de voir la symbiose territoriale comme une démarche de concertation et quelles en sont les conséquences quant à son initiation. Nous verrons notamment qu'elle correspond à une démarche de gestion adaptative, cadre dans lequel a été développé le concept de promesse plausible.

1.4.1. Une démarche de concertation

Des origines politiques de la concertation

Avant d'être synonyme d'action collective, la concertation s'inscrit principalement dans une pensée de l'action publique qui s'écarte d'une approche classique de la planification : Décider-Annoncer-Défendre (Komendantova et Battaglini, 2016). Ce mode de gestion classique par « commande-et-contrôle » échoue à améliorer la durabilité des systèmes sociotechniques (Holling et Meffe, 1996). L'intérêt pour la concertation est héritier du développement d'une démocratie « délibérative », inspirée par les théories de l'agir communicationnel de Jürgen Habermas (Girard, 2013). L'action publique se dote progressivement d'outils pour intégrer la participation de nouveaux acteurs aux décisions d'aménagement, notamment en ce qui concerne les problématiques environnementales (Reed, 2008). A ce sujet, Barbier et Larrue répertorient trois arguments qui ont conduit à l'institutionnalisation de telles pratiques (Barbier et Larrue, 2011). D'une part, les démarches participatives permettent de limiter l'opposition des citoyens aux nouveaux projets, souvent décrite de manière simplifiée par l'idée du « syndrome »³⁴ NIMBY – *Not In My Backyard* (« pas de ça chez moi »). D'autre part, il est considéré que la prise de décision participative améliore la qualité de ce type de décision, y compris lorsqu'elle porte sur des problèmes techniques et sociétaux complexes (Johansen et Upham, 2019), comme le

³⁴ Le mot syndrome renvoie la contestation à des facteurs psychologiques qui dissimule la complexité des controverses sociotechniques (Barbier et Rémy, 2012).

suggèrent les réflexions sur la science post-normale (cf. Chapitre 4). Enfin, elle est vue comme un progrès social et moral, remettant en cause l'hégémonie de la démocratie représentative pointée du doigt pour ses dysfonctionnements. La concertation a donc une double fonctionnalité, permettant dans un même processus d'améliorer la qualité de la décision démocratique tout en tenant compte des incertitudes et risques associés à la société technique. Cette thèse est notamment développée par Callon, Lascoumes et Barthe, désignant par le nom de « forum hybride » un processus de concertation ayant de telles vertus (Callon *et al.*, 2014).

Polysémie de la concertation

Sortant du cadre de la planification, la définition de la concertation s'est étendue pour désigner l'objectif « (...) *pour des acteurs, individuels ou collectifs, de trouver un accord, de résoudre ensemble un problème qui se pose à eux* » (Touzard, 2006, p.71). En ce sens, la concertation est souvent mal interprétée, et confondue avec des termes ayant une connotation similaire comme « participation », « négociation » ou « consultation » (Touzard, 2006). Il s'agit en réalité d'un concept « flottant » (Mermet, 2006) répondant à la fois à des définitions exclusives – en l'opposant avec d'autres pratiques d'action collective – et à des définitions inclusives – avec la volonté d'englober un ensemble large d'actions au sein d'un processus (Berthomé, 2013). Du fait de sa grande plasticité, la concertation est un concept relativement consensuel : tout le monde est généralement d'accord pour se concerter, même si tout le monde n'a pas la même vision sur ce que cela implique en termes de gouvernance. Des différences importantes existent, notamment dans le niveau de pouvoir conféré au public concerné par la concertation (Arnstein, 1969) ou encore dans la direction des flux d'information (Rowe et Frewer, 2005). Malgré ce flou, Beuret note tout de même que : « *une convergence semble se dessiner entre certains auteurs autour de points de référence que sont : la coopération entre les parties prenantes ; impliquées dans une construction collective ; au cours d'un processus* » (Beuret, 2013). Il définit : « *La concertation se base sur un dialogue horizontal entre les participants dont l'objectif est la construction collective de visions, d'objectifs, de projets communs, en vue d'agir ou de décider ensemble. Il n'y a pas obligatoirement de partage du pouvoir ou de décision entre les participants, et la décision n'est pas l'objectif premier de la concertation, dont l'intérêt réside avant tout dans le fait de construire ensemble des objets communs.* » (Beuret, 2006, p.71). Il la distingue notamment de la **gestion concertée**, qui est un « *processus dans lequel des acteurs s'engagent afin de gérer ensemble un ou des biens, espaces, ou territoires* » et qui « *se développe autour d'un processus de concertation* » (ibid, p.73). Il ne s'agit donc pas d'une démarche visant à faire accepter ou à ajuster une décision déjà prise en amont, mais plutôt de co-construire cette solution à partir des données d'un problème commun. Beuret note trois types de situations dans lesquelles peuvent intervenir une démarche de concertation : la gestion d'effets externes, la gestion des concurrences et le développement territorial (Beuret, 2006). Si, comme nous l'avons vu, la symbiose territoriale s'inscrit principalement dans ce dernier axe, elle répond aussi plus ou moins directement à la gestion d'effets externes et des concurrences. La spécificité des objets auxquels elle s'intéresse l'inscrit dans le champ de la gestion adaptative des ressources naturelles, qui permet de donner les propriétés clé du processus de concertation à mettre en œuvre au cours d'une telle démarche.

1.4.2. La gestion adaptative

La gestion des communs comme cadre de référence

La gestion collaborative des ressources naturelles est un thème qui est fortement inspiré par les travaux concernant la gestion des « biens communs ». L'idée de « bien commun » trouve ses fondements dans le droit romain (*Res Communis*) en tant que choses devant partagées par la communauté mais n'appartenant à personne (comme l'eau, l'air...) (Cangelosi *et al.*, 2021). Elle est aujourd'hui abondamment mobilisée dans la lignée de l'analyse de la « tragédie des biens communs » proposée par Garrett Hardin (Hardin, 1968). Dans ce cadre, le bien commun se définit comme une ressource dont peuvent profiter de nombreux utilisateurs, mais dont l'usage par les uns compromet l'usage par les autres (Kebir *et al.*, 2019). Hardin met en avant que les intérêts individuels sont d'exploiter au maximum ce type de ressources, ce qui a paradoxalement tendance à les faire disparaître et fait qu'elles deviennent inutilisables pour quiconque. Un exemple mobilisé par l'auteur et classiquement repris pour appuyer cette argumentation est celui de bergers se partageant une prairie en libre pâture. Dans cette situation, chaque berger a intérêt à mettre autant d'animaux qu'il le peut pour brouter cette prairie, ce qui conduit alors à sa surexploitation. Cette argumentation propose deux modes de gestion permettant de garantir la pérennité des biens communs. La première est de diviser et privatiser la ressource, de sorte que chaque propriétaire ait intérêt à protéger la fraction de ressource qu'il possède. La seconde est de confier sa gestion à un Etat, qui se chargera de mettre en œuvre des règles d'utilisation permettant de préserver les ressources. Les travaux d'Elinor Ostrom démontrent, sur une base épaisse d'observations empiriques, qu'un troisième mode de gestion peut se mettre en place, une gestion collaborative de la ressource entre ses utilisateurs (Ostrom, 2015). L'analyse de ses études de cas la conduit à déduire en ensemble de huit principes de gouvernance dont dépendent la qualité de la préservation de la ressource. Ces principes sont (1) des frontières clairement délimitées, (2) la pertinence des règles d'appropriation au vu de la nature de la ressource et des conditions locales, (3) l'ouverture de la gouvernance aux utilisateurs, (4) la surveillance, (5) des sanctions graduées, (6) des mécanismes de résolution de conflit, (7) la reconnaissance par les autres institutions du droit d'auto-organisation et (8) l'existence de multiples niveaux d'imbrication des acteurs. Nous voyons dans ces principes en quoi il est difficile de les transposer avec la question de la gestion de la matière organique résiduelle, malgré le fait que les choix d'utilisation de cette matière et les externalités conséquentes, positives ou négatives, relèvent d'un problème s'apparentant à la « tragédie des communs ».

Un cadre incomplet

Dans sa thèse, Elsa Berthet développe en quoi le cadre de la gestion collective des biens communs se révèle incomplet pour concevoir de nouveaux modes de gestion d'objets qui ne sont pas *a priori* considérés comme des biens communs (Berthet, 2013). L'idée est que la gestion concertée d'un bien commun nécessite que tous les parties prenantes de cette gestion arrivent à concevoir la ressource comme un bien commun. Dans le cadre défini par Ostrom, la définition de cette ressource et sa contribution au bien commun n'est pas l'objet central du débat, qui se focalise plutôt sur l'égal accès des parties prenantes aux avantages de la ressource. Cependant, la problématique de la rupture métabolique est loin d'être aussi claire que celle de l'utilisation partagée des pâturages, ou du partage d'une ressource en eau, par exemple. Berthet argumente ainsi que dans des situations complexes, la nature du bien commun est inconnue au préalable –

d'où sa formule *d'inconnu commun* (Berthet *et al.*, 2018). Dans cette situation, elle note d'une part que les biens communs doivent être issus d'un processus de conception (Labatut, 2009), d'autre part que le territoire peut lui-même être considéré comme un bien commun dont les propriétés désirables sont construites socialement par ses acteurs (Hannachi, 2011). Ces réflexions conduisent à souligner l'importance que la nature même du projet collectif fasse partie intégrante du processus de concertation, dans le cas où la gestion concertée porte sur des systèmes complexes mêlant représentations humaines et phénomènes biophysiques, (Berthet *et al.*, 2016). Ces aspects sont, entre autres, présents dans le cadre de la **gestion intégrée des ressources naturelles** (INRM, pour *integrated natural resource management*), qui en font une approche adaptée du type de concertation mise en œuvre au cours d'une symbiose territoriale.

La gestion intégrée des ressources naturelles comme forme de concertation

En s'intéressant à la transformation de systèmes socio-écologiques, l'INRM est un type de démarche dont les principes répondent aux enjeux portés par la symbiose territoriale (Wassenaar *et al.*, 2014). Ce cadre prend ses racines dans le développement de nouvelles pratiques agricoles, confronté à la désillusion du transfert de technologie de la révolution verte, ainsi qu'à la complexité des systèmes agricoles et à l'imprévisibilité des conséquences des innovations dans ces systèmes (Douthwaite *et al.*, 2009). Mollinga note que la gestion des ressources naturelles fait intervenir trois niveaux de complexité (Mollinga, 2010). Un premier niveau est la complexité *ontologique*, qui correspond à l'imprévisibilité des systèmes complexes faisant intervenir des éléments très hétérogènes. Le second niveau est la complexité *sociétale*, liée à la présence de multiples acteurs ayant chacun des représentations et des objectifs différents. Enfin, le troisième niveau est une *complexité analytique*, qui correspond à la difficulté de comprendre la nature même des processus physiques et biologiques à l'œuvre. Etant donné qu'il est impossible de définir, *a priori*, des solutions définitives aux différents problèmes qui se posent dans ce type de systèmes, les évolutions doivent passer par un cycle d'apprentissage adaptatif avec les agriculteurs, permettant de sélectionner les propriétés désirées (Reed *et al.*, 2006). Selon les travaux fondateurs de Jeffrey Sayer et Bruce Campbell, cette approche mobilise trois éléments : une gestion adaptative, l'implication du monde de la recherche et un processus de concertation entre toutes les parties prenantes³⁵ (Sayer et Campbell, 2002). Une collaboration étroite est donc nécessaire entre le monde de la recherche et les acteurs de terrain impliqués dans les transformations mises en œuvre. Les chercheurs qui s'intéressent à la durabilité des systèmes socio-écologiques s'accordent ainsi pour dire qu'une approche participative et adaptative est indispensable dans la gestion des problèmes environnementaux (Berkes, 2017 ; Pahl-Wostl, 2007 ; Reed, 2008). La gestion adaptative est nécessaire du fait de l'imprévisibilité des systèmes sociotechniques et de la multiplicité des valeurs en jeu dans un tel projet (Berkes, 2017).

Gestion adaptative et sélection par l'apprentissage

Une démarche de gestion adaptative implique un processus d'apprentissage, que Boru Douthwaite illustre dans le cadre de la transformation des systèmes agricoles (Douthwaite et

³⁵ Ces trois points sont une traduction personnelle, reformulée et simplifiée, du passage suivant : "Three key elements form part of the approach to implementing INRM: (1) management needs to be adaptive; (2) INRM must move further along the research –management continuum; and (3) the approach must provide for, and be based upon, negotiation among all stakeholders. INRM" (Sayer et Campbell, 2002, p.3).

Gummert, 2010). La Figure 11, issue de ses travaux, se lit de gauche à droite et de bas en haut. Le processus démarre par la formulation d'une promesse plausible, c'est-à-dire une innovation insuffisamment aboutie pour qu'elle soit parfaitement adaptée, mais suffisamment convaincante pour que les acteurs acceptent de s'engager dans une démarche visant à l'améliorer. Une fois le processus enclenché, les différents acteurs se confrontent à des cycles d'apprentissage, qui correspondent à l'enchaînement de phases d'expérimentation, d'interprétation, de déduction et d'action. Le partage des retours d'expériences des différents acteurs qui s'investissent dans la démarche, accompagné par une expertise technique externe, permet, au fur et à mesure, que la promesse plausible devienne une innovation réellement pertinente et ainsi permettre une diffusion massive. L'amélioration de la proposition technique initiale se fait donc sur la répétition de nombreuses actions d'essai-erreur, parmi lesquelles seront sélectionnées les améliorations les plus intéressantes pour les utilisateurs – à l'instar du processus de sélection naturelle des espèces en fonction des pressions environnementales auxquelles elles sont soumises. Le rôle des experts, dans cette démarche concertée, correspond donc à accompagner le processus en informant au mieux des processus techniques à l'œuvre. Leur action permet ainsi aux destinataires de l'utilisation d'améliorer leurs possibilités de mobiliser des ressources, ou, avec un autre terme utilisé précédemment, d'augmenter leur capacité (Sayer et Campbell, 2002). Ces cycles ne se déroulent pas nécessairement en présence constante de tous les acteurs, mais peuvent être déclinés dans une série d'arènes de concertation, conférant crédibilité, légitimité et pertinence aux solutions développées (Queste et Wassenaar, 2019).

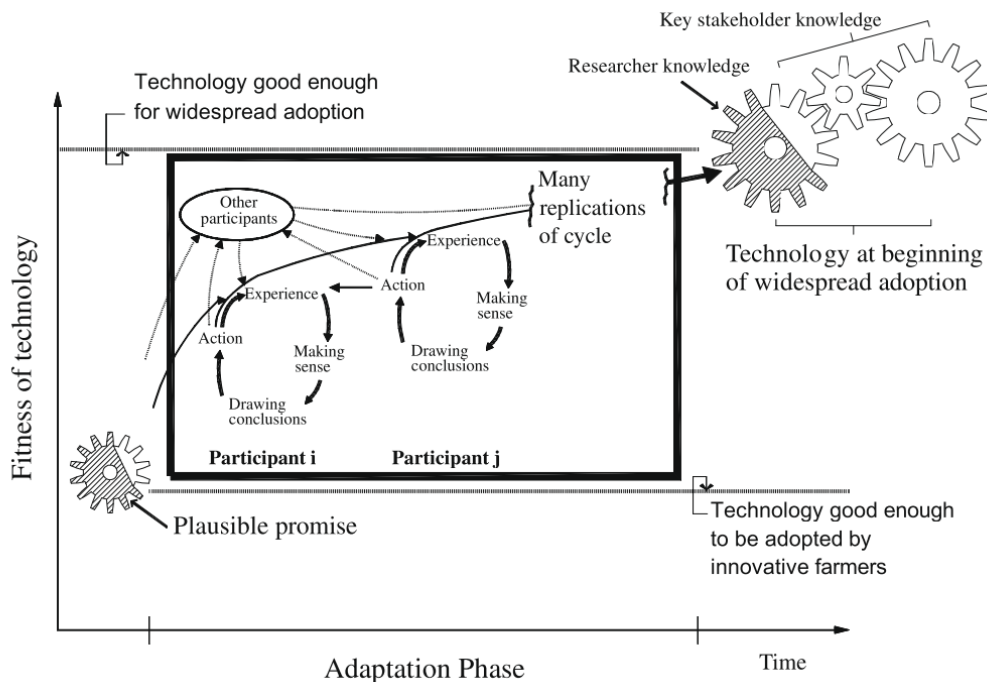


Figure 11 : Processus de gestion adaptative, recopié de (Douthwaite et Gummert, 2010).

La recherche-action en appui de la concertation

L'accompagnement de démarches de concertation par la recherche est une thématique qui a été largement investie (Etienne, 2010). Dans cette posture, le chercheur (ou le collectif de chercheurs) assume le fait d'être une partie intégrante de la concertation, dans une démarche de recherche-action participative (Chevalier et Buckles, 2019). Il est, au même titre que les autres,

une partie prenante qui a ses propres enjeux et ses propres grilles de lectures. Lorsqu'il s'intéresse aux problématiques environnementales, il constitue ce que Mermet appelle « l'acteur d'environnement » (Mermet *et al.*, 2005), c'est-à-dire l'acteur qui cherche à mobiliser les autres dans une démarche de durabilité. Parallèlement, des chercheurs s'intéressent à la résolution de problèmes environnementaux en implémentant des démarches de concertation. La méthodologie ComMod (pour « Companion Modelling ») par exemple, se propose de partir du vécu et des représentations des acteurs pour modéliser les différents éléments de leur environnement socio-écologique et leurs interactions. Ce modèle est ensuite vu comme un moyen de médiation, sur la base duquel seront déterminées les actions à mettre en œuvre pour faire évoluer ces systèmes vers un état jugé plus désirable par les participants (ComMod Collectif et Bousquet, 2009). Une autre approche développée pour aider les agriculteurs à transformer leurs modèles est proposée par l'approche Gerdal, qui met l'accent sur la pluralité des formes de connaissances et s'attache à créer des collectifs pertinents afin de traiter des problèmes communs. Cette méthode se base surtout sur le dialogue entre les parties prenantes, en veillant à équilibrer les asymétries existantes dans leurs rapports sociaux (Darré, 2006). Une autre voie possible d'implication de la recherche dans les processus participatifs est celle de l'évaluation délibérative (Allain *et al.*, 2020). Cette méthode permet d'intégrer une évaluation participative et multifactorielle à la modélisation d'un système, de sorte à pouvoir prendre en compte la multiplicité et l'incommensurabilité des éléments évalués (Allain, 2018). Ces approches de recherche-action sont des exemples édifiants de l'implication du monde de la recherche dans des problématiques réelles et de la mobilisation de connaissances appliquées directement à des situations problématiques.

Synthèse des propriétés de la symbiose territoriale en tant que démarche de concertation

Nous avons montré en quoi la symbiose territoriale s'apparente à une démarche de concertation qui partage les mêmes objets d'intérêt que l'INRM. Il est temps de synthétiser les implications de ce cadrage, de manière à expliciter les caractéristiques de la symbiose territoriale en tant que démarche de concertation.

- (1) La symbiose territoriale est un **processus de gestion concertée**. Cela implique la mise en scène de différentes arènes de concertation, dans des temps et des lieux différents, de manière plus ou moins formelle.
- (2) Cette concertation est un processus de **gestion adaptative**. Cela implique que les parties prenantes sont également acteurs du processus, dans le sens où ils jouent un rôle dans la gouvernance de la démarche. Cela implique également une circulation horizontale des informations.
- (3) Elle a pour but de **rendre durable le métabolisme du territoire**. Les objectifs concrets de la démarche ne sont pas une donnée fixée à l'avance, mais seront construits au cours du processus. Le territoire est également un objet susceptible d'évoluer et d'être redéfini au cours de la démarche.

D'après les idées qui ont été développées, entreprendre une symbiose territoriale revient ainsi à initier une démarche de concertation. L'idée de promesse plausible introduite par Douthwaite est un élément clé de cette initiation qui, à ce jour, a très peu été investiguée.

1.4.3. Une promesse plausible pour initier la concertation

L'initiation de la concertation : une question peu étudiée

Si la littérature foisonne d'outils et de cadres conceptuels pour envisager la conduite des démarches de concertation, elle reste très évasive quant à leur initiation. La plupart des méthodes prodiguent des conseils génériques, mais l'étape d'initiation semble, en soi, ne pas consister un objet d'étude particulier. Dans la démarche ComMod, le processus démarre par exemple par l'identification d'une question clé qui « *doit être définie en commun au moyen d'un libellé concis, non ambigu, accepté par le collectif, et qui sera le centre de gravité du processus (...)* » (Étienne et al., 2015, p.44). Les invitations à la réflexivité dans la formulation de cette question sont multiples – notamment, la « *non neutralité du choix de la question et sa formulation* » (*ibid.*, p.46). Cependant, la manière de construire cette question, analogue à notre promesse plausible, de manière à ce qu'elle soit acceptée par le collectif, n'est pas précisée – ni, inversement, la manière d'identifier le collectif qui considèrera la question comme légitime. Dans tous les cas, si la manière de formuler l'objet de la concertation est effectivement un point d'attention, l'étape d'engagement des acteurs au sein du processus est souvent passée sous silence. Comme le note Beuret, à un niveau d'analyse plus générique, une concertation nécessite qu'il y ait un pré-accord sur l'objet discuté collectivement (Beuret, 2013). L'auteur souligne ainsi qu'un « *acceptable commun* » (Beuret, 2006, p.116) est nécessaire lors de l'initiation. Il précise que, « *en termes d'objet, de participants, et d'échelle du dialogue, ne sera retenu que ce qui fait partie d'un « plus grand dénominateur commun » (...)* » (*ibid.*). Il reconnaît qu'en l'absence d'une initiative endogène, c'est à l'initiateur externe qu'incombe la tâche d'identifier ce « dénominateur commun ». Il recommande ainsi, dans un premier temps, d'éviter les sujets conflictuels, qui ne seront abordés que plus tard, au cours de la démarche.

En écologie industrielle, Abitbol s'est longuement interrogée sur l'initiation de démarches de coopération inter-organisationnelle (Abitbol, 2012), en mobilisant des outils de la sociologie pragmatique - sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir plus en détails au Chapitre 3. En étudiant les facteurs clés de succès d'initiation de démarches françaises emblématiques, ces travaux mettent en évidence le fait que l'initiation de démarches de gestion concertée est loin d'être triviale. Une des conclusions générales de sa thèse est la suivante : « *plus le degré d'incertitude est élevé au démarrage de la démarche – c'est-à-dire finalement plus la démarche est innovante, moins l'on sait ce qu'elle va produire ni comment y arriver et plus le degré d'ouverture dans le choix des objectifs de la démarche, de la méthodologie à employer (...) doit l'être également.* » (Abitbol, 2012, p.228). Ces travaux sont d'un grand intérêt. D'une part, ils mettent en évidence que toutes les démarches ne sont pas exactement similaires. D'autre part, ils indiquent que les conditions favorisant l'initiation de ces démarches sont dépendantes des conditions dans lesquelles elles se situent – en d'autres termes, des caractéristiques du territoire. Leur principale limite est de se focaliser sur des démarches ayant déjà été initiées, ce qui ne permet pas nécessairement de comprendre dans quelle mesure ces principes se vérifient dans un contexte plus général. Celles-ci correspondent en effet à des systèmes territoriaux majoritairement industriels, et la transposition de tels résultats dans un contexte de synergies privilégiées avec le monde agricole est loin d'être une évidence.

L'acteur scientifique : un initiateur... ou un innovateur ?

Ces réflexions mettent en avant le rôle important de l'acteur initiateur d'une démarche. Le processus de concertation est donc fortement influencé par la manière dont l'objet est introduit. En principe, n'importe quel acteur du territoire pourrait tenir un tel rôle. L'analyse des jeux d'acteurs, et notamment du rapport entre leur pouvoir, leur légitimité et leur intérêt pour la symbiose territoriale, montre cependant que certains acteurs sont prédisposés pour porter, initier ou accompagner la démarche (Brulot, 2009). Dans le cadre auquel nous nous intéressons, l'objet d'initiation de la démarche est un constat de non durabilité identifié par des membres de la communauté scientifique, qui est mis en exergue à l'échelle d'un territoire. Dans ce cas, c'est donc un chercheur ou un institut de recherche qui porte l'initiation de la démarche. En France, la communauté scientifique a ainsi joué un rôle moteur dans le développement des démarches pionnières d'EIT (Bruneval et Pannetier, 2011 ; Mat *et al.*, 2012), avant que ces démarches ne soient reconnues et encouragées à l'échelle institutionnelle (Orée, 2020). Certes, il a déjà été observé l'émergence spontanée de symbioses territoriales de la part d'acteurs du territoire, sans intervention directe des chercheurs, ni même d'autres agents extérieurs. Certaines de ces démarches ont même pu avoir un intérêt important pour le recyclage de la matière organique³⁶. Cependant, cette remarque se confronte à deux observations :

- D'une part, le cas général de la gestion de la matière organique reste le modèle d'interaction linéaire conduisant à une rupture métabolique et, si de telles initiatives émergent spontanément à certains endroits précis, il est possible d'émettre de fortes réserves quant au fait que la symbiose territoriale se généralise, d'elle-même, à grande échelle.
- D'autre part, en l'absence d'acteurs proactifs et malgré leur vision très incomplète, les chercheurs sont les acteurs qui ont le plus de capacité à être informés sur le potentiel de synergie à l'échelle du territoire, et sont les mieux à même d'évaluer leurs impacts environnementaux.

Dans la mesure où ce travail de thèse s'inscrit lui-même dans le monde de la recherche, il est pertinent de conserver ce cadrage, ce qui reste un important parti pris. La promesse plausible que nous étudierons est une **promesse plausible scientifique** : elle est construite sur la base d'une connaissance du territoire au travers de données, interprétées en fonction de problématiques environnementales formulées par la littérature académique. Ce cadrage revient à placer le chercheur dans un rôle d'innovateur. La symbiose territoriale peut effectivement être vue comme une pratique innovante, s'écartant des pratiques traditionnelles des acteurs, nécessitant un dialogue et une coopération accrues entre des structures qui ne se connaissent pas ou peu. L'innovation est, dans ce cadre, considérée comme un moyen d'intervention dans un système (Hatchuel *et al.*, 1987). Elle se rapproche de la définition que donne Elizabeth Hoffecker de l'innovation **inclusif**, comme « *une approche (...) collaborative, co-créative, multi parties prenantes, qui priorise l'action et le leadership de groupes qui sont traditionnellement exclus des activités de l'innovation (...)* »³⁷ (Hoffecker, 2021, p.5). Elle montre que ce type de processus

³⁶ On peut, à ce sujet, se référer à la démarche « Organic Vallée » faisant partie des démarches étudiées dans la Partie II.

³⁷ Citation complète : « (...) a collaborative and co-creative, multi-stakeholder approach to innovation that prioritizes the agency and leadership of groups that are traditionally excluded from innovation activities and from the benefits of economic development. Inclusive innovation processes rely upon the meaningful participation of people who are

implique, entre autres, un apprentissage social, et permet d'augmenter la capacité des acteurs à innover, tant sur le plan technique qu'organisationnel. Cela correspond tout à fait aux ambitions que se donne la symbiose territoriale (voir section 1.3.1).

Follow-the-Technology

Le processus d'innovation « Follow-the-Technology » proposé par les travaux de Douthwaite vise précisément à mettre en place le cadre de gestion adaptative dans lequel il s'inscrit. Il marque ainsi une rupture avec le modèle classique de « Transfer-of-Technology » qui peut se résumer par la célèbre phrase de l'Exposition Mondiale de Chicago de 1933 : « *la science invente, l'industrie applique et la société suit* » (Callon *et al.*, 2022). La Figure 12, issue de ses travaux, permet de comprendre la temporalité de l'innovation dans son approche et la place qu'y tient la promesse plausible (Douthwaite *et al.*, 2001).

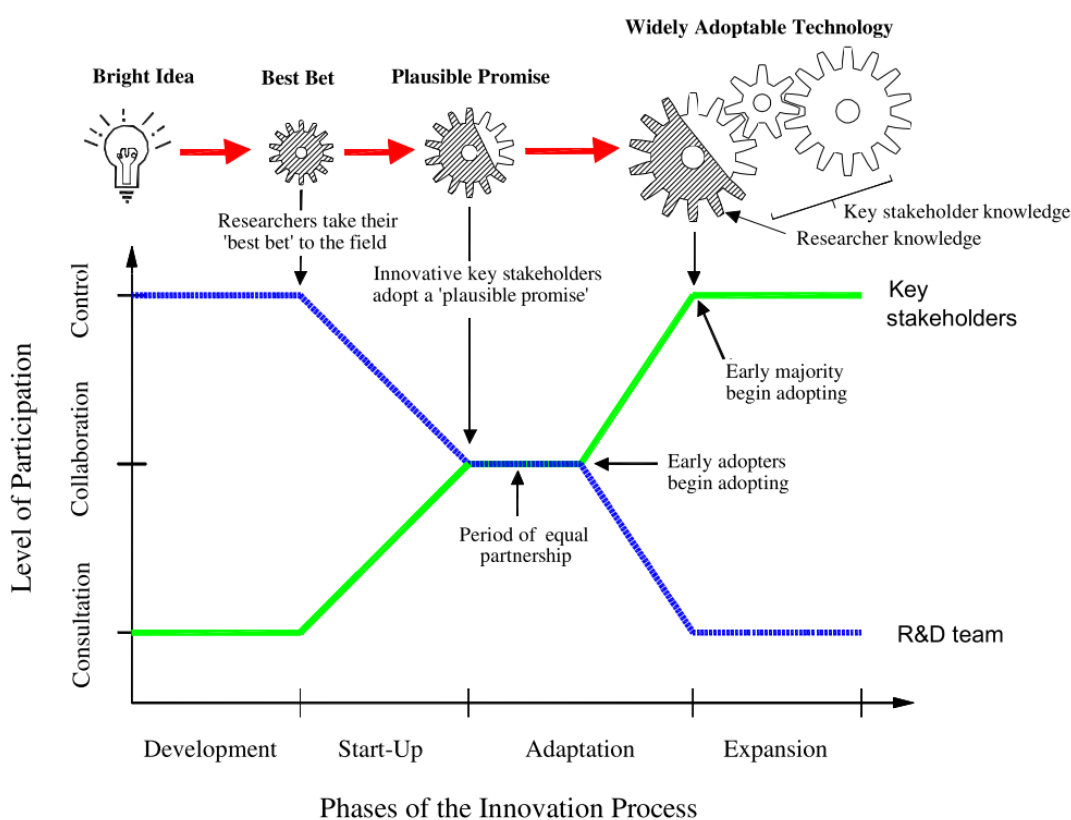


Figure 12 : Cadre de référence de Douthwaite concernant le processus d'innovation et le rôle de la promesse plausible dans ce processus. Figure issue de Douthwaite et Gummert (2010).

Le processus démarre par l'existence d'une « idée brillante » (*bright idea*) provenant d'un innovateur, en l'occurrence le monde de la recherche. L'objectif de cet innovateur de construire une démarche d'innovation participative est de traduire cette idée brillante en « meilleure estimation » (*best bet*), c'est-à-dire la formalisation, au vu des connaissances dont il dispose, du potentiel de son innovation à répondre à un besoin sociétal. La promesse plausible est une formalisation de cette « meilleure estimation » et correspond à l'étape du processus à partir de

experiencing the challenges that the innovation process is intended to address, and produce results that benefit those who are disadvantaged by the existing opportunity structures in their respective contexts." Cette définition est plutôt orientée pour designer l'innovation dans les pays du Sud, mais s'applique aussi bien dans les pays du Nord.

laquelle les parties prenantes clés s'engagent afin de former un partenariat horizontal avec l'équipe de recherche. Il s'agit d'un élément **fonctionnel** du processus d'innovation, d'un point de bascule à partir duquel il s'ouvre à la participation. La suite correspond à une phase de concertation au sens où nous l'avons définie. Enfin, après la perfection de l'innovation au travers d'une sélection par apprentissage, les parties prenantes mobilisées prennent le contrôle de l'innovation et du processus, laissant à l'équipe de recherche un rôle consultatif.

Transposition théorique du cadre de Douthwaite

Nous avons pu voir que l'initiation de la symbiose territoriale se situe dans le même type de problématique, en particulier lorsque la promesse plausible formulée a recours à la connaissance scientifique. Par l'étude du métabolisme du territoire, les chercheurs peuvent arriver à formuler « l'idée brillante » d'un projet de symbiose territoriale, malgré le fait qu'il leur soit impossible initialement de définir exactement quelle synergie doit avoir lieu, entre quels acteurs, à quel endroit... Dans ce cas, la promesse plausible correspond donc à une innovation imparfaite, proposée aux destinataires de cette innovation, soit les acteurs pouvant entreprendre lesdites synergies. Le Tableau 2 propose d'explicitier la transposition des cadres que nous avons introduits précédemment dans le modèle de Douthwaite.

Tableau 2 : transposition de la démarche *Follow-the-Technology* proposée par Douthwaite et al. (2002). Les éléments font référence aux légendes données par les auteurs dans la Figure 12.

<i>Elément du cadre de Douthwaite</i>	<i>Transposition dans la thèse</i>	<i>Explication</i>
<i>Bright Idea</i>	Rupture métabolique territorialisée	Il existe des territoires dans lesquels les deux côtés de la rupture métabolique sont géographiquement proches. Il serait possible d'engager une démarche collective pour se saisir de ce potentiel au travers de synergies entre les acteurs.
<i>Best Bet</i>	Résorption de la rupture par une symbiose territoriale	Identification des avantages réels possibles à atteindre au travers d'une démarche collective.
<i>Plausible Promise</i>	Mobilisation des acteurs pour initier la symbiose territoriale	Formalisation du potentiel de symbiose territoriale de manière à engager les acteurs dans une concertation
<i>Period of equal partnership</i>	Mise en place de la symbiose territoriale au cours d'une démarche de concertation	Cette période de partenariat correspond à la symbiose territoriale, qui est également une démarche de gestion concertée. Elle participe à la construction du territoire.
<i>Widely adoptable technology</i>	Réalisation de synergies dans le cadre de la symbiose territoriale	Le processus d'innovation est considéré comme achevé lorsque la symbiose territoriale porte ses fruits et devient une partie intégrante du territoire. La concertation est alors institutionnalisée et fait partie du mode d'organisation normal des acteurs.

1.5. Problématisation de la recherche

Elaboration de la question de recherche

Résumons l'ensemble de constats et d'hypothèses qui ont été formulés par les sections 1.1 à 1.4 sur la base d'une revue de littérature.

- (1) **Constat** : Il existe à l'échelle globale une situation de rupture métabolique, c'est-à-dire que le non-recyclage de la matière organique met en péril la durabilité des activités humaines et la stabilité des cycles biogéochimiques. (Section 1.1)
- (2) **Constat** : Ce déséquilibre peut être étudié par l'écologie industrielle et l'écologie territoriale qui la prolonge en prenant le territoire comme objet d'étude (Section 1.2)
- (3) **Hypothèse** : La symbiose territoriale est une forme particulière de symbiose industrielle qui permettrait d'améliorer le recyclage de la matière organique et d'améliorer la durabilité des systèmes agricoles. (Section 1.3)
- (4) **Hypothèse** : La symbiose territoriale est pertinente dans une situation de rupture métabolique territorialisée, c'est-à-dire lorsqu'un flux important de résidus organiques se situe géographiquement proche d'une activité agricole importante. (Section 1.3)
- (5) **Constat** : Cette symbiose territoriale correspond à une démarche de gestion concertée et plus particulièrement de gestion intégrée des ressources naturelles. (Section 1.4).
- (6) **Hypothèse** : L'initiation de la symbiose territoriale n'est pas une question triviale, et démarre par la formulation d'une promesse plausible, impliquant notablement un acteur scientifique qui est en mesure de décrire le potentiel de symbiose territoriale. (Section 1.4)

Ces éléments de cadrage permettent de mettre en évidence un besoin déterminant de recherche visant à répondre à la problématique suivante :

Comment formuler une promesse plausible, issue du monde de la recherche, pour initier une symbiose territoriale visant à résorber une rupture métabolique territorialisée ?

L'idée sous-jacente est de s'interroger sur la manière, pour un acteur saisi de l'importance de la rupture métabolique et du potentiel de synergie qu'il existe dans certains territoires, de mobiliser les acteurs concernés afin de répondre collectivement à cette problématique. La question – *Comment faire ?* – est guidée par une perspective opérationnelle, et le résultat de la recherche se veut méthodologique. Les hypothèses et constats listés ci-dessus sont pris comme des points de départ, que la thèse n'a pas pour ambition de démontrer – même si certains éléments en seront discutés au regard des résultats obtenus.

Un optimum de formulation ?

La formulation de la promesse plausible est une question centrale à laquelle peu d'attention a été accordée. Douthwaite écrit la chose suivante : « *La promesse plausible n'a pas besoin d'être parfaitement finalisée, elle peut être incomplète et imparfaite. En fait, moins elle*

*est aboutie, plus les parties prenantes auront de perspectives pour innover et s'appropriier la technologie. Plus il y aura de problèmes à régler, plus les chances sont grandes que les parties prenantes abandonnent, de frustration. Un équilibre délicat doit être maintenu*³⁸. » (Douthwaite et Gummert, 2010, p.248). Beuret formule une idée similaire à propos de l'objet initial d'une concertation : « *Il s'agit là d'une référence utile à la conduite de la concertation, de façon à ne pas se donner des ambitions trop grandes au départ, qui ne permettraient pas d'engager le dialogue, ou au contraire tellement faibles que personne ne se mobilisera (...)* » (Beuret, 2006, p.117). Cela traduit l'hypothèse qu'il existerait un « optimum » – illustré par la Figure 13 – entre une promesse plausible trop simpliste qui n'intéresse pas les acteurs car ils identifieraient trop de problèmes insolubles ou mal définis, et une promesse plausible trop élaborée qui laisse trop peu de marge de manœuvre pour l'implication des acteurs. Cependant, aucune étude n'a, pour l'instant, permis d'appuyer l'existence d'un tel phénomène.

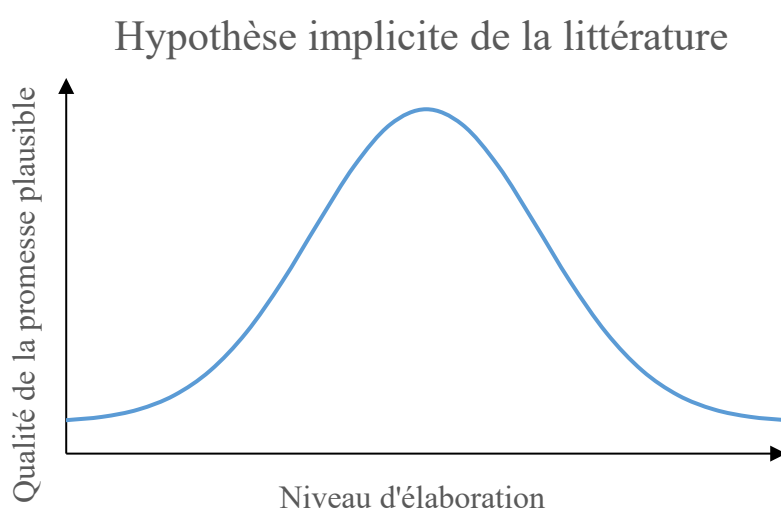


Figure 13 : Efficacité de la promesse plausible en fonction de son niveau de formalisation, d'après les hypothèses implicites de la littérature. Niveau d'élaboration.

L'étude d'une telle question se confronte au vide théorique englobant encore la notion de promesse plausible et la forme qu'elle prendrait dans le cas d'une symbiose territoriale. Au-delà des brèves descriptions qui représentent la promesse plausible en tant qu'objet fonctionnel au cours d'une démarche (le « point de bascule », voir section 1.4.3), ce concept n'a jamais été saisi par la communauté scientifique comme objet d'étude. Pour le dire autrement, il est à l'heure actuelle impossible de caractériser clairement les axes de la Figure 13, « niveau d'élaboration » et « qualité de la promesse plausible », qui correspondent pour l'instant à une interprétation donnée à cette hypothèse implicite de la littérature. La complexité de cette problématique nécessite d'aller plus loin dans la problématisation en formulant des questions de recherche plus précises.

³⁸ Sauf mention contraire, toutes les citations issues de documents en anglais sont l'œuvre d'une traduction personnelle. La citation originale sera proposée en note de bas de page. Ici : "The plausible promise does not need to be refined or polished; it can be imperfect and incomplete. In fact, the less final it is, the more scope there is for the stakeholders to innovate and thus gain ownership of the technology. The more problems there are, then the greater the chances that the key stakeholders will give up in frustration. A delicate balance must be maintained. The plausible promise come from anywhere, not only from research"

Mise en formule et formalisation

La formulation dont il est question dans la problématique intègre au moins deux aspects dissociables illustrés par la Figure 14 : le problème de « mise en formule » et le problème de « formalisation ». D'un côté, il est indispensable de mettre en évidence le potentiel *a priori* de symbiose territoriale à résorber la rupture métabolique territorialisée. De l'autre, il faut comprendre comment, à partir de cela, construire une promesse plausible capable de mobiliser des acteurs au sein d'une démarche de concertation.

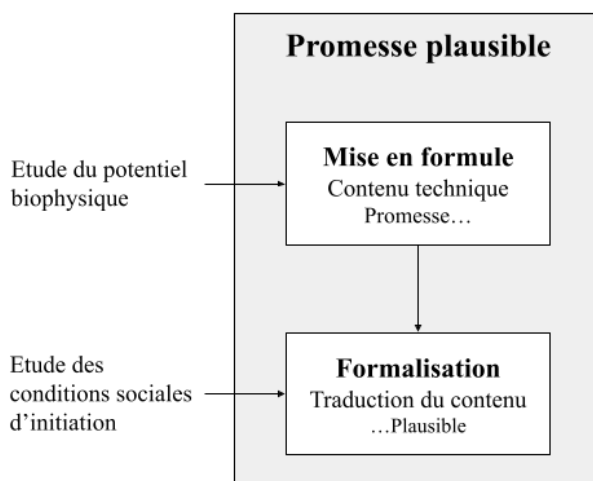


Figure 14 : Illustration des deux aspects de la formulation d'une promesse plausible.

La **mise en formule** consiste à identifier, qualifier et quantifier le potentiel de synergie existant sur le territoire. Il s'agit d'une **promesse technique**, la « meilleure estimation » par nature inachevée (cf. section 1.4.3), qui est la base de connaissances et de compréhension qui invite à l'action. Il est nécessaire d'identifier et de mobiliser des outils permettant d'obtenir une représentation suffisamment poussée du territoire pour anticiper les conséquences potentielles de la mise en place d'une symbiose territoriale sur ce territoire. Ce problème nécessite la mobilisation des sciences et techniques dans une optique d'évaluation ou de modélisation. Il s'inscrit pleinement dans une démarche d'écologie industrielle, visant à formaliser l'étude du métabolisme du territoire tel qu'il est et tel qu'il pourrait être. De manière générale, il s'agit de comprendre comment faire des déchets organiques une ressource pour l'agriculture, dans une situation territoriale donnée. Les enjeux de recherche relatifs à cette question sont développés dans le Chapitre 2.

La **formalisation** vise à comprendre comment mobiliser ce contenu technique de manière à le rendre **plausible**, c'est-à-dire, permettre la mobilisation des acteurs au sein d'une démarche concertée. Ce problème nécessite au préalable d'étoffer, sur le plan théorique, la définition de la promesse plausible et ses différentes caractéristiques. Cette compréhension et cette caractérisation permettront d'identifier les leviers expérimentaux pour mettre à l'épreuve des promesses plausibles auprès d'acteurs qui seraient en mesure de participer à une symbiose territoriale. Cela permettra d'étudier l'impact de la formalisation de la promesse plausible sur l'engagement des acteurs, en analysant notamment leurs représentations et le système sociotechnique dans lequel ils agissent. La question au cœur de cette problématique est de comprendre le rôle de la promesse plausible dans l'action collective en tant que forme d'innovation. Cela soulève les questions de recherche élaborées dans le Chapitre 3.

Partie I

Cet assemblage de questions de recherche prenant leur source dans des champs académiques diversifiées conduit à un positionnement interdisciplinaire, caractéristique des sciences de la durabilité. Cela implique d'élaborer une stratégie de recherche permettant de répondre de manière rigoureuse à ces questions ainsi qu'à la problématique générale, qui sera exposée dans le Chapitre 4.

Chapitre 2. Faire des déchets une ressource

Pour répondre à la problématique de recherche, il est nécessaire de « mettre en formule » le contenu d'une promesse plausible. En d'autres termes, il s'agit de concevoir, modéliser et évaluer des changements systémiques dans la manière dont les acteurs interagissent entre eux, dans la gestion des résidus organiques. Ce chapitre se propose de faire un état de l'art sur la manière dont des matières actuellement considérées comme des déchets, les produits résiduaux organiques (PRO), peuvent être mobilisées en tant que ressources dans d'autres secteurs d'activité, en particulier dans les systèmes agricoles. Cela implique dans un premier temps de comprendre les aspects techniques spécifiques à la production, transformation et utilisation de PRO (section 2.1). Dans un second temps, il est nécessaire d'intégrer ces approches cloisonnées dans une réflexion d'ordre territoriale et systémique, ce qui pose des questions épistémologiques ouvertes (section 2.2). Enfin, nous nous intéresserons aux outils actuellement disponibles pour étudier et évaluer de tels systèmes, et en quoi ils pourraient être mobilisés dans la conception d'une symbiose territoriale (section 2.3). Ces considérations permettront, en synthèse (section 2.4), de formuler deux premières questions de recherche à étudier pour répondre à la problématique de recherche.

2.1. De l'amont à l'aval de la rupture métabolique : logiques de traitement des produits résiduaux organiques et de leur utilisation en agriculture

Les activités humaines dont le fonctionnement contribue à la rupture métabolique dépendent de logiques de gestion relativement cloisonnées, faisant intervenir des problématiques techniques très différentes. Nous proposons dans cette section un tour d'horizon de ces problématiques, qui permettent de mieux comprendre la complexité de l'exercice de modélisation qui doit être réalisé dans la conception d'une promesse plausible. En aval de la rupture, les produits résiduaux organiques sont aujourd'hui essentiellement considérés comme des déchets (section 2.1.1). Leur gestion fait intervenir un ensemble diversifié d'étapes de transformation, qui favorisent ou non certaines formes de valorisation (section 2.1.2). La valorisation matière, notamment, permet théoriquement le bouclage des flux en se substituant, en amont de la rupture métabolique, aux engrais de synthèse utilisés en agriculture. Cependant, ce recyclage ne peut être effectif que si les caractéristiques techniques des PRO, à l'issue de leur étape de transformation, répondent aux besoins agricoles spécifiques (section 2.1.3).

2.1.1. Production des Produits Résiduaux Organiques

Les produits résiduaux organiques (PRO) sont un ensemble de matières qui caractérisent l'aval de la rupture métabolique, c'est-à-dire pouvant potentiellement alimenter un nouveau cycle de production – notamment agricole. Parfois considérées comme un « gisement », elles sont néanmoins rattachées à la question de la gestion des déchets, notamment organiques. Dans cette section, nous proposons de contextualiser cette question des déchets dans le contexte national français, et de spécifier clairement la définition des PRO, dont le devenir est le centre d'intérêt dans une symbiose territoriale bioéconomique.

Quelques généralités sur les déchets dans le contexte national

La définition d'un déchet, donnée dans la réglementation française, est sans doute la plus communément admise : un déchet correspond à « *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, (...) abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon* » (article L.541-1-1 du Code de l'environnement). La Figure 15 résume les principales distinctions faites dans le contexte national. Les déchets municipaux sont produits par les ménages et par les collectivités territoriales et gérés par ces dernières. Cela inclut les déchets courants et occasionnels (comme par exemple ceux amenés en déchèterie), ainsi que ceux issus de l'assainissement, et notamment les boues de stations d'épuration. Une partie des déchets des particuliers est collectée séparément afin d'être traitée dans des filières de recyclage ou de valorisation dédiées, tandis qu'une autre partie est collectée de manière mélangée, ce qui correspond à la part dite *résiduelle* (voir Figure 15-B). Les déchets des activités économiques (DAE) sont gérés directement par les activités économiques qui les produisent, exception faite des déchets dits *assimilés*, qui sont ceux ayant des caractéristiques proches des déchets ménagers et gérés par les mêmes voies (collecte municipale). En termes de poids, les déchets du secteur de la construction constituent les plus gros flux.

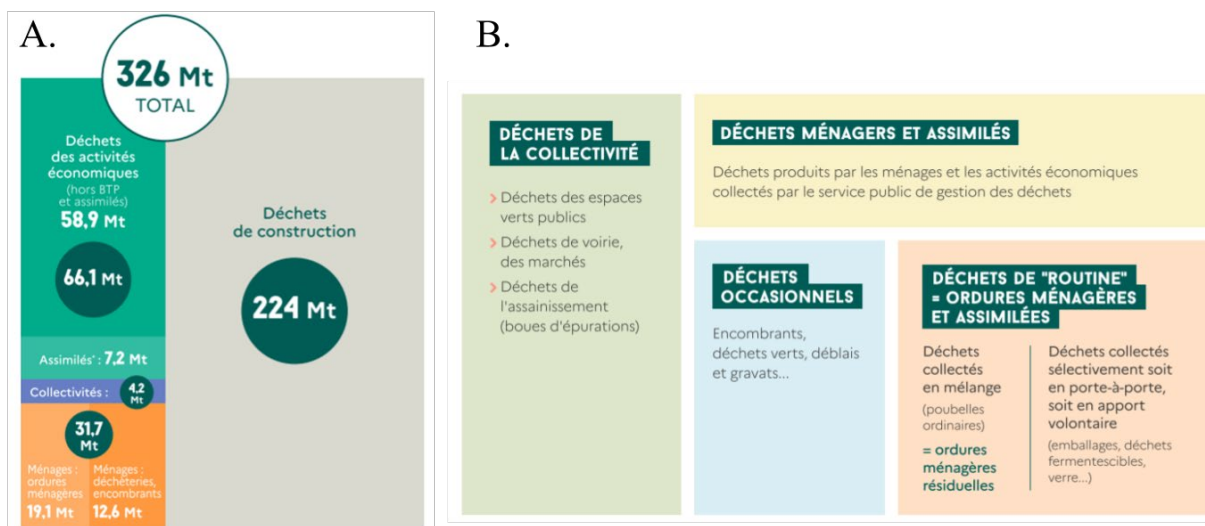


Figure 15 : Illustrations issues du guide « Déchets chiffres-clés 2020 » (Ademe, 2020). A. Production de déchets en France en 2017 (p.25). B. Tableau synoptique de la composition des déchets municipaux (gérés par les collectivités locales) (p.10). Note : l'infographie A n'inclut pas les déchets agricoles directement valorisés par le secteur agricole, car ceux-ci ne sont pas considérés comme des déchets.

Déchets organiques*	En millions de tonnes
Déchets collectés par le service public⁽¹⁾:	20,2
- Déchets de cuisine	7,1
- Papiers-cartons, textiles, sanitaires	7,2
- Déchets verts :	5,9
- dans les ordures ménagères (OM)	1,2
- en déchèterie	3,5
- collectés en porte-à-porte	1,2
Déchets organiques en gestion domestique⁽²⁾	5,1
Autres déchets organiques⁽³⁾:	21,1
- Déchets verts des collectivités	1
- Boues de stations d'épuration (STEP) ^{***}	9
- Marchés	0,4
- Déchets verts des entreprises	3,2
- Commerces alimentaires	0,8
- Restauration	1,1
- Industries agroalimentaires (IAA)	3
- Papetiers	1,8
- Autres industries	0,8
Total	46,4

Figure 16 : Tableau issu du guide « Déchets chiffres-clés 2020 » (Ademe, 2020), p.26. Production de déchets organiques hors déchets de l'agriculture et la sylviculture, en 2013. * Y compris déchets des activités économiques collectés séparément ou avec les OM - ** Hors papiers-cartons en recyclage matière - *** En matière brute.

Les résidus organiques sont présents dans tous ces types de déchets. Au niveau national, 25% de la composition des ordures ménagères résiduelles et assimilées correspond à des déchets putrescibles (Ademe, 2019a). Concernant les déchets d'activités économiques, les gros producteurs de déchets ont pour obligation de séparer leurs déchets organiques à la source depuis la loi sur la transition écologique et la croissance verte (LTECV) de 2016 (Ademe, 2020). Cette obligation a pour vocation à s'étendre aux déchets des particuliers dans les prochaines années, dans des filières de gestion qui restent à concevoir. Les quantités estimées de déchets organiques à l'échelle nationale sont présentées dans la Figure 16. Les déchets agricoles directement réutilisés par l'agriculture, comme les résidus de culture, ou les déjections animales laissées sur place ne sont pas comptabilisés dans ces campagnes nationales de recensement. Ces déchets organiques peuvent être regroupés sous la dénomination générale de « produits résiduels organiques ». Cette appellation recouvre en réalité un spectre plus large de matière, en amont et en aval de leur transformation, qui englobe un ensemble plus vaste et hétérogène de matrices, solides et liquides.

Les produits résiduaux organiques

Les PRO³⁹ sont définis comme « *l'ensemble des matières organiques exogènes au sol et résultant de processus qui ne visent pas directement leur production.* » (Joncoux, 2014, p.152). Notons que le terme « matière organique » de cette définition renvoie lui-même à une diversité importante de composés qu'il est difficile de cerner rigoureusement. Nous proposons ici trois critères permettant de mieux spécifier les matières qui sont incluses par la définition. Le premier critère de définition d'une matière organique est qu'elle est issue du monde vivant, c'est-à-dire composée essentiellement de chaînes carbonées. Cependant, ce critère ne suffit pas, car il n'exclut pas les matières combustibles fossiles ou les plastiques qui ne contribuent pas au potentiel de substitution du fait de leur inscription dans un cycle long du carbone. Il faut donc ajouter à ce critère de composition un critère de temporalité, les matières dites organiques étant à comprendre comme issues du cycle court du carbone et des nutriments (temporalité biologique) et non du cycle long (temporalité géologique). Enfin, un dernier critère concernant l'origine de ces matières doit être ajouté : les matières organiques dont il est question sont issues de processus biologiques, par opposition aux molécules organiques synthétisées par voie chimique. Notons que ces critères incluent à la fois des matières biodégradables, ou ayant subi une biodégradation récente. Cela englobe donc à la fois des matières que l'on qualifiera de **brutes**, en amont de leur éventuelle transformation intentionnelle par l'Homme, et des matières **transformées** en aval. Les premières sont effectivement issues de processus ne visant pas directement à leur production (selon la définition de Joncoux), mais il serait inexact d'en dire de même pour les secondes. Les procédés de transformation intentionnels visent à produire ces PRO, même si ce n'est pas nécessairement la production de ces PRO qui définit leur utilité première (qui est, par exemple, l'assainissement des déchets). Pour ces raisons et afin de limiter le risque d'ambiguïté, nous proposons d'adapter la définition de Joncoux. Dans la suite de ces travaux, les PRO correspondent à **l'ensemble des matières d'origine biologique récente, exogènes au sol, et dont la production n'est pas l'utilité première des procédés par lesquelles elles sont obtenues**. A titre d'exemple, les biodéchets, les déchets verts et le compost issu d'un mélange de ces deux flux sont donc tous les trois considérés comme des PRO.

Les principaux PRO sur lesquels porte la réflexion d'une symbiose territoriale bioéconomique sont listés, de manière non exhaustive, dans le Tableau 3. La spécificité de ces matières est qu'elles peuvent être gérées par de multiples voies de transformation, éventuellement de manière conjointe, et qu'elles ont généralement un potentiel de valorisation en agriculture, avant ou après leur transformation. Elles sont composées en grande partie des éléments essentiels à la vie : le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O) et l'azote (N), et plus ou moins biodégradables. Elles comportent également d'autres nutriments (P, K, Mg, ...), ainsi que des métaux (Fe, Zn, Cd, ...). La composition des PRO n'est pas une variable maîtrisée, avec possiblement des teneurs élevées en éléments indésirables, comme des éléments traces

³⁹ On préférera cette appellation à celle de « Mafor » - pour matières fertilisantes d'origine résiduaire – qui est très proche. En 2014, le rapport d'expertise scientifique collective à leur sujet les définit de la manière suivante : « *L'ensemble des matières d'origine résiduaire susceptibles d'être épandues dans un but de fertiliser et/ou amender les sols (...) ont été désignées pour plus de lisibilité sous l'acronyme "Mafor"* » (Houot et al., 2014, p.3). Cette définition, centrée sur l'épandage agricole, pourrait restreindre le spectre de matière à cet usage, alors que les PRO permettent de l'élargir à des perspectives bioéconomiques plus diversifiées.

Partie I

métalliques, des composés organiques polluants, des micro- et nano-plastiques, ou des résidus médicamenteux (Avadí *et al.*, 2022).

Tableau 3 : Liste non exhaustive des produits résiduels organiques considérés dans la thèse.

PRO	Description et commentaires
PRO BRUTS	
<i>Biodéchets</i>	Déchets putrescibles issus des ménages, des restaurants, du secteur tertiaire, ... Exemples : restes de repas, épluchures, ...
<i>Déchets d'industries agroalimentaires</i>	Déchets issus de la transformation de produits animaux ou végétaux. Exemple : déchets d'abattoir, vinasses, ...
<i>Déchets verts</i>	Déchets issus de l'entretien des espaces verts des particuliers, des entreprises ou des collectivités. Il peut s'agir à la fois de déchets très biodégradables comme les tontes de pelouse, et de déchets peu biodégradables comme les branchages.
<i>Résidus de culture</i>	Pailles de cultures, pertes au champ, et autres résidus végétaux non destinés à la vente. Ces matières sont souvent laissées sur place pour un retour au sol.
<i>Effluents animaux</i>	Fumiers et lisiers issus de l'élevage. Ceux-ci ne sont pas collectables dans les élevages extensifs. Cela inclut notamment les fumiers de chevaux qui sont un gisement important sur la plaine de Versailles.
<i>Eaux résiduaires urbaines</i>	Eaux usées collectées par les systèmes d'assainissement collectif.
<i>Excrétions métaboliques</i>	Les urines et fèces humaines sont des matières organiques riches en nutriments, qui peuvent éventuellement être collectées séparément par des toilettes à séparation et ainsi être valorisées à part (Esculier, 2018).
PRO TRANSFORMÉS	
<i>Boues de station d'épuration</i>	Matière obtenue suite à l'épuration collective des eaux urbaines. Elle est essentiellement composée des bactéries ayant permis l'épuration des eaux.
<i>Compost</i>	Matière obtenue suite au procédé de compostage. Il est solide et biologiquement stable.
<i>Digestat de méthanisation</i>	Matière obtenue suite au procédé de méthanisation. Il est généralement liquide, mais peut également subir une séparation de phase afin d'isoler une phase solide et liquide ⁴⁰ . Moins stable biologiquement que le compost, il peut encore subir une étape de compostage.
<i>Broyats</i>	Matières végétales au moins partiellement ligneuses broyées.

Certaines matières répondent à la définition des PRO, mais seront délibérément écartées de la réflexion quant à la gestion territoriale. Cela concerne notamment les papiers et cartons, par exemple issus de la collecte séparée des emballages. La raison de cette exclusion est double. D'une part, ces matières ont une bonne recyclabilité et peuvent facilement être mobilisées pour produire de nouveaux papiers et cartons, bénéficiant qui plus est de filières matures pour cette

⁴⁰ Il existe également des procédés conduisant à la production d'un digestat solide uniquement.

transformation. D'autre part, leur composition les rend moins critiques quant à la résorption de la rupture métabolique, car ils contiennent peu de nutriments.

2.1.2. Les multiples voies de traitement des produits résiduels organiques

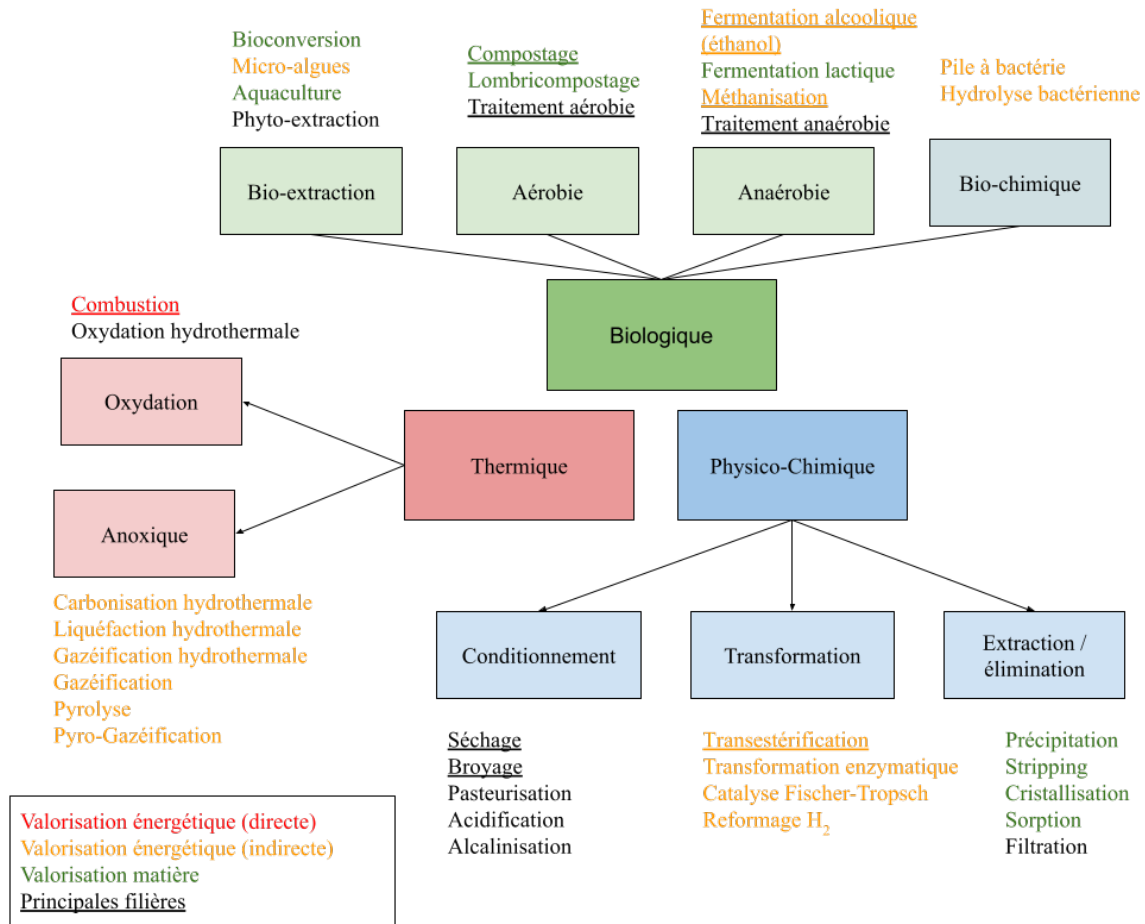


Figure 17 : Panorama non exhaustif des modes de traitement possible des résidus organiques. Les différents principes de traitement sont décrits plus en détail dans l'annexe A-2.

Après leur production, une partie importante des PRO subit une transformation au cours de procédés de traitement, qui sont extrêmement diversifiés et s'inscrivent dans des logiques de valorisation différentes (Chen *et al.*, 2018 ; Puyol *et al.*, 2017 ; Venkata Mohan *et al.*, 2016). L'étape de traitement peut avoir plusieurs objectifs. Il peut d'une part s'agir d'hygiéniser les matières, c'est-à-dire réduire les risques pour la santé humaine et animale, en particulier le risque pathogène lié à la présence de bactéries, virus, ou prions. Le traitement peut également permettre la diminution de la concentration en polluant dans un flux afin qu'il puisse retourner au milieu naturel. D'autre part, il peut servir à réduire la masse et le volume des PRO afin que leur gestion soit moins complexe et moins coûteuse par la suite (par exemple, par des opérations de déshydratation). Enfin, ils peuvent servir à créer de nouveaux produits valorisables économiquement. La diversité des modes de traitement et leurs grands principes sont représentés sur la Figure 17, qui propose une distinction selon les mécanismes de transformation. L'annexe A-2 présente plus en détail ces différents mécanismes, qui peuvent être biologiques, thermiques, ou physico-chimiques. Ces procédés génèrent dans la plupart des cas de nouveaux PRO, qui sont

parfois également traités via des procédés listés. Selon les cas, ceux-ci peuvent donc être complémentaires ou s'exclure mutuellement. Le choix d'une technique de traitement plutôt qu'une autre dépend largement des propriétés des PRO, ce qui laisse malgré tout un nombre important de possibilités techniques. Les possibilités de valorisation des PRO ou autres sous-produits issus de ces transformations sont essentiellement liées au devenir du carbone et des nutriments, notamment l'azote qui est particulièrement mobile, au cours de celles-ci. Nous proposons de distinguer trois principes de valorisation, représentés sur la Figure 17, que sont la valorisation énergétique directe, la valorisation énergétique indirecte et la valorisation matière. Celles-ci ne s'excluent d'ailleurs pas mutuellement, la valorisation énergétique indirecte allant souvent de pair avec une valorisation matière (secondaire).

Valorisation énergétique directe

Le principal procédé qui produit directement de l'énergie thermique en quantité suffisante pour être valorisée est l'incinération. La chaleur dégagée lors de la combustion est très importante et l'énergie produite peut être redistribuée directement (dans un réseau de chaleur par exemple) ou indirectement, sous forme d'électricité. En théorie, la matière organique incinérée est intégralement convertie en dioxyde de carbone (CO_2) et en vapeur d'eau, concentrant ainsi de manière extrême certains polluants inorganiques comme les métaux dans les résidus de combustion (cendres, mâchefers). Dans cette réaction, la majorité de l'azote est volatilisée, sous forme de N_2 , N_2O , et NO_x qui sont en partie traités dans les fumées car nocifs pour l'environnement et la santé humaine. Les composés azotés réactifs créés lors de la combustion ne sont d'ailleurs pas uniquement issus de la transformation de l'azote contenu dans les PRO, mais proviennent également de l'oxydation du diazote atmosphérique oxydé à haute température⁴¹. Les méthodes de traitement actuelles ne permettent pas la récupération de cet azote. Les cendres et charbons riches en nutriments non volatilisables et en carbone ne sont souvent pas valorisés en agriculture car pouvant être très pollués. Cette combustion produit également des contaminants organiques tels que les HAPs, des goudrons ou des PCBs (en présence d'halogènes). Cette pollution est potentiellement moindre lors de l'incinération de matière strictement organique et non de déchets mélangés. Même dans ces conditions, la valorisation des cendres est peu pratiquée, bien que cela puisse être amené à évoluer avec l'essor de l'énergie issue de la biomasse (RECORD, 2016). Excepté cette situation, la valorisation énergétique directe, en maximisant la quantité d'énergie fournie par les déchets, compromet de manière générale la valorisation matière.

Valorisation énergétique indirecte

La valorisation énergétique indirecte consiste à recombinaison les éléments C, H et O de manière à produire des composés réduits utilisables en tant que combustibles (Fatih Demirbas *et al.*, 2011 ; Prevot, 2010). Ces composés sont variés, allant d'éléments simples (H_2 , CH_4) à des chaînes carbonées complexes comme le biodiésel. On peut les classer en trois catégories : les biocarburants (solides ou liquides), le biogaz ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) et le biohydrogène (H_2). Ils peuvent être obtenus soit par voie biologique, soit par voie thermique, souvent complétés de procédés physico-chimiques. La voie biologique inclut notamment les procédés de méthanisation, qui produit du biogaz, et de fermentation, alcoolique qui produit de l'éthanol. La méthanisation, qui

⁴¹ Remarquons que ces émissions d'azote réactif contribuent à l'ouverture du cycle biogéochimique de l'azote, comme cela a été abordé à la section 1.1.

connaît notamment un développement important, produit également une phase liquide ou solide (selon le procédé) appelée digestat, qui conserve et concentre, y compris l'azote sous forme d'ammoniacale et permet donc une valorisation matière en agriculture. En voie thermique, la pyrolyse et la gazéification sont des procédés encore peu matures pour traiter des déchets⁴² mais dont le développement est considéré important pour la production d'énergies renouvelables (Ademe, 2019b). La pyrolyse est une montée en température en l'absence d'oxygène, dont les produits obtenus dépendent principalement de la vitesse de montée et de la température atteinte. La pyrolyse est éventuellement suivie d'un procédé de gazéification – la combinaison de ces deux étapes étant appelée pyrogazéification – qui permet, par l'ajout d'un élément oxydant (air ou oxygène) de produire du gaz de synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$). Celui-ci est considéré comme une matière première permettant la synthèse de différents hydrocarbures comme du méthane (CH_4) ou du méthanol (CH_3OH) par une étape de reformage. Les procédés physico-chimiques complètent donc les procédés thermiques afin que le vecteur énergétique ait les caractéristiques désirées. Les procédés thermiques, de fait de leur montée en température, impliquent une volatilisation de l'azote qui devient alors difficilement récupérable pour une valorisation matière, contrairement aux procédés biologiques pour lesquels la montée en température est plus faible. Les nutriments qui ne se volatilisent pas (comme le phosphore et le potassium) sont concentrés dans les matrices solides. Si celles-ci sont parfois destinées à une valorisation énergétique, certaines comme les biochars peuvent également être valorisés en agriculture (Smith, 2016). La valorisation énergétique indirecte mobilise une partie du carbone, qui ne retourne donc pas au sol.

Recyclage matière

Le recyclage matière correspond à la réutilisation des constituants de la matière organique afin d'entrer dans un nouveau cycle de production, la principale activité concernée étant l'agriculture (cf. section 2.1.3). Les procédés biologiques de compostage et de méthanisation produisent des composts et des digestats valorisables en agriculture. Une fraction du carbone est perdue au cours de ces opérations, transformée en CO_2 par voie aérobie ou en CH_4 par voie anaérobie. La quantité de matière organique qui retourne effectivement au sol est donc inférieure à celle qui est initialement présente dans les déchets. La plupart des nutriments sont conservés dans le PRO transformé après le traitement, excepté l'azote dont une partie peut se volatiliser (pour rappel, voir 1.1.2) au cours du traitement, du stockage ou de l'utilisation. Alors que les composts, très stables biologiquement, contiennent des nutriments essentiellement sous forme organique, les digestats sont plus riches en azote minéral, ce qui les rend intéressants en tant que fertilisants mais implique des risques de volatilisation (Dabert, 2015). Le digestat peut subir des post-traitements comme une séparation de phase, ou une phase de compostage. Par ailleurs, ces procédés biologiques ne permettent pas l'élimination de certains polluants organiques persistants ou inorganiques, sauf par des opérations spécifiques. Les formes minérales des nutriments peuvent être obtenues par différents processus physico-chimiques complétant les autres modes de traitement. Il est par exemple possible d'extraire le phosphore ou l'azote des digestats de méthanisation, boues de station d'épuration, ou encore des urines humaines (Patel *et al.*, 2020). La précipitation de struvite, par exemple, est un procédé maîtrisé permettant l'extraction de phosphore dans des effluents qui en contiennent (Ahmed *et al.*, 2018 ; Wang *et al.*, 2016). Des procédés d'extraction peuvent aussi être envisagés dans les cendres d'incinération (Drangert *et*

⁴² Il s'agit d'un procédé initialement utilisé pour produire du charbon et du gaz à partir de bois, mais qui est également utilisé dans la gestion des déchets, y compris organiques ((Groupe de Travail PyroGaz, 2015).

al., 2018). Concernant les urines humaines, particulièrement riches en nutriments, des procédés de stabilisation et concentration sont également utilisés pour en faire des urinofertilisants (Martin *et al.*, 2020). L'inconvénient de ces procédés physico-chimiques est l'utilisation d'un réactif ou d'énergie, représentant un coût économique et des impacts environnementaux qu'il faut mettre en balance avec les avantages des produits ainsi fabriqués. En dehors de l'agriculture, la valorisation matière est vue au travers du potentiel des PRO à constituer la base de produits biosourcés à plus haute valeur ajoutée (Duan *et al.*, 2022), comme substrat pour l'extraction de certains métaux (Puyol *et al.*, 2017), ou encore comme matériau de construction de substitution pour le secteur du bâtiment (Saberian *et al.*, 2021). Si les recherches à ces sujets sont en plein essor, de telles voies de valorisation restent toutefois peu mentionnées dans la littérature, principalement celle s'intéressant aux bioraffineries de déchets (Alibardi *et al.*, 2020 ; Delmas, 2008 ; Venkata Mohan *et al.*, 2016). Ces approches nécessitent dans tous les cas une chaîne de transformation particulière, spécifiquement dédiée à certains types de gisements.

De la valorisation à la substitution

L'épandage de PRO en agriculture correspond à une valorisation sous forme de matière, mais ne permet pas nécessairement une réelle substitution d'intrants, comme cela serait attendu lors d'une symbiose territoriale. Pour que des PRO puissent réellement se substituer à des engrais de synthèse dans les systèmes agricoles, ils doivent disposer de caractéristiques particulières tenant compte des besoins spécifiques de ces systèmes. Ces caractéristiques sont d'ailleurs dépendantes de spécificités locales, notamment du type de sol, culture, climat, qui déterminent la demande régionale. La section suivante détaille les enjeux liés à l'utilisation de PRO en agriculture, étape clé de la résorption de la rupture métabolique.

2.1.3. L'utilisation de produits résiduaires organiques en agriculture

L'agriculture représente l'amont de la rupture métabolique, c'est-à-dire l'utilisation intensive d'intrants pouvant être substitués par des PRO. L'utilisation des PRO est une pratique profondément ancrée dans l'histoire de l'agriculture : certains systèmes dépendent essentiellement du retour à la terre de ces matières pour maintenir leur fertilité (Mazoyer et Roudart, 2019). Les évolutions du système agricole depuis les années 1950, avec l'introduction des engrais de synthèse, a presque conduit à l'abandon de l'usage de ces matières dans les exploitations intensives (Barles, 2005) dans les pays industrialisés. Dans ce contexte, le recyclage des nutriments par l'utilisation de PRO fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Fuchs *et al.*, 2014 ; Jousseau *et al.*, 2016). L'utilisation de matière organique en agriculture a deux principales fonctions agronomiques, que sont la **fertilisation** et l'**amendement**. La fertilisation correspond à l'apport de nutriments directement disponibles pour la croissance de la plante à un rythme annuel, avec un effet attendu immédiat. L'amendement correspond plutôt à l'entretien à long terme de la fertilité du sol, par l'apport de nutriments moins critiques pour les cultures – qui s'épuisent moins vite –, par l'entretien du taux de matière organique, ou par les effets sur d'autres propriétés désirables du sol.

Raisonnement de la fertilisation des cultures

Dans les exploitations agricoles, la fertilisation des cultures est raisonnée en fonction des besoins des cultures, des conditions pédoclimatiques et des entrées et sorties connues d'éléments

nutritifs au niveau de la parcelle. Etant donné que les cultures principales sont exportées de la parcelle, l'intégralité des nutriments qu'elles ont prélevés dans le sol est également exportée, et sort donc de l'agroécosystème. Ce sont notamment ces pertes qu'il est nécessaire de compenser chaque année par l'apport de fertilisants. L'azote est l'élément le plus critique, car il influence fortement le rendement et n'est souvent pas présent en quantité suffisante dans les sols. Les formes d'azote qui peuvent être assimilées par les plantes sont les formes minérales, c'est-à-dire principalement la forme ammoniacale (ion ammonium, NH_4) et nitrique (ion nitrate, NO_3^-). L'urée ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) est une forme organique de l'azote qui a la particularité de se minéraliser rapidement en ammonium, et peut donc être utilisée de manière presque équivalente aux formes minérales (Comifer, 2013a). Deux autres intrants majeurs en agriculture sont le phosphore (P) et le potassium (K). Contrairement à l'azote, ils ne sont généralement pas apportés annuellement, car les stocks disponibles dans les sols permettent d'assurer les besoins des plantes pendant plusieurs années. A l'instar de l'azote, le P doit être minéralisé sous forme de phosphate (par exemple, H_2PO_4^- , ou HPO_4^{2-}) avant de pouvoir être assimilé par les plantes. Le K en revanche est assimilable sous sa forme ionique minérale (K^+), qui est souvent directement disponible dans les produits apportés, même organiques (Comifer, 2019).

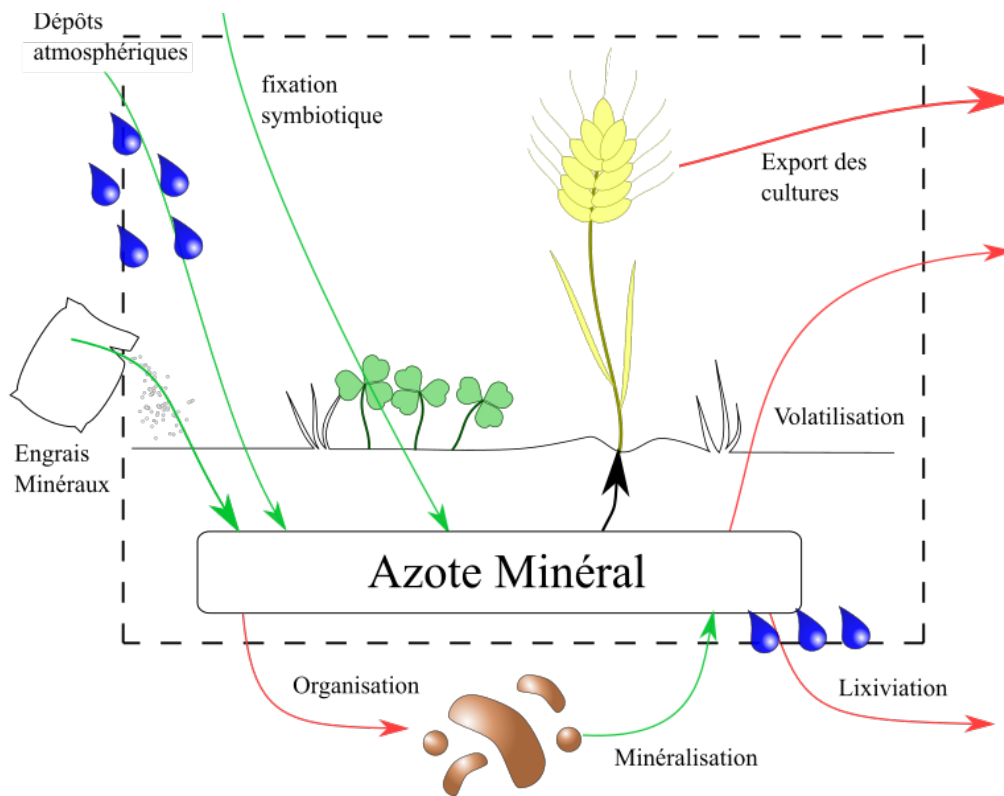


Figure 18 : Représentation des principales entrées et pertes d'azote à l'échelle d'une parcelle agricole en l'absence de l'utilisation de PRO.

Pour déterminer la juste quantité de fertilisants à apporter, la teneur du sol en nutriments doit être comparée avec les besoins des cultures. Le Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée (Comifer) propose une méthode pour raisonner les apports d'azote basé sur un bilan à l'échelle de la parcelle (Comifer, 2013a), dont les principaux éléments sont illustrés par la Figure 18. Il permet aux agriculteurs, à partir des conditions spécifiques à leur exploitation, de calculer la dose d'azote (et d'autres nutriments) qu'ils doivent apporter à l'hectare à leurs cultures. Ces différentes entrées et sorties correspondent aux mécanismes qui interviennent dans le cycle de l'azote, à l'échelle d'un système agricole (pour

rappel, voir la section 1.1 et la Figure 8). Hormis les apports d'engrais, les entrées notables d'azote dans le système sont la minéralisation de l'humus – la matière organique du sol –, la fixation symbiotique et les dépôts atmosphériques. Ces derniers correspondent à l'apport d'azote lors des pluies qui absorbent une partie de l'azote ammoniacal présent dans l'air. De l'autre côté du bilan, mis à part les exports des cultures, les sorties notables d'azote sont la volatilisation (ammoniac, N_2O , N_2), la lixiviation (nitrates, nitrites), les processus biologiques de nitrification/dénitrification (conduisant à la formation de N_2O et de N_2 gazeux) et « l'organisation » de l'azote. L'organisation correspond à l'immobilisation sous forme de biomasse microbienne. Si l'azote immobilisé n'est pas réellement perdu par le système, il est rendu indisponible dans l'immédiat pour les cultures.

Dans le raisonnement de la fertilisation, l'apport de PRO peut permettre de substituer des engrais minéraux, en prenant en compte leur efficacité d'apport en nutriments (Icare & Consult, 2020). La totalité des nutriments présents dans les engrais apportés ne correspond pas à la quantité réellement assimilée par les cultures. D'une part, une partie de ceux-ci peut être volatilisée ou lixiviée de la même manière que l'azote minéral présent dans le sol (cf. Figure 18). Les caractéristiques de l'engrais utilisé et la méthode d'épandage influencent fortement ces pertes. D'autre part, une partie des nutriments n'est pas prélevée par les plantes. Les agronomes utilisent, pour décrire cela, un coefficient apparent d'utilisation (CAU), qui correspond à l'azote « efficace » rapporté à la quantité d'azote total apporté par des engrais. De même, lorsqu'un PRO est apporté au sol, les nutriments qu'il contient ne sont pas tous directement assimilables pour les cultures. Lorsqu'ils sont sous forme organique, ils doivent premièrement être minéralisés par l'action de décomposition des microorganismes du sol. Le coefficient d'équivalent engrais (Keq) est utilisé pour déterminer l'efficacité de l'azote contenu dans un PRO par rapport à celle d'un engrais minéral. La dynamique de minéralisation des nutriments des PRO, notamment de l'azote, est un élément clé pour comprendre leur potentiel de substitution des engrais de synthèse. L'avantage des formes minérales est que leur action est immédiate, et donc plus maîtrisée. La fourniture d'azote par les PRO est plus complexe à prévoir, notamment car la dynamique de minéralisation varie fortement d'un PRO à l'autre. Dans les mêmes conditions d'apport, la part d'azote minéralisée au bout de deux mois peut varier entre 0% et 40% de la teneur initiale du PRO, et même atteindre des valeurs négatives jusqu'à -20% (Bouthier *et al.*, 2009). Ce phénomène de diminution à court terme de la disponibilité de l'azote, appelé « faim d'azote », est notamment observé pour l'apport de PRO dont le rapport carbone/azote (C/N) est élevé. Lorsqu'un PRO riche en carbone est décomposé par les micro-organismes, ceux-ci prélèvent également une quantité d'azote minéral dans leur milieu. Cet azote n'étant pas présent en quantité suffisante dans les PRO, il est prélevé dans le sol et devient donc inutilisable à court terme pour les cultures.

L'utilisation de PRO comme amendement

La pratique d'amendement s'inscrit dans une logique d'entretien du sol sur le long terme. Elle vise notamment à garantir que les éléments moins limitants que l'azote, comme le P, le K, ainsi que de nombreux éléments mineurs (Ca, Mg, ...), sont présents en quantité suffisante d'une année sur l'autre. Elle permet également d'élever ou d'entretenir le taux de matière organique dans le sol qui est un facteur clé de fertilité (Voltr *et al.*, 2021). A l'instar de l'azote, il existe des coefficients d'équivalence pour ces éléments (Chabalière *et al.*, 2006). Cependant, étant donné la mobilité moindre de ces éléments, il peut généralement être considéré que l'ensemble du P et K des PRO est valorisé. L'apport répété de PRO a pour conséquence l'augmentation de la matière

organique du sol. En plus de ses effets bénéfiques sur les cultures, cela entraîne l'augmentation de la minéralisation de l'azote. L'augmentation de la matière organique des sols est également un moyen envisagé pour stocker du carbone en vue de réduire la concentration en CO₂ atmosphérique (Pellerin *et al.*, 2021). Une représentation simplifiée de ce processus est intégrée dans le modèle AMG qui décompose la matière organique en trois compartiments : un compartiment de PRO, un compartiment de matière organique active, en décomposition, et un compartiment de matière organique stable (Andriulo *et al.*, 1999 ; Clivot *et al.*, 2019). Ce modèle permet de déduire, à partir de la minéralisation du carbone, la minéralisation équivalente d'azote et donc les apports à long terme liés à l'épandage de PRO. Des modèles plus élaborés ont été développés, comme NCSOIL ou CERES-ECG (Gabrielle *et al.*, 1995), qui permettent de prendre en compte plus de compartiments, représentant de manière plus juste la complexité de la décomposition de la matière organique par les organismes du sol. Sur la plaine de Versailles, il a par exemple été montré que l'apport massif et répété de PRO permettrait d'envisager une couverture totale du besoin des cultures en azote, uniquement par la minéralisation de la matière organique du sol (Noirot-Cosson, 2016). L'effet amendant des PRO peut également porter sur la modification de certaines propriétés du sol. Par exemple, certaines matières sont utilisées car leur incorporation permet d'équilibrer le pH du sol. Une autre propriété intéressante est la capacité de rétention d'eau, qui est appréciée pour une fonction de paillage. Les PRO améliorent également les propriétés physiques et chimiques des sols, et favorisent la diversité des organismes du sol (Fuchs *et al.*, 2014).

Risques liés au recyclage

Si l'utilisation de PRO en agriculture peut représenter des avantages considérables, ils peuvent également être source de risques pour l'environnement ou la santé humaine (Benoît *et al.*, 2014b). Malgré de nombreuses investigations à ce sujet, la composition exacte des PRO reste peu prédictible, car elle est très dépendante du contexte. Selon leur nature et leur origine, les PRO peuvent avoir des teneurs importantes en éléments indésirables. Un des risques environnementaux les plus souvent mentionnés est celui de la pollution des écosystèmes du fait de la fuite de nutriments réactifs (voir section 1.1.2). Il existe également un risque environnemental lié à l'accumulation dans les sols de certains inorganiques comme les métaux (Luo *et al.*, 2009) ou composés organiques persistants (Verlicchi et Zambello, 2015). Cette accumulation peut engendrer une pollution des cours d'eau, être écotoxique pour la faune du sol, ou encore migrer vers les cultures, ce qui représente un risque pour la santé humaine et animale. Par ailleurs, les PRO présentent également un risque pathogène et sont particulièrement surveillés à ce titre. La réglementation sanitaire française encadrant la transformation de sous-produits animaux est par exemple une conséquence de la crise de l'ESB – dite de la « vache folle » – dont l'agent pathogène se transmettait via la consommation de farines animales contaminées. Les procédés de traitement utilisés modifient notablement les risques associés aux PRO, ce qui constitue d'ailleurs une motivation fréquente pour leur utilisation. Par exemple, le procédé de compostage, du fait de sa montée en température lors de la phase thermophile, permet d'hygiéniser les PRO et donc de réduire leur risque pathogène – une hygiénisation que ne permet d'ailleurs pas le procédé de méthanisation seul. Les connaissances actuelles permettent d'estimer ces différents risques, avec une justesse encore souvent insuffisante par rapport aux attentes des agriculteurs (Avadí *et al.*, 2022).

2.2. De l'approche par filière à l'approche territoriale : Enjeux conceptuels

Les activités qui produisent des déchets organiques, celles qui les transforment, ainsi que les activités agricoles, sont généralement étudiées individuellement selon les logiques propres à chaque secteur, filière, voire même à chaque exploitation. Dans la perspective d'une symbiose territoriale, ces problématiques techniques intervenant en amont comme en aval de la rupture métabolique doivent être appréhendées sous la forme d'un système complexe et territorialisé (cf. section 1.2). La définition d'un tel système (section 2.2.1) et des évolutions qui pourraient y être entreprises dans le cas d'une symbiose territoriale (section 2.2.2) posent cependant des questions épistémologiques qui doivent être tranchées dans la conception d'une promesse plausible.

2.2.1. Délimitation d'un système sociotechnique complexe

Le système sociotechnique de gestion des PRO (SGPRO)

Le système incluant à la fois l'amont et l'aval de la rupture métabolique peut être considéré comme **le système sociotechnique de gestion des PRO (SGPRO)**. Il s'agit premièrement d'un **système**, vu comme un construit épistémologique focalisé sur la ou les fonctions d'intérêt de ce système. Cette approche qualifiée de « douce » (*soft*) dans l'analyse des systèmes s'écarte d'une vision « dure » (*hard*) et positiviste concevant les systèmes comme des objets existant dans l'absolu indépendamment de l'observateur (Ison, 2008). La logique sous-jacente est qu'il existe, au sein de ce système, des leviers à actionner qui peuvent lui permettre d'évoluer, mais également une interdépendance des éléments qui peuvent entretenir certains mécanismes non désirés, s'opposer au changement, ou le déformer (Meadows, 2008). En l'occurrence, la fonction d'intérêt du système étudié est la gestion des produits résiduaux organiques, c'est-à-dire leur production et leur affectation dans différentes filières de traitement ou vers leur destination finale. Par ailleurs, ce système ne fait pas uniquement intervenir des leviers techniques, mais également un ensemble de phénomènes ancrés dans un contexte social au sens large (économique, culturel, politique...). Malgré l'importance acquise de l'encastrement social de l'écologie industrielle (Boons et Howard-Grenville, 2009), les travaux peinent encore à intégrer de manière équivalente les aspects matériels que les aspects sociaux (Cerceau *et al.*, 2014a). C'est pourquoi le qualificatif **sociotechnique** (Siddiqi et Collins, 2017) est important pour le définir même s'il n'apparaît pas dans le sigle utilisé.

Un système complexe avec des propriétés émergentes

Le SGPRO répond à la définition d'un système complexe, c'est-à-dire un ensemble relativement important d'éléments hétérogènes, en interaction les uns avec les autres (Salvia *et al.*, 2021). La complexité du SGPRO à l'échelle d'un territoire réside dans le fait qu'il existe de nombreux PRO différents ayant chacun des usages interconnectés. Une modification à un endroit de ce système entraîne des répercussions en cascade sur tous les autres composants. Cela concerne non seulement les flux de matières, mais également les rapports de pouvoir, ou encore les représentations sociales et les règles de décision (Moore *et al.*, 2014). Une propriété fondamentale de ces systèmes est l'existence de phénomènes **émergents** (Goldstein, 1999), c'est-

à-qui ne sont pas prédictibles de par la somme de leurs éléments pris indépendamment. Il ne suffit pas de comprendre chaque activité au sein d'un SGPRO pour comprendre le métabolisme territorial global qui en résulte. La modélisation d'un tel système requiert donc de faire appel à une certaine complexité systémique, qui est en capacité de mesurer les conséquences des modifications de certaines parties sur le reste du système (Parrott et Meyer, 2012).

Enjeu de définir une approche territoriale

La conception d'une promesse plausible visant à faire évoluer le SGPRO dans le cadre d'une symbiose territoriale nécessite de définir les limites d'un tel système, dans la situation où des synergies n'existent pas encore. Cette définition et délimitation conditionnent notamment les acteurs potentiellement impliqués dans la concertation, mais également les PRO dont il sera question au cours de cette démarche, et *in fine* le potentiel de valorisation atteignable lors des synergies. Les études des systèmes agricoles et des procédés de gestion de déchets ne sont pas fermées à des approches systémiques et territoriales. L'utilisation des PRO en agriculture, plus souvent raisonnée à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation (Roswall et Paustian, 1984), est étudiée depuis quelques années à l'échelle du territoire, en répertoriant et caractérisant les matières disponibles et les besoins des cultures (Dhaouadi, 2014). Ce type d'étude implique une vision spatialisée pour prendre en compte le type de sol et le type de rotation culturale, afin d'identifier les effets résultant des apports (Noiroot-Cosson, 2016). Dans ce type d'approche, le territoire apparaît principalement dans sa composante matérielle. Des travaux étudient également la gestion de déchets à l'échelle de systèmes – *waste management systems* – (Bottausci *et al.*, 2022), comparant par exemple différentes solutions technologiques pour traiter un flux ou un ensemble de flux donné (Aye et Widjaya, 2006), y compris dans l'anticipation des évolutions de ce flux (Victor et Agamuthu, 2013). En se focalisant essentiellement sur sa fonction de traitement de déchets, le retour au sol des PRO est peu étudié dans ce type d'approche. La symbiose industrielle est également une approche qui territorialise la gestion des déchets et la valorisation des sous-produits. De nombreuses symbioses industrielles se basent en réalité sur des limites spatiales définies de manière assez stricte – et arbitraire – comme on le retrouve dans le cas des éco-parcs (Lowe, 2001) qui se bornent à des zones industrielles ou d'activité (Lambert et Boons, 2002). Les démarches d'écologie industrielle et territoriale développées en France dépassent généralement cette question du foncier, mais le « territoire » qu'elles englobent a tendance à s'aligner avec celui des acteurs publics qui les animent (collectivités, syndicats de gestion de déchets, département, régions). Des perspectives plus récentes en écologie territoriale montrent l'intérêt de dépasser de telles limites arbitraires pour étudier les réseaux métaboliques (Gabriel, 2021 ; Schiller *et al.*, 2014). Ces différents exemples montrent que la manière de définir le territoire en tant qu'objet d'étude est fluctuante – si ce n'est impensée – et peine à en intégrer les multiples dimensions (Cerceau *et al.*, 2014a).

2.2.2. Quelle évolution du SGPRO ?

La transformation des procédés de gestion des PRO est un levier fondamental pour agir sur le métabolisme territorial au cours d'une symbiose territoriale. Cependant, même avec une bonne définition et délimitation d'un SGPRO territorialisé, la manière de déterminer de telles évolutions reste un problème complexe. Comme détaillé à la section 2.1.2, les multiples voies de valorisation existantes peuvent contribuer, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de synergies, et sont parfois incompatibles entre elles.

Des choix à faire

Hormis leur compatibilité avec les propriétés physico-chimiques des PRO, il n'existe pas de critère absolu⁴³ pour choisir une voie de traitement plutôt qu'une autre dans les évolutions du SGPRO. Le contexte réglementaire national, dont une synthèse est proposée en Annexe A-2.2, oriente fortement les choix faits quant à la gestion des PRO. Par exemple, suivant ces textes, de nombreuses actions sont entreprises en faveur de la réduction de déchets, notamment ceux liés au gaspillage alimentaire (Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie, 2012). Dans les politiques publiques nationales et européennes, ces évolutions sont souvent guidées par le principe de hiérarchie des modes de traitement, représentée sur la Figure 19. Cette hiérarchie priorise les solutions techniques des nouveaux modes de gestion des déchets et l'évolution des filières existantes (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019). Pour autant, elle ne se base pas sur une démonstration claire de la différence de durabilité entre ces différentes filières (Van Ewijk et Stegemann, 2016). Les PRO liquides suivent également cette hiérarchie, avec une exception notable pour les eaux résiduaires urbaines dont le mode de traitement majoritaire est assimilable à l'élimination. En effet, les procédés mis en œuvre au sein des stations d'épuration ont pour but premier d'abattre la matière organique, les nutriments, ainsi que les autres contaminants par un transfert vers l'atmosphère ou une phase solide (Esculier, 2018). Les boues restantes à la suite de ces traitements concentrent une fraction de ces éléments et sont gérées comme un nouveau déchet.

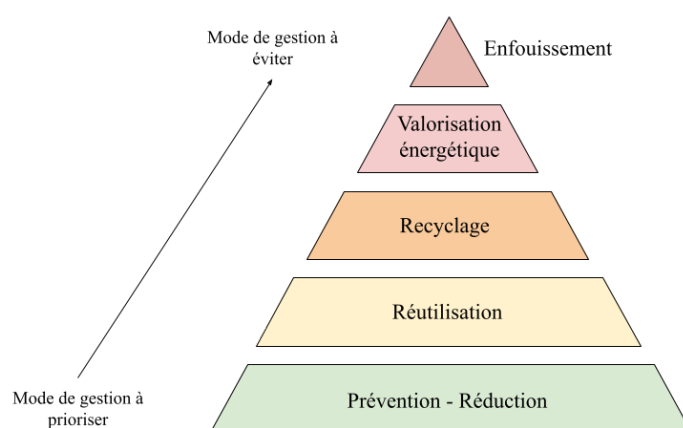


Figure 19 : Hiérarchie réglementaire du mode de gestion des déchets.

Les choix effectués dans la gestion des PRO sont variables en fonction des secteurs d'activité et loin d'être toujours optimaux du point de vue du recyclage des nutriments. Une partie significative des biodéchets est mélangée à d'autres déchets non biodégradables et est incinérée ou enfouie, ce qui est insatisfaisant du point de l'ambition de résorber la rupture métabolique compte tenu des autres possibilités de valorisation comme le compostage et la méthanisation. Souvent composés pour bonne partie d'eau, l'incinération est, pour la plupart des PRO, peu intéressante pour la récupération d'énergie thermique lors de l'incinération (Prevot, 2010). L'enfouissement, bien que disposant parfois de dispositifs de récupération de méthane (Santos *et al.*, 2020), est une solution non durable pour le traitement des déchets, consommatrice de terres et émettrice de gaz à effets de serre sans aucune possibilité de valorisation. Le potentiel important de réutilisation des PRO issus des activités agricoles et agro-alimentaires conduit fréquemment

⁴³ C'est-à-dire, indépendant de toute condition de temps, d'espace, de connaissance, etc.

les acteurs de ces filières à affirmer qu'il n'y a « pas de déchets » dans l'agriculture. De fait, le retour au sol par épandage direct, l'utilisation en alimentation pour les animaux de ferme ou de compagnie, ou encore la fermentation alcoolique des sous-produits liquides, sont des exemples de voies de valorisation courantes permettant de maximiser la valeur ajoutée des activités de transformation, ou du moins d'optimiser le coût de gestion de ces matières.

Se poser la question du « meilleur » mode de traitement des PRO a peu de sens dans l'absolu car cela dépend avant tout des critères par lesquels sont définis ce « meilleur ». Selon les acteurs, la meilleure solution peut être celle la plus économique, celle la plus vertueuse du point de vue environnemental, celle la plus efficace techniquement, celle la moins impactante pour les habitants ou encore celle respectant le mieux les réglementations - le contexte local étant un élément déterminant. En pratique, étant donné que les modes de traitement sont pour l'instant principalement tirés par la demande des activités économiques, le développement des filières est lié à l'initiative d'acteurs privés gestionnaires de déchets. La gestion des PRO a donc tendance à se sectoriser, avec des installations et acteurs spécialisés dans la gestion d'un flux particulier. Une telle sectorisation ne permet pas de tirer au mieux parti du potentiel de valorisation des PRO sur un territoire, car elle permet difficilement d'envisager les synergies entre les différents gisements. La symbiose territoriale est un levier pour amener ces acteurs à interagir entre eux et donc concevoir une stratégie commune, mais peine à intégrer la question bioéconomique dans ses prérogatives.

Symbiose industrielle et bioéconomie : un lien manquant ?

Pour définir les ambitions d'une symbiose territoriale bioéconomique, il existe en un lien manquant notable entre la symbiose industrielle et la bioéconomie. Les symbioses industrielles « classiques » s'intéressent peu aux systèmes agricoles, comme le montre une revue récente effectuée par Neves et al., dans laquelle le secteur manufacturier est largement surreprésenté (Neves et al., 2020, Fig. 9, p.16). Si des études ont tenté de rapprocher les deux objets (Fernandez-Mena *et al.*, 2016), il semble, sans que le constat ait réellement pu être établi, que le recyclage des matière organique est une question généralement déconnectée de la symbiose industrielle, qui se consacre plutôt à des synergies sur des flux d'énergie (Korhonen, 2001), ou d'éléments chimiques particuliers (Tian *et al.*, 2012a). Dans certaines symbioses industrielles, des synergies faisant intervenir de la matière organique sont répertoriées, mais leur lien avec la bioéconomie n'est pas clairement établi. Par ailleurs, il subsiste dans ce type de symbiose des questions clé telles que la durabilité des synergies entreprises – par exemple, contribuent-elles réellement à résorber la rupture métabolique ? – ou encore la place de l'acteur agricole – parvient-il à l'instar des autres acteurs des symbioses à utiliser des sous-produits pour substituer ses intrants ? Imaginer des synergies pertinentes dans l'évolution du SGPRO nécessite de mieux comprendre ce lien.

2.3. Représenter, modéliser et évaluer la symbiose territoriale pour construire une promesse plausible

La construction d'une promesse plausible fait notamment intervenir une « meilleure estimation » (voir section 1.4.3) qui correspond à l'état des connaissances scientifiques sur le système qu'elle vise à modifier. Dans le cas d'une symbiose territoriale, cette meilleure estimation correspond à la compréhension des conséquences de l'évolution du SGPRO, qui implique une démarche de conception, modélisation et évaluation de scénarios. Celle-ci a pour but d'anticiper les conséquences d'un changement dans le système actuel, en y intégrant des technologies plus ou moins matures, modélisées avec plus ou moins de précision. Cette section se propose de décomposer les étapes de conception, modélisation et évaluation du SGPRO, afin d'identifier les outils et méthodes qui pourraient être mobilisés dans la « mise en formule » de la promesse plausible (voir section 1.5).

2.3.1. Outils et méthodes dédiés à la gestion des PRO à l'échelle territoriale

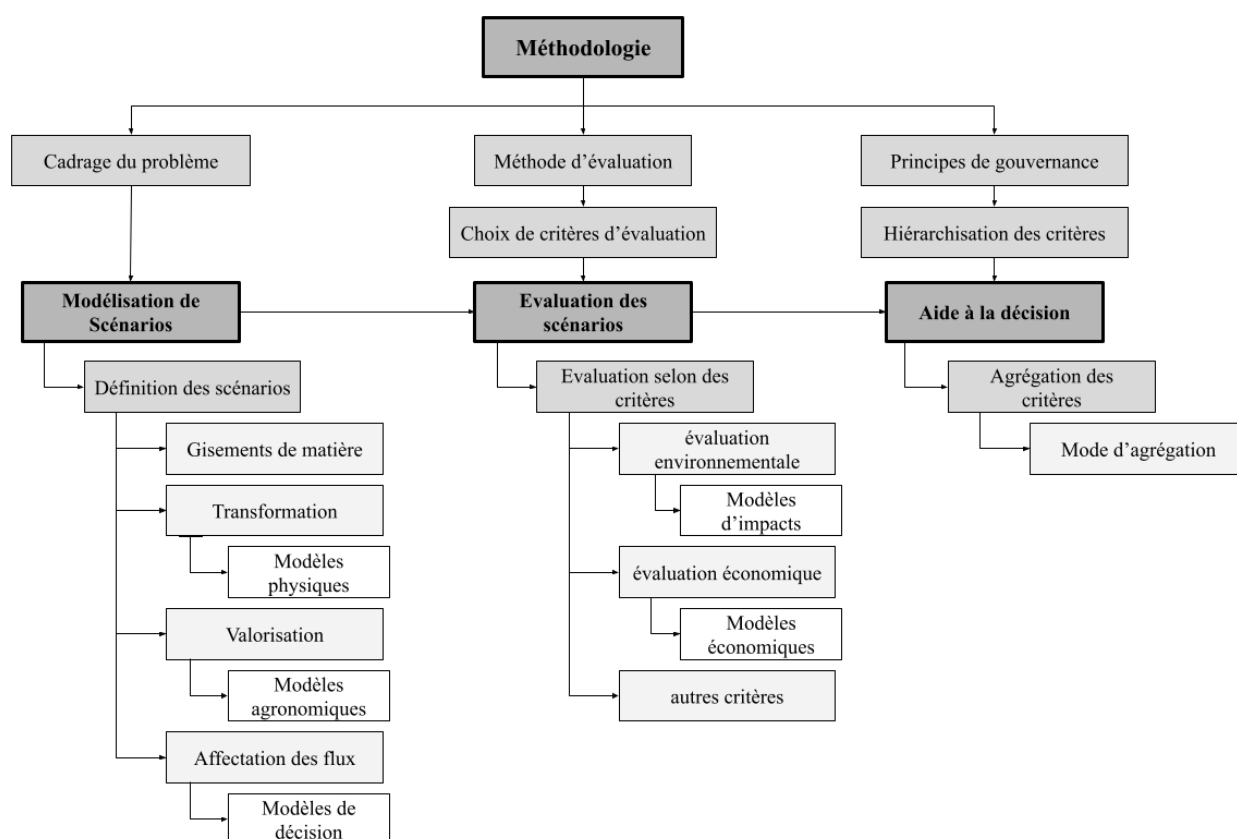


Figure 20 : Nature et articulation des étapes nécessaires à la conception d'un système de gestion des PRO, à partir de l'analyse d'outils existants.

Outils et méthodes dédiés à la gestion des PRO à l'échelle territoriale

Il existe de nombreux outils et méthodes pouvant intervenir dans la conception et la modélisation d'un SGPRO à l'échelle territoriale, tels que des supports documentaires d'aide à la conception, des méthodes d'évaluation, des cadres conceptuels, des modèles théoriques, ou encore des outils numériques type programmes ou algorithmes. La Figure 20 propose une représentation synoptique de ces éléments théoriques et de leurs liens dans une démarche générale de conception d'un SGPRO. Elle se base sur la revue de littérature présentée dans les paragraphes suivants. Notons qu'une telle démarche de conception implique différents niveaux de problèmes à résoudre : la définition d'une méthodologie générale, la représentation de scénarios, l'évaluation de ces scénarios et la prise de décision. Certains outils existants permettent d'accomplir des étapes élémentaires de ce schéma global, tandis que des méthodes visent à l'appréhender dans son ensemble. Un point de lecture central de ce schéma est que le choix de certains outils ou méthodes détermine la mobilisation d'autres outils ou méthodes – ce qui implique des choix épistémologiques sous-jacents.

Des méthodes génériques

Il existe en premier lieu des méthodes qui se positionnent à un niveau général – voire générique –, en déterminant la plupart des étapes de la procédure, comme la manière de représenter les systèmes, de déterminer les critères et de les hiérarchiser. Le guide intitulé SOWATT (Zabaleta *et al.*, 2020), par exemple, a pour vocation de guider un décideur, pas à pas, dans la sélection et la mise en place de filières de traitement des PRO. La méthodologie ConcerTO de l'Ademe (Ademe, 2018) poursuit également cette ambition, en élargissant la problématique à celle de la bioéconomie. Ce type d'outil propose donc des choix méthodologiques quant à la conception, l'évaluation, voire même la prise de décision des solutions mises en œuvre. Ce type de méthode est tourné vers l'action et donne de nombreuses clés, mais implique d'accepter les partis pris implicites utilisés. Dans le cadre de cette thèse, il est au contraire nécessaire d'identifier et d'explicitier au mieux ces partis pris, afin d'adopter ceux qui sont les plus cohérents avec l'initiation d'une symbiose territoriale bioéconomique. L'objectif opérationnel de la thèse est d'ailleurs *in fine* de se positionner à un tel niveau méthodologique sur l'initiation d'une démarche de concertation. Parmi ces partis-pris, il faut déterminer la manière de représenter le SGPRO (section 2.3.2), et des principes pour évaluer les scénarios ainsi représentés (section 2.3.3).

Encadré 2 : La décision : une question hors champ dans la formulation d'une promesse plausible.

La décision : une question hors-champ

Certains outils ou certaines méthodes représentées sur la Figure 20 se consacrent à la prise de décision après l'évaluation, comme les outils d'aide multicritère à la décision (Greco *et al.*, 2016), ou de construction d'arbres de décisions pondérés (Bohanec *et al.*, 2013). En effet, l'évaluation, qui implique un ensemble de critères, n'indique pas le poids à accorder à chacun de ces critères dans l'exercice de la décision. Ce type de question est cependant hors-champ pour la question de recherche qui est la conception d'une promesse plausible avant toute concertation. Dans le modèle d'innovation « follow the technology » (cf section 1.4.3), c'est au cours de ce processus, à l'issue d'un travail de co-construction entre les acteurs, que seront prises les décisions d'évolution du SGPRO. Les outils d'aide à la décision ne seront donc pas approfondis dans les sections suivantes.

2.3.2. Représenter le SGPRO et ses évolutions

La représentation du SGPRO est un défi complexe, car elle nécessite de représenter la structuration des interactions entre les différents acteurs, ainsi que les mécanismes les régissant (Guerrin *et al.*, 2016). Pour couvrir toute la chaîne de gestion, elle nécessite de définir les propriétés des gisements de PRO, les paramètres de fonctionnement des infrastructures de transformation et les conséquences de l'utilisation des produits pour les systèmes agricoles. Il est également nécessaire d'y incorporer des règles d'affectation, qui déterminent les échanges possibles et ceux réellement effectués. Cette représentation implique la construction d'un modèle, plus ou moins complexe, qui permette d'appréhender le SGPRO dans une dimension systémique. Différents modèles de ce type ont été proposés et utilisés dans de précédents travaux de recherche. Certains ont par exemple été développés dans le but d'évaluer les performances environnementales de systèmes de gestion de déchets. En estimant leur potentiel à répondre aux enjeux de la bioéconomie⁴⁴, Vea *et al.* (2018) identifient trois outils de modélisation ayant cette fonction : EASETECH (Clavreul *et al.*, 2014), SWOLF (Levis *et al.*, 2014), et ORWARE (Dalemo *et al.*, 1997). Ce dernier a notamment été adapté et mobilisé dans diverses études depuis sa création (Carlos-Pinedo *et al.*, 2020). Dans la délimitation des systèmes étudiés, ces outils s'arrêtent à la production de PRO transformés sans intégrer les conséquences liées aux différents usages possibles de la matière organique. Ayant une logique d'affectation statique, ils prennent difficilement en compte l'hétérogénéité temporelle des flux de PRO, et ne sont pas non plus conçus pour expliciter la dimension spatiale. Ces différents éléments peuvent être intégrés dans les modèles logistiques de gestion des PRO basés sur le principe général de « production-consommation-utilisation » - ou UPUTUC⁴⁵, pour Unité de Production, Unité de Traitement, Unité de Consommation –, et une logique sous-jacente « action-stock-flux » (Guerrin, 2009). Ce modèle intègre des unités de production, qui simulent de manière dynamique la production de PRO tout au long de l'année, des unités de traitement, qui simulent la transformation de ces PRO, et des unités de consommation, qui simulent l'utilisation des PRO en agriculture. Cela consiste à représenter chaque activité impliquée dans le système étudié comme un agent effectuant des choix opérationnels en fonction de conditions internes et externes à son activité, et dont les conséquences sont la modification des flux de matière au sein du système. Ce type de modélisation est appelé multi-agent, et permet de représenter un ensemble d'éléments humains ou naturels en interaction, chacun régi par des règles qui lui sont propres (Mantese et Amaral, 2018). Il montre son intérêt dans les systèmes socio-écologiques complexes et a notamment été exploré dans la représentation et l'évaluation de la symbiose industrielle (Fraccascia *et al.*, 2019). Utilisant ces principes, le modèle MAGMA a par exemple été utilisé pour optimiser l'apport de PRO dans une installation de traitement pour éviter le dépassement des capacités de stockage (Guerrin, 2001), et le modèle Biomas permet d'étudier les voies de valorisation optimales dans un territoire ayant à la fois des producteurs et des utilisateurs (Courdier *et al.*, 2002). C'est également cette représentation qui a été utilisée dans le projet GIROVAR à la Réunion (Albini, 2013), permettant ainsi de proposer des scénarios couplant la production et la transformation de

⁴⁴ Les critères utilisés par les auteurs sont les suivants : la possibilité de modifier les paramètres de fonctionnement des procédés et d'y inclure des technologies innovantes, la prise en compte de la spécificité des intrants, les émissions gazeuses liées à la transformation, la génération de biogaz et la composition des sous-produits.

⁴⁵ UPUTUC est ici présenté comme un modèle de représentation du SGPRO, mais ce nom a également été donné à un outil utilisant cette représentation (Albini, 2013).

PRO de manière à fournir un sous-produit adapté aux systèmes agricoles locaux. Plus récemment, ce modèle a été implémenté dans la plateforme de modélisation multi-agent Maelia, spécialisée initialement dans la représentation spatialement explicite des conséquences des pratiques agricoles et de leur évolution sur les milieux naturels (Sibertin-blanc et Therond, 2011). Cet outil encore en cours de développement représente aujourd'hui le couplage le plus complexe et détaillé entre modélisation logistique de la chaîne de transformation et modélisation agronomique de l'utilisation des PRO en agriculture (Houot *et al.*, 2021). Il prend en compte des phénomènes sociaux, physiques et biologiques en dehors du simple système de gestion de déchets, notamment les conséquences environnementales et socio-économiques de la valorisation des PRO dans les systèmes de culture.

Briques technologiques élémentaires

De tels modèles se basent nécessairement sur des modèles plus élémentaires en ce qui concerne la transformation des PRO (modèles physiques), la valorisation effective par les systèmes de culture (modèles agronomiques) ou encore les règles de décision des agents (modèles d'affectation). Ces sous-modèles, issus des connaissances disponibles au niveau de la recherche avec un niveau plus ou moins avancé de complexité, sont également des outils indépendants. Les modèles physiques de transformation des PRO permettent d'identifier, à partir de la composition des matières entrantes, les caractéristiques des produits résultant du procédé ainsi que les externalités positives (production de biogaz, d'énergie...) ou négatives (émissions de polluants, consommation d'énergie, consommation d'eau...). Pour le compostage, les modèles existants comptent par exemple MOSIMBIO (Prats *et al.*, 2010), Ximilo⁴⁶, ou CompoModel (Farinet, 2013). Pour la méthanisation, les outils les plus matures sont ADM1 (Mendes *et al.*, 2015) ou SYS-Metha (Bareha *et al.*, 2021). De tels outils sont longs et complexes à développer, car ils nécessitent une montée en généralité malgré la variabilité des conditions opératoires des procédés de traitement. Dans la production de scénarios très prospectifs, incluant des procédés encore peu matures, de telles modélisations ne peuvent exister. Ces outils nécessitent par ailleurs une connaissance très détaillée de la composition des PRO, qui n'est pas toujours accessible dans des contextes territoriaux particuliers à moins de les étudier spécifiquement. Il existe également des modèles agronomiques qui permettent de représenter l'assimilation par les cultures et les conséquences attendues sur la productivité des systèmes agricoles, comme le propose STICS (Brisson *et al.*, 1998). Ils permettent également de prédire le devenir des nutriments dans les sols après l'apport de PRO et les risques de pollution que cela implique, comme le propose Syst'N (Parnaudeau *et al.*, 2011). Des modèles de minéralisation des PRO, déjà discutés dans la section 2.1.3 peuvent aussi être mobilisés. A l'instar des modèles de transformation des PRO, une limite de ces modèles est leur forte dépendance aux contextes dans lesquels ils sont développés et utilisés. Leur adaptation est nécessaire à chaque situation, ce qui nécessite une étude approfondie du territoire et de ses systèmes cultureux (types de sols, de culture, de climat), et rend *in fine* leur utilisation difficile à généraliser.

Principes d'affectation statiques et dynamiques

Au-delà de la modélisation de ces briques techniques élémentaires, un scénario de gestion des PRO doit faire intervenir des principes d'affectation des flux. Certains modèles se positionnent d'un point de vue statique : les PRO sont alors affectés aux filières de manière

⁴⁶ <http://www.p-ip.nl/ximilo-dynamic-composting-process-simulator.html>, consulté en septembre 2022

arbitraire en assumant qu'il est possible de dévier un flux sur simple décision. Ils impliquent la représentation d'un système à l'équilibre et ne permettent pas d'observer la variation temporelle intra-annuelle ou interannuelle des flux. La production et l'utilisation de PRO étant fortement hétérogène dans le temps, le modèle statique est mis en défaut lorsqu'il s'agit de prévoir les situations extrêmes et donc le risque d'insuffisance des capacités de traitement. Pour représenter cette variation temporelle, il est nécessaire de faire intervenir des règles d'affectation dynamiques, et donc variables au cours du temps, en fonction de paramètres prédéfinis. Les modèles multi-agents permettent une telle représentation, en donnant à chaque agent des règles de décision, prévues par le modélisateur. Ces modèles peuvent ainsi permettre d'observer des phénomènes émergents du SGPRO. Toutefois, cette émergence est étroitement liée aux règles établies pour les agents, revenant parfois à simplifier grandement les règles réelles de décision des acteurs. Ici encore, les règles de décision utilisées dépendent du contexte politique, réglementaire, cognitif –normes professionnelles locales – et sont difficilement généralisables (Snellinx *et al.*, 2021). Contrairement à la transformation des PRO et à leur assimilation par les systèmes agricoles, leur affectation n'est pas régie par des principes physiques et biologiques mais essentiellement par des dynamiques sociales et culturelles – prenant en compte les connaissances et possibilités techniques des acteurs, sans s'y limiter. L'affectation des PRO peut ainsi être considérée comme une variable pour construire des scénarios, en formulant des hypothèses sur un changement des règles de décision actuelles. Le modèle peut également avoir pour objectif de déterminer les règles optimales d'affectation des PRO (Fraccascia *et al.*, 2021), qui ne sont alors plus une donnée mais une variable calculée.

Quel choix pour formuler une promesse plausible ?

Le choix d'un modèle de représentation particulier plutôt qu'un autre a un impact fort dans l'analyse environnementale du système. Des études comparant plusieurs outils indiquent par exemple qu'ils peuvent aboutir à des conclusions contradictoires (Winkler et Bilitewski, 2007). De telles différences sont notamment liées aux hypothèses effectuées quant à la délimitation du système étudié, aux paramètres techniques pris ou non en compte dans la modélisation des procédés, ou encore à des spécificités liées au contexte dans lequel les études sont réalisées (Gentil *et al.*, 2010). Les modèles les plus aboutis présentés ci-dessus sont principalement mobilisés par des acteurs de la recherche, dans le but d'étudier les interactions complexes dans des SGPRO spatialisés. Ils ne sont cependant pas utilisés pour concevoir des promesses plausibles, c'est-à-dire pour représenter des états futurs possibles dans le but de mobiliser des acteurs pour entreprendre ces transformations. La complexité de ces outils et la spécificité des données qu'ils requièrent les rendent difficiles à transposer d'une situation à l'autre.

2.3.3. Evaluer la symbiose territoriale

Le principal intérêt de modéliser des scénarios est de permettre, par la suite, leur évaluation et leur comparaison à la situation actuelle ou à un scénario tendanciel. Cette étape nécessite d'effectuer d'autres choix, notamment dans la nature des critères pris en compte et des outils utilisés pour les évaluer. Nous pouvons faire la distinction entre deux grands principes d'évaluation, que sont l'évaluation normative et l'évaluation constructive. Une évaluation normative s'appuie sur des référentiels d'évaluation classique des disciplines concernées (ACV pour l'environnement, RSI pour l'économie), tandis que l'évaluation constructive est définie par

les acteurs concernés par la problématique (Allain *et al.*, 2020 ; Dumoulin, 2016). Cette évaluation est contextuelle et ne peut pas être réalisée en amont d'une démarche de concertation. Un modèle de représentation de scénario n'intègre pas nécessairement de moyens d'évaluation explicite des scénarios. C'est par exemple le cas de Maelia qui laisse complètement ouverte l'analyse faite des scénarios. D'autres modèles, comme ORWARE, sont orientés pour répondre à une méthodologie d'évaluation particulière.

ACV Territoriale

L'approche systémique rend particulièrement complexe l'évaluation des performances, notamment environnementales. Une méthodologie classiquement utilisée en écologie industrielle pour faire ce type d'analyse est l'ACV. Celle-ci se base en premier lieu sur un inventaire de cycle de vie (ICV) qui consiste à identifier toutes les étapes du cycle de vie d'un produit (ou service), de sa conception à sa fin de vie (production des matières premières, transport, énergie, ...). A partir d'un tel inventaire, des outils comme Simapro ou GaBi (Aissani *et al.*, 2009) ou des bases de données comme la Base Carbone® de l'Ademe (Ademe, 2014) permettent de calculer les impacts de ces différentes étapes, et de les comparer à des solutions alternatives. L'ACV permet par exemple d'évaluer les conséquences environnementales de l'utilisation des PRO en agriculture (Avadí, 2020), ou d'un système de gestion de déchets (Wittmaier *et al.*, 2009). Elle se base classiquement sur une unité fonctionnelle, qui décrit la *fonction* que doit accomplir un produit, service ou système, et permet de comparer plusieurs scénarios à *fonction équivalente*. Cependant, un système complexe tel que le SGPRO et les synergies qui en découlent est multifonctionnel, car offrant plusieurs services au territoire. Prendre cette unité fonctionnelle simplement sous l'angle du traitement des déchets ou sous l'angle de la substitution d'engrais, par exemple, restreint la quantité de fonctions que remplissent de telles synergies (Junqua *et al.*, 2012). En s'interrogeant sur ces questions, Loiseau *et al.* (2014) proposent des méthodes pour entreprendre une ACV territoriale. Les auteurs distinguent notamment deux manières de conduire une telle ACV, soit en se focalisant sur un sous-système du territoire, soit en considérant le territoire dans son ensemble (Loiseau *et al.*, 2018). L'évaluation d'une symbiose territoriale focalisée sur la gestion de la biomasse se rapproche plutôt du premier type de situation, car elle ne s'intéresse pas à tous les aspects du territoire sans distinction. Elle nécessite la délimitation d'un sous-système focalisé sur la production, la transformation et l'utilisation de PRO. Néanmoins, la multifonctionnalité d'un tel système est loin d'être évidente et ne peut être appréhendée par une simple unité fonctionnelle (Dumoulin, 2016). Ces critères d'évaluation sont également spécifiques au territoire auquel s'applique l'ACV (Loiseau *et al.*, 2018). Pour ces raisons, si les méthodes d'ACV classiques présentent des avantages, elles ne peuvent pas être directement transposées.

Input et Output circularity

L'indice de circularité peut donner des informations sur l'état de résorption de la rupture métabolique. Harder *et al.*, 2016b posent de manière rigoureuse le cadre nécessaire à l'évaluation du recyclage des nutriments (Harder *et al.*, 2021b). Deux types de circularités doivent être considérés : la circularité-intrant (*input circularity*) et la circularité-sortant (*output circularity*). La circularité-intrant mesure le taux de substitution de matières premières par des matières recyclées, et informe ainsi sur la durabilité de l'utilisation des ressources en amont de la chaîne de production. La circularité-sortant mesure quant à elle le taux de recyclage des résidus, et mesure donc l'efficacité du système de gestion en aval des sous-produits. Les deux valeurs de

circuliarité peuvent être très différentes. Les auteurs indiquent également que dans un raisonnement territorial, il est nécessaire de regarder si la circularité (intranant ou sortant) s'effectue sur le territoire ou sur d'autres territoires. Cet aspect permet de prendre en compte la multiplicité des échelles du recyclage, en lien avec la question de l'équité territoriale soulignée par Laganier et al. (2002) (voir section 1.2.3). La résorption d'une situation de rupture métabolique territorialisée par une symbiose territoriale passe à la fois par l'amélioration de la circularité-intranant et de la circularité-sortant au sein du système. Par ailleurs, la formalisation proposée par Harder et al. (2021b) permet de reconnaître la valeur de la substitution importée et du recyclage exporté. Notons qu'en lui-même, cet indicateur ne correspond pas à la durabilité d'un système (Harris *et al.*, 2021). D'une part, la circularité ne doit pas être considérée comme une fin, mais plutôt comme un moyen d'atteindre la durabilité, et ne peut donc se passer d'une analyse environnementale robuste sur les avantages réels qu'elle procure. D'autre part, la circularité d'un système n'informe en rien sur son intensité et sa dynamique d'évolution. Le recyclage, même très performant, d'un système en croissance continue sera toujours insuffisant pour répondre à ses besoins en intrants (Fellner *et al.*, 2017).

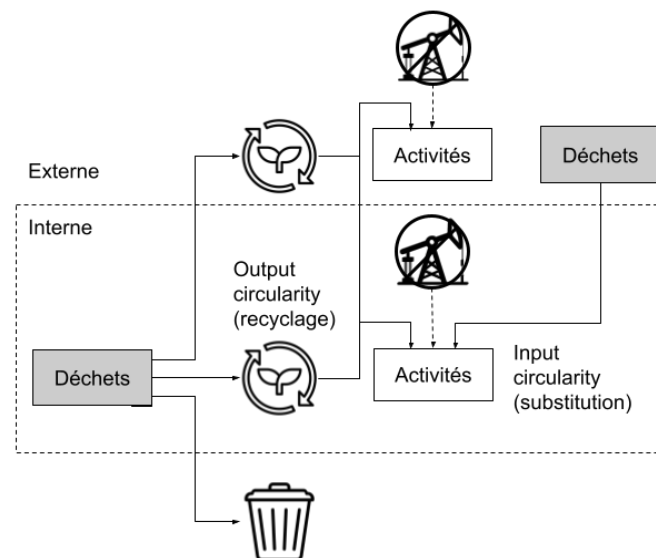


Figure 21 : Illustration des différents aspects de la circularité, d'après les travaux de Harder et al. 2021.

2.4. Questions de recherche : mettre en formule la symbiose territoriale bioéconomique

Comme le démontrent les sections précédentes, le passage à l'échelle d'un système de gestion territorial entraîne de nombreuses questions méthodologiques et épistémologiques encore non résolues dont émergent des sous-questions de recherche.

2.4.1. Préciser le cadre de la symbiose territoriale bioéconomique

Malgré les nombreux outils de modélisation et les approches convergentes dans une représentation couplée de la gestion des PRO et de leur valorisation agronomique, il existe

aujourd'hui peu de travaux consacrés à la mise en œuvre d'une symbiose territoriale s'intéressant à la question de la rupture métabolique. Cela amène à formuler la première sous-question de recherche :

QR 1 Comment déterminer a priori le périmètre et les objectifs d'une symbiose territoriale bioéconomique ?

Nous nous intéresserons à deux aspects fondamentaux de cette question. Le premier aspect concerne le lien conceptuel entre symbiose industrielle et bioéconomie qui n'a, à ce jour, pas été clairement établi. Le nombre marginal de symbioses industrielles dédié spécifiquement à la valorisation de la matière organique laisse un important flou théorique sur la manière dont doivent être conceptualisées de telles symbioses. Il n'est ainsi pas évident de comprendre en quoi la bioéconomie peut être un aspect clé de la symbiose industrielle, et du type de synergies que cela implique. Dans la mesure où la bioéconomie est un concept qui s'est détourné d'une définition centrée sur la durabilité (voir section 1.3), il est également nécessaire d'établir en quoi les synergies bioéconomiques s'inscrivent dans des pratiques durables. Il est par exemple important, sans la faire passer au second plan, d'associer la problématique de la gestion des nutriments à une problématique d'arbitrage de l'utilisation de la matière organique – notamment dans la production d'énergie, qui est plus ou moins compatible avec la valorisation agronomique selon la technologie sélectionnée.

Le deuxième aspect conceptuel concerne la délimitation *a priori* du système, désigné jusqu'à présent de manière floue par le mot 'territoire', au sein duquel doit être envisagée une symbiose territoriale. Dans le travail de « mise en formule » à réaliser pour répondre à la problématique, il est nécessaire de définir les contours du système pertinent au sein duquel concevoir a priori une symbiose territoriale, et donc au sein duquel construire une promesse plausible. La définition et la délimitation d'un système tiennent à ce que l'observateur de ce système juge d'intérêt. Cette posture est constructiviste, dans le sens où elle présuppose qu'il n'existe pas de système « dans l'absolu », indépendamment de la personne qui délimite ce système. Il s'agit donc d'un artefact construit dans le but d'étudier un aspect bien précis de la réalité (Ison, 2008). La délimitation d'un système consiste à créer un modèle de la réalité qui soit utile. Cette approche suit la position donnée par François Guerrin, considérant que « *le modèle à construire est vu comme un moyen d'intégration des connaissances relatives à un système pour la résolution d'un problème donné* » (Guerrin, 2007, p.21). En l'occurrence, les éléments d'intérêt pour la symbiose territoriale bioéconomique sont ceux qui décrivent la gestion, au sens large, des PRO à l'échelle d'un territoire. Cette question est loin d'être triviale, car il n'existe pas de manière objective de délimiter ce à quoi correspond ce territoire. Il est donc nécessaire de concevoir des principes de délimitation opérationnels, à partir des connaissances établies sur les caractéristiques des territoires, en particulier dans les démarches de symbiose industrielle (Cerceau, 2013).

2.4.2. Modéliser et évaluer une symbiose territoriale

La deuxième sous-question de recherche vise à mettre en action ces éléments théoriques pour décrire de manière concrète le potentiel de symbiose industrielle sur un territoire. Elle peut être formulée de la manière suivante :

QR 2 Comment représenter le système technique de gestion des produits résiduels organiques et évaluer ses évolutions possibles en vue d'informer le potentiel de symbiose territoriale ?

Caractéristiques de la promesse plausible

Le passage en revue des outils de modélisation ainsi que de leurs principales caractéristiques permet de se positionner quant aux propriétés de l'outil nécessaire pour modéliser une symbiose territoriale bioéconomique dans l'objectif de formuler une promesse plausible. Le type de scénario à modéliser et évaluer est représenté schématiquement par la Figure 22. Il doit intégrer à la fois l'amont et l'aval des étapes de transformation. Un scénario correspond dans ce cas à l'assemblage d'une ou plusieurs filières, au sein desquelles sont mises en œuvre un ensemble de procédés, ou opérations unitaires. Cette représentation permet de décrire le fait qu'une même filière (par exemple, la méthanisation) peut faire intervenir différents choix technologiques (voie sèche, voie humide, mésophile, thermophile...) et donc différents procédés, qui modifient les caractéristiques du PRO sortant. Pour construire et analyser de tels scénarios, une représentation du système actuel en termes de quantification de PRO et des filières de traitement existantes est un prérequis indispensable.

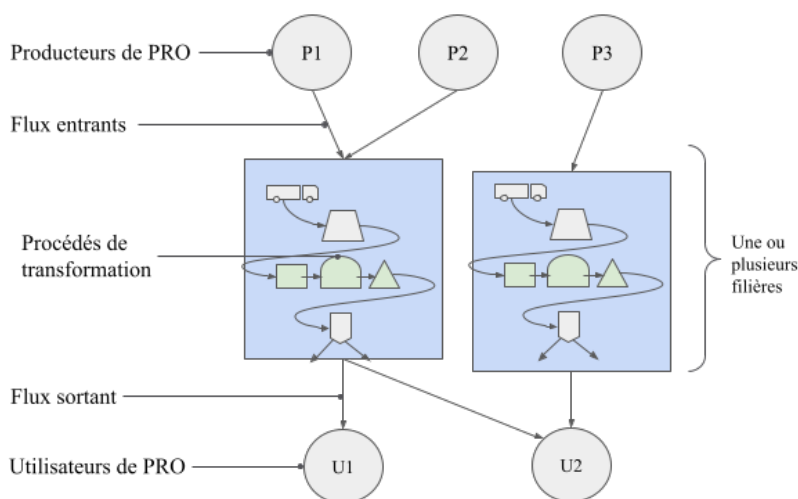


Figure 22 : Représentation conceptuelle d'un scénario de gestion des PRO.

Cet exercice comporte plusieurs caractéristiques qui le placent légèrement en décalage avec les outils existants. Premièrement, le système étudié est soumis à des incertitudes structurelles particulièrement élevées qu'il est impossible de réduire en amont de la concertation. Ces incertitudes sont de plusieurs ordres : évolution des interactions au sein du SGPRO, choix des modèles techniques utilisés pour décrire ces évolutions. Dans le cas d'une symbiose territoriale, il est possible d'envisager l'implantation de nouveaux procédés ou de nouvelles pratiques de manière très prospective, sans que la connaissance associée à celles-ci ne soit entièrement acquise – a fortiori en tenant compte de spécificités territoriales. Or, la modélisation doit aussi bien être en mesure de représenter des procédés matures et maîtrisés que de se projeter dans le développement de filières prospectives. L'utilisation de modèles trop détaillés pour les premiers risque de créer une asymétrie dans la modélisation, en comparaison de modèles simples pris comme hypothèses pour les seconds. Il est nécessaire de trouver le moyen de rendre ces deux

modalités comparables. Du fait de ces incertitudes, il n'est pas envisageable qu'un tel outil prétende décrire de manière très précise les conséquences des scénarios, sa finalité étant plutôt d'évaluer l'ordre de grandeur de celles-ci. Deuxièmement, un scénario de symbiose territoriale proposé comme promesse plausible dépend fortement des choix du modélisateur, qui peut s'écarter des attentes réelles des acteurs du SGPRO. Le modèle utilisé doit donc être particulièrement souple, pour rendre les hypothèses explicites et permettre d'en intégrer facilement de nouvelles. Troisièmement et malgré les incertitudes, il est nécessaire qu'un tel modèle soit capable de représenter la complexité systémique, de manière à faire apparaître les répercussions des changements tout au long de la chaîne de gestion. Si la simulation dynamique multi-agent est la plus adaptée pour modéliser une situation réelle, elle nécessite de connaître précisément les règles d'affectation, ou de les traduire en hypothèses qui ajoutent un niveau d'incertitude supplémentaire. Une manière plus simple est de traduire ces hypothèses en une représentation statique du système. Il serait inexact de parler de phénomènes émergents en l'absence d'une représentation multi-agent, mais cette représentation statique systémique permet malgré tout d'observer des phénomènes contre-intuitifs liés à l'affectation ou la réaffectation de PRO dans des voies de traitement différents. La formulation d'une promesse plausible implique l'assemblage d'un ensemble de sous-modèles techniques à un niveau pertinent en amont de la concertation. Nous constatons qu'aucun des outils existants n'est particulièrement adapté pour effectuer ce type d'exercice. Il est donc nécessaire de trouver une solution permettant de construire le contenu technique d'une telle promesse, qui ne doit rester '*qu'une promesse*' sans prétendre aller dans la modélisation la plus complexe et performante possible.

Au-delà de la promesse plausible, comment faire évoluer le SGPRO ?

Si cette question se focalise avant tout sur l'élaboration d'un contenu technique pour la promesse plausible, elle nécessitera de s'attarder sur la compréhension du système sociotechnique que représente le SGPRO dans lequel elle s'insère. Il est en effet nécessaire de comprendre la structuration actuelle des interactions entre les différents acteurs du réseau, en comprenant notamment la nature de leur rôle au sein du SGPRO actuel, afin de comprendre quel pourrait être ce rôle dans un scénario de symbiose territoriale. La compréhension du fonctionnement des systèmes de gestion de déchets nécessite à la fois une lecture de la possibilité de mise en œuvre de différents moyens de traitement et scénarios d'évolution possibles et leur évaluation (Allesch et Brunner, 2014 ; Gonzales-Roof *et al.*, 2012), mais aussi de la mise en évidence des logiques sociales sous-jacentes, notamment au rôle des différents acteurs et aux facteurs qui les influencent. Plusieurs études se sont intéressées à l'identification de leviers (*drivers*) à actionner afin de favoriser une évolution désirée (Aparcana, 2017 ; Bottausci *et al.*, 2022 ; Masood *et al.*, 2014 ; Wilson, 2007). Ces différentes contributions montrent que l'évolution du système de gestion de déchets est loin d'être un problème uniquement technique, car il est encastré socialement (Granovetter, 1985 ; Le Velly, 2002). Cependant, il n'existe à l'heure actuelle aucun cadre général pour appréhender l'influence de ces leviers dans le système de gestion de déchets. Par ailleurs, le peu de travaux qui s'intéressent aujourd'hui aux facteurs expliquant le comportement des acteurs au sein du système de gestion des déchets se focalisent plutôt sur les pays en développement dans lesquels l'enjeu est de construire ou développer un tel système (Alemu, 2017 ; Aparcana, 2017). L'intérêt d'étudier ces questions dans les pays dits développés apparaît de très grande importance, face à la nécessité de les faire évoluer afin de mieux intégrer les enjeux environnementaux (Pollans, 2017 ; Sholanke et Gutberlet, 2022). Malgré ces travaux récents, les rôles des différents acteurs au sein du système de gestion de

Partie I

déchets restent peu formalisés. Dans l'optique d'investiguer le potentiel d'une promesse plausible à faire évoluer le SGPRO, il est indispensable d'acquérir ces connaissances de base sur le fonctionnement du système de gestion de déchets, en l'occurrence des PRO. Cette compréhension est d'ailleurs une étape indispensable pour identifier les acteurs légitimes pour participer à une potentielle concertation, et donc pouvant se positionner sur une promesse plausible. Cette question s'inscrit en lien avec les aspects sociaux de la symbiose industrielle (voir section 1.2.2). La compréhension de la performativité de la promesse plausible doit dans cette optique être mise en lien avec l'encastrement cognitif, social, structurel, spatial et temporel des interactions au sein du SGPRO.

Chapitre 2

Chapitre 3. L'action collective comme forme d'innovation

La mise en formule de la promesse plausible dont les enjeux de recherche centraux ont été développés au Chapitre 2 représente un premier axe de questionnement centré sur les questions techniques et systémiques de la symbiose territoriale. Cependant, pour formuler une promesse plausible contenant de tels éléments techniques, il est également nécessaire de comprendre plus exactement ce à quoi correspond cet objet. Certains corpus théoriques issus des sciences humaines et sociales fournissent des éléments de compréhension importants sur lesquels baser la démarche de recherche. Ce chapitre détaille en quoi ces enseignements permettent d'alimenter le concept de promesse plausible et quelles en sont les insuffisances qui doivent être investiguées pour répondre à la problématique de recherche. Dans un premier temps, nous étudierons comment la promesse plausible et la symbiose industrielle s'insèrent dans la sociologie de l'innovation, en constatant la proximité théorique avec la sociologie de la traduction, issue du courant pragmatique (Section 3.1). Ces théories restent cependant équivoques sur la nature et les caractéristiques de la promesse plausible. Il faudra pour cela les enrichir avec l'angle de la sociologie néo-institutionnelle et notamment la théorie des mythes rationalisés, qui permet de mieux comprendre la fonction d'une promesse plausible pour initier une action collective (Section 3.2). Enfin, en ligne avec la posture pragmatique, nous nous interrogerons sur le lien entre la promesse plausible et l'action, au travers de la notion de performativité (Section 3.3). L'enjeu central de la recherche est de comprendre comment la promesse plausible, en tant qu'étape d'un processus d'innovation, peut conduire à une symbiose territoriale, vue comme une action collective selon la posture néo-institutionnelle, qui se traduit par deux nouvelles questions de recherche (Section 3.4).

3.1. La promesse plausible dans la sociologie de l'innovation et la sociologie pragmatique

La promesse plausible a été définie dans la section 1.4.3 comme une étape clé au sein d'un processus d'innovation. Cependant, cette seule caractéristique est insuffisante pour comprendre comment formaliser et étudier les promesses plausibles, afin de répondre à la problématique de recherche. Les sciences humaines et sociales fournissent de nombreux outils théoriques qui permettent de mieux saisir la nature d'un tel objet, en le faisant discuter avec différents cadres conceptuels. Une première étape indispensable est de comprendre en quoi le modèle d'innovation au sein duquel elle intervient s'insère dans les théories générales de la sociologie de l'innovation (3.1.1.). Par ailleurs, dans la continuité de ces théories, l'objet étudié présente un lien étroit avec la sociologie de la traduction, issue du courant pragmatique (3.1.2.). Le repositionnement de la problématique permet d'explicitier la base théorique sur laquelle elle peut se fonder (3.1.3.).

3.1.1. Eléments de sociologie de l'innovation

Caractéristique du processus d'innovation

Schumpeter, un des premiers théoriciens de l'innovation, la définit comme « l'exécution de nouvelles combinaisons productives » (Schumpeter, 1911). Il s'intéresse également à définir différents types d'innovations, qu'il nomme « espaces d'innovation ». Suite aux développements réalisés par la sociologie de l'innovation, les différents domaines d'innovation peuvent aujourd'hui être distingués de la manière suivante : innovation de produit, innovation de procédé, innovation organisationnelle, innovation de service, innovation sociale (Gaglio, 2021). Les principales caractéristiques de ces types d'innovation sont présentées dans le Tableau 4, qui indique également en quoi la symbiose territoriale s'inscrit dans chacun de ces domaines. Il est reconnu que cette typologie n'est pas exclusive et que les frontières des catégories ne sont pas clairement délimitées. L'innovation se définit par le fait qu'elle est un **processus**, qu'elle vise à faire émerger de **nouvelles pratiques sociales** et qu'elle est une exploration pour tenter **d'améliorer le réel** (Gaglio, 2021). En tant que processus, elle se distingue notamment de l'invention. L'innovation ne correspond pas simplement à un produit, service ou mode d'organisation innovant, mais au processus de généralisation de l'utilisation de ceux-ci. Ce processus intègre une phase centrale d'appropriation par les usagers, au cours de laquelle leurs comportements et habitudes évoluent de manière à intégrer les nouvelles pratiques associées à l'innovation. Confrontée à un environnement technique et social spécifique, celle-ci sera amenée à évoluer depuis sa forme initiale vers une forme pertinente dans le quotidien des usagers. Les innovations techniques n'échappent pas à ce processus, car celles-ci ne se développent pas indépendamment de la société (Callon, 1994). La technique peut en effet être vue comme le résultat d'une construction sociale et culturelle (Flichy, 2003).

Partie I

Tableau 4 : Définition des différents domaines d'innovation donnée par Gaglio (2021), et identification des éléments innovants, selon ces domaines, dans une symbiose territoriale.

Domaine d'innovation	Définition	Innovations dans la symbiose territoriale
Innovation de produit	Nouvel objet	Nouveaux produits destinés à substituer des fertilisants agricoles
Innovation de procédé	Nouvelle technique de production	Implantation de procédés de transformation innovants
Innovation organisationnelle	Nouvelle organisation du travail au sein des organisations	Nouveaux modes de fonctionnement interne pour les acteurs
Innovation de service	Nouvelle combinaison d'offre de service	Nouveaux services territoriaux proposés dans le cadre des synergies
Innovation sociale	Nouveauté non marchande	Nouveaux modes d'interaction entre les acteurs

Le modèle diffusionniste et ses limites

Le processus d'innovation est très souvent présenté sous un angle dit « diffusionniste », qui présuppose qu'il existe un centre, ou un innovateur initial, à partir duquel se diffuse une innovation jusqu'à ce qu'elle touche tous les acteurs possibles. La célèbre courbe en S proposée par Everett Rogers incarne cette idée, en catégorisant le profil des cibles de l'innovation. Cette typologie illustrée par la Figure 23 distingue les pionniers, les innovateurs, la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires (Rogers, 1963). Malgré sa popularité, cette approche a été très critiquée par les acquis de la sociologie de l'innovation (Boullier, 1989). En se recentrant sur les caractéristiques des individus, elle ne permet en effet pas de comprendre les raisons pour lesquelles les innovations sont acceptées ou rejetées par ceux-ci. Le modèle laisse ainsi supposer que les innovations sont adoptées en l'état, sans phase d'adaptation à leur environnement. Par ailleurs, cette conceptualisation introduit une distinction entre l'innovation à proprement parler et sa diffusion, ce qui est fortement remis en question par l'observation des réseaux technico-économiques dans lesquelles elle se développent (Callon, 1994). Le modèle de Rogers représente de fait le processus d'innovation comme celui d'un transfert de technologie, qui ne prend pas en compte la complexité des systèmes socio-écologiques dans lesquels elle intervient (Douthwaite et Hoffecker, 2017).

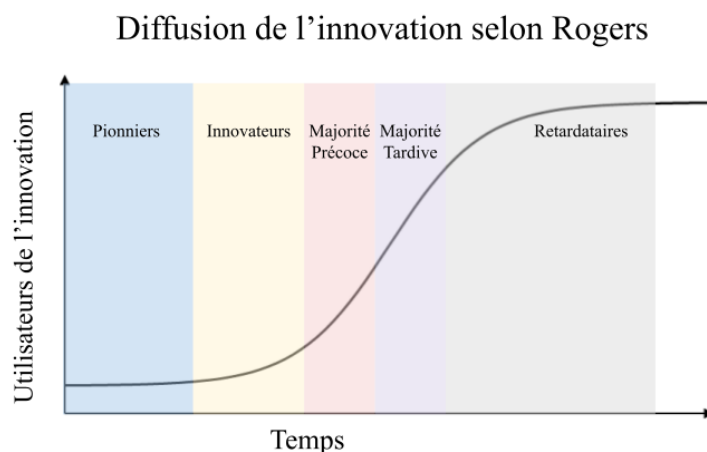


Figure 23 : Illustration de la courbe en "S" représentative des théories diffusionnistes de l'innovation.

Le processus de transition sociotechnique

A l'inverse, la mise en perspective de l'innovation avec les processus de transitions sociotechniques accentue l'importance de la contingence sociale dans laquelle prennent place et se diffusent les innovations. Ce cadre théorique a été notamment formalisé par Geels et Kemp (2007), sa représentation la plus emblématique étant représentée sur la Figure 24. Il met en avant le fait que l'innovation se place dans un régime sociotechnique⁴⁷ qu'elle peut faire évoluer plus ou moins en profondeur. Ce régime correspond à un « ensemble de règles intégrées dans un complexe de pratiques d'ingénierie, de technologies de production, de caractéristiques de produits, de compétences, procédures, manière de manipuler les artefacts et personnes pertinentes, manières de définir les problèmes- toutes étant encastrées dans des institutions et infrastructures »⁴⁸ (Rip et Kemp, 1997). En d'autres termes, il s'agit de normes et d'habitudes concernant l'environnement technique, partagées à l'ensemble de la société. Cette représentation insiste sur la plus grande importance des facteurs sociaux, techniques et culturels, que de la qualité des innovateurs ou des innovations en elles-mêmes dans la diffusion des innovations. Ils décrivent un processus de co-évolution entre technologie et société (Rip et Kemp, 1997) : les innovations qui prennent de l'importance sont celles qui sont sélectionnées car elles répondent à une perturbation ou un besoin sous-jacent du régime sociotechnique, et font donc évoluer ce régime vers un nouvel état d'équilibre.

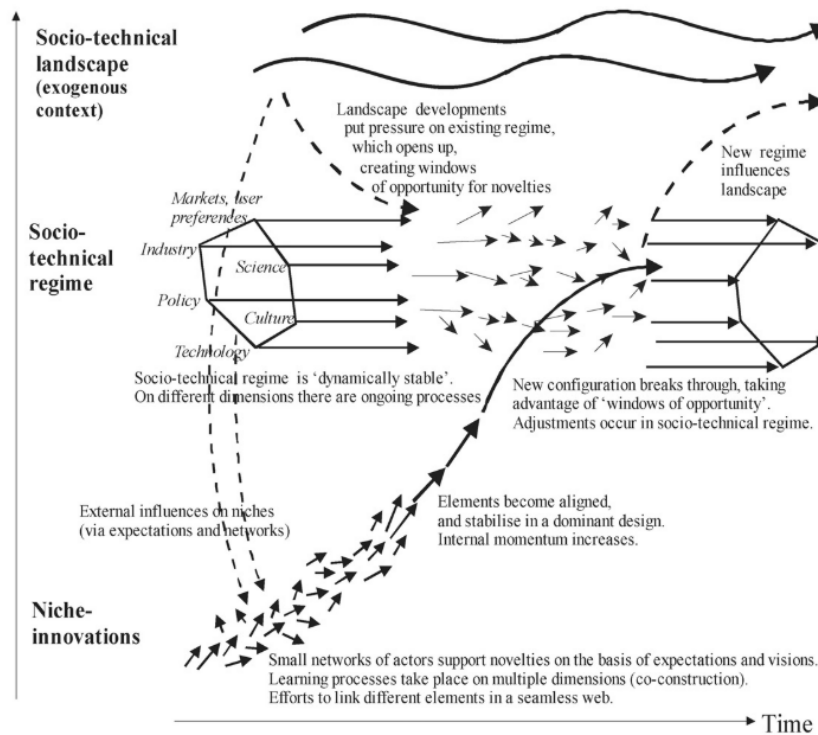


Figure 24 : Transition sociotechnique multi-niveaux représentée par Geels (Geels et Schot, 2007).

⁴⁷ Cette idée s'approche de celle de régime socio-écologique discutée à la section 1.2.4, bien qu'elle soit moins explicite que cette dernière sur les conséquences sur la biosphère d'un tel régime.

⁴⁸ « technological regime is the rule-set or grammar embedded in a complex of engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, ways of handling relevant artifacts and persons, ways of defining problems—all of them embedded in institutions and infrastructures »

L'innovateur et la société

La question des rôles respectifs de l'innovateur et des utilisateurs de l'innovation est centrale dans cette dialectique. Il existe deux positions discordantes, l'une tendant à conférer un rôle prépondérant à l'innovateur, l'autre tendant à naturaliser l'innovation presque sans tenir compte de celui-ci. Certaines approches classiques de l'innovation ont tendance à conférer un rôle central à l'innovateur, comme s'il était en mesure d'imposer l'innovation dont il est dépositaire au reste de la société (Mokyr, 1992). C'est notamment ce qui est critiqué par Douthwaite et ses collègues dans l'approche de 'Transfert de Technologie' (Chambers et Jiggins, 1987). Callon souligne cependant l'inconsistance du mythe de l'inventeur ou du « père fondateur » en ce qui concerne les innovations techniques (Callon, 1994). En effet, celles-ci émergent au sein de réseaux complexes et dépendent grandement des théories, outils et techniques préexistants. Dans ce cadre, attribuer une invention ou découverte à une unique personne relève d'une représentation erronée des processus réels. L'auteur souligne qu'il serait plus judicieux, par exemple, d'attribuer de telles avancées techniques et scientifiques à des collectifs. L'approche de l'innovation par la transition sociotechnique a tendance à mettre en avant l'importance des mécanismes sociaux dans la diffusion des innovations et ainsi dans les changements induits à l'échelle de la société. Dans ce cadre, le rôle de l'innovateur est peu important et l'innovation suit nécessairement un processus d'appropriation par ses destinataires qui lui échappe. Cette approche présente le processus de transition sociotechnique comme un phénomène social et fait peu mention des actions individuelles dans l'innovation.

3.1.2. L'éclairage de la sociologie pragmatique : théorie de l'acteur réseau et sociologie de la traduction

Une sociologie de l'action

La sociologie pragmatique a également contribué à comprendre le processus d'innovation. Elle s'écarte de deux traditions sociologiques de la fin du XXe siècle que sont la sociologie critique de Bourdieu et l'individualisme méthodologique de Boudon (Barthe *et al.*, 2013). Tandis que la première s'attache à identifier des mécanismes de déterminismes sociaux structurels – supposant qu'il existe de telles structures –, la seconde part du postulat « *qu'un phénomène social n'est suffisamment expliqué que si l'on remonte aux actions des individus qui y sont impliqués, pris séparément* » (Borlandi, 2020, p.240). La sociologie pragmatique, parfois appelée « sociologie des épreuves », peut se définir comme une sociologie de l'action, focalisée sur des situations. De cette manière, Barthe *et al.*, 2013 indiquent qu'« *elle ne dissocie jamais [les faits d'ordre macro-sociologique] des opérations et des processus dans et par lesquels ces faits sont rendus descriptibles.* » (Barthe *et al.*, 2013, p.178). Ils considèrent ainsi que « *la société ne constitue pas un cadre à l'intérieur duquel évoluent les acteurs* », mais qu'elle constitue « *le résultat toujours provisoire des actions en cours* ». (Michel Callon, 2006, p.267). Cette société est décrite comme un phénomène dynamique en renouvellement perpétuel, au travers de ces actions. La sociologie pragmatique s'intéresse ainsi à comprendre les mécanismes expliquant le déroulement de l'action à partir de son observation directe, sans préjuger de structures ou systèmes sociaux préexistants (Boltanski, 1990), ni tenter de la ramener à une somme de comportements individuels. Elle s'intéresse à des situations, observées à l'échelle « micro », qui sont considérées comme des composantes élémentaires des faits accomplis au niveau « macro ».

Le cadre de la sociologie pragmatique est particulièrement adapté pour l'étude des démarches de concertation, car elles correspondent précisément à des actions en cours de réalisation⁴⁹, ayant des conséquences sur la configuration du monde social. La théorie des justifications permet par exemple de comprendre les différentes valeurs en jeu lors d'une concertation et offre de nouvelles perspectives de lecture des conflits (Beuret, 2006). Les analyses des économies de la grandeur⁵⁰ de Boltanski et Thévenot sont ainsi un élément fondateur de la sociologie pragmatique (Boltanski et Thévenot, 1991). Les auteurs se sont attachés à comprendre la nature des controverses, et notamment les différents systèmes de valeurs qui permettent d'accorder de la valeur à certains éléments plutôt qu'à d'autres. Ces théories se révèlent par exemple utiles pour comprendre les représentations et les justifications en jeu dans les échanges de flux de matière (Gabriel, 2021).

La théorie de l'acteur-réseau : humains et non-humains

Les travaux de sociologie des sciences d'Akrich et al. (2006) se rattachent à cette approche pragmatique, en formulant la théorie de l'acteur-réseau. En étudiant la production de connaissances scientifiques « *en train de se faire* », ces auteurs observent l'importance des éléments non-humains au sein de réseaux sociotechniques, notamment dans la réalisation de l'action sociale. Par exemple, la production de connaissances scientifiques est intimement liée aux équipements d'observation disponibles, ainsi qu'à l'organisation de l'institution scientifique. Pour illustrer cela, Callon prend l'exemple de l'automobile. « *Son succès phénoménal est probablement dû au fait qu'elle permet aux utilisateurs d'élargir la gamme et la variété des actions qu'ils peuvent entreprendre avec succès, leur donnant la liberté de voyager sans avoir à dépendre de quiconque. (...) L'autonomie du conducteur tient paradoxalement au fait que l'automobile n'est qu'un élément dont le fonctionnement est dépendant d'un large réseau socio-technique. Il faut des infrastructures routières avec leurs services de maintenance, des sociétés d'exploitation des autoroutes, l'industrie automobile, le réseau des garagistes et des distributeurs d'essence, une fiscalité spécifique, des auto-écoles, un code de la route, des agents de la circulation, des centres techniques pour contrôler la sécurité des véhicules, des lois, etc...* » (Callon, 2006). Cela illustre parfaitement l'idée, très proche, de régime sociotechnique mobilisée par Geels. Dans la représentation de Callon, les éléments non-humains (les routes, les garages, le mobilier urbain, l'essence...) sont considérés comme faisant pleinement partie du réseau. Bien qu'ils ne puissent pas être considérés avec une intentionnalité similaire à celle des acteurs humains, leur capacité d'influencer les actions au sein du réseau – leur agence – est mise en évidence (Barbier et Trépos, 2007).

Sociologie de la traduction

La sociologie de la traduction est un cadre théorique étroitement lié à la théorie de l'acteur-réseau et s'intéresse à la mobilisation d'acteurs sur une question collective. Le processus de traduction est la démarche au cours de laquelle les problématiques de l'acteur porteur d'un projet collectif deviennent un élément d'intérêt pour les acteurs qu'il souhaite impliquer dans ce projet.

⁴⁹ Notons que l'étude de l'initiation de telles démarches fait également partie du champ d'étude de la sociologie pragmatique, car cette étape correspond elle-même à la réalisation d'une action qui reconfigure le contexte social.

⁵⁰ L'économie de la grandeur a pour objectif de distinguer ce qui est « grand » de ce qui est « petit », selon plusieurs manières de juger un fait ou une personne. Les auteurs s'attachent donc à ce moment précis du jugement, qu'ils nomment « épreuve », et identifient six grands principes d'attribution de valeur, qu'ils nomment des « mondes ».

Quatre étapes de ce processus sont distinguées : la problématisation, l'intéressement, l'enrôlement et la mobilisation des alliés (Callon, 1986). La **problématisation** consiste à formuler un problème et identifier les acteurs concernés par ce problème, qui devient ainsi un *point de passage obligé*, c'est-à-dire une référence commune qui représente le motif d'engagement collectif. **L'intéressement** correspond à l'implication des autres acteurs dans la problématique selon leur rapport présupposé avec cette problématique. En plaçant le point de passage obligé au centre d'une attention collective, l'intéressement est une action qui crée une irréversibilité dans le réseau sociotechnique. C'est notamment à cette étape que le traducteur doit s'assurer que la problématique est pertinente et intéressante pour les autres parties prenantes. **L'enrôlement** représente la mise en action de ces autres acteurs au travers de différents rôles, qui peuvent être ou non prédéterminés. Cette phase représente une négociation au cours de laquelle la contribution spécifique des acteurs peut être redéfinie. Enfin, la **mobilisation des alliés** consiste à s'assurer que les porte-parole présents dans la concertation soient bien représentatifs d'un collectif plus large qui pourra être touché par le processus de traduction. Le processus de traduction correspond ainsi à un modèle d'innovation, dit *tourbillonnaire* (Callon, 1994), qui s'oppose notamment à la représentation diffusionniste. Il faut entendre par ce mot qu'une innovation ne s'impose pas d'elle-même sans un important travail d'allers et retours, au moins dans les premières phases, entre les innovateurs et les utilisateurs de l'innovation. Callon formule ainsi l'articulation entre le processus de traduction et d'innovation : « *pour réussir il faut intéresser d'autres acteurs qui vont s'allier à vous, à travers le dispositif que vous leur proposez, et pour les intéresser il faut accepter de traduire leurs demandes, attentes et observations dans le dispositif sous la forme de choix techniques appropriés.* » (Callon, 1994, p.8, emphase ajoutée).

Sociologie des objets-frontières

En approfondissant la conceptualisation du processus de traduction, Star et Griesemer (1989) proposent la notion d'objets-frontières (*boundary objects*). Ces auteurs s'intéressent notamment à la coopération dans la production de connaissances, entre des acteurs de nature très différente (chercheurs, amateurs, fonctionnaires, ...). Ils identifient alors l'importance d'objets – qui peuvent être physiques, numériques ou conceptuels – qui rendent possible cette coordination. Comme l'indique Star, le mot frontière « *est utilisé pour désigner un espace partagé, le lieu précis où le sens de l'ici et du là-bas se rejoignent.* » (Star, 2010, p.20) En d'autres termes, les objets-frontières sont des objets à l'intersection de plusieurs groupes distincts, que peuvent s'approprier ces groupes. Les auteurs proposent à titre d'exemple les objets-frontières suivants : le catalogue, l'idéal-type, la frontière commune et la forme standardisée. Ils permettent de conserver les spécificités d'interprétation liées à chaque groupe, tout en les rendant intelligibles pour les autres groupes. Carlile s'est intéressé à l'application de ce concept théorique dans le cas du partage des connaissances autour des innovations (Carlile, 2002). Il identifie que les barrières à la coopération entre divers groupes de pratiques se situent à trois niveaux : un niveau syntaxique (le fait que chaque groupe utilise son propre vocabulaire technique, incompréhensible par les autres groupes), un niveau sémantique (le fait qu'un même concept peut prendre une signification différente selon la communauté qui l'emploie) et un niveau pragmatique (le fait que les connaissances des différents groupes soit liées à leur modalités d'action et puissent être remises en cause) (Queste *et al.*, 2011). Contrairement à la sociologie de la traduction, la théorie des

objets-frontières⁵¹ s'écarte de l'idée d'une traduction unique, réalisée par un acteur central. Elle implique plutôt que chaque groupe d'acteurs réalise des traductions pour rendre compatible son mode de raisonnement avec l'objet-frontière et contribue ainsi à redéfinir les propriétés de cet objet (Carlile, 2004). La comparaison entre une concertation basée sur un processus de traduction et celle basée sur la co-construction d'un objet-frontière sont représentées par la Figure 25. Ces deux approches font intervenir des « points de passage obligés », qui sont analogues à la promesse plausible dans le sens où ils constituent le point de raccordement des acteurs autour du projet coopératif.

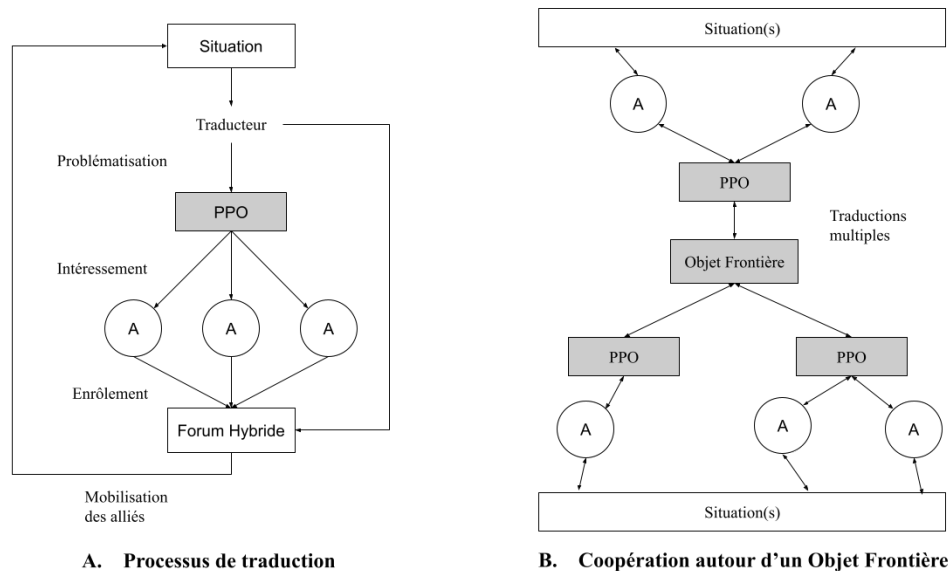


Figure 25 : Représentation schématique du processus de traduction et de la coopération autour d'objets-frontières. Les carrés grisés ont la fonction de promesses plausibles au sein du processus. PPO : Point de passage obligé. A : acteurs impliqués.

3.1.3. Quel positionnement pour la promesse plausible ?

La problématique de recherche a deux niveaux de liens avec la sociologie pragmatique et de l'innovation : d'une part parce que la symbiose territoriale est en soi une démarche innovante, d'autre part parce que la promesse plausible contribue à une théorie de l'innovation.

La symbiose territoriale : quel format d'innovation ?

La symbiose territoriale se définit comme un processus impliquant la mise en œuvre de nouvelles pratiques sociales et entre ainsi pleinement dans la définition donnée par la sociologie de l'innovation. Bien qu'elle vise *in fine* à modifier des paramètres techniques du système de gestion des PRO, elle ne se focalise pas sur le déploiement d'un procédé technique particulier⁵². Elle est donc avant tout une innovation sociale et organisationnelle. La notion d'échelle est également importante, du fait de l'aspect *territorial*. La symbiose territoriale est une innovation

⁵¹ A distinguer des objets intermédiaires, même si ces deux concepts sont tous les deux issus de la sociologie pragmatique (Vinck, 2009).

⁵² Cela la rend d'ailleurs assez différente du contexte dans lequel Douthwaite a développé la gestion adaptative, étant donné que ses applications se focalisaient plutôt sur l'implantation de techniques agricoles particulières (Hornidge et al., 2012).

qui n'a pas pour ambition de s'étendre, en tant que telle, au-delà du territoire sur lequel elle est déployée. Dans la représentation multi-niveau des transitions sociotechniques (Figure 24), elle se situe donc au niveau des niches d'innovation, qui sont des « *salles d'incubation pour des innovations radicales, abritées des principaux mécanismes de marché* »⁵³ (Geels et Kemp, 2007, p.443). Dans leur articulation avec le reste du système, elles sont « *un phénomène à un niveau micro, interagissant à un niveau méso avec le régime socio technique et avec un macro-paysage* »⁵⁴ (*ibid.*). L'approche par la promesse plausible de Douthwaite ne s'oppose ainsi pas à la vision multi-niveaux de Geels, mais décrit plutôt le processus de déploiement d'une innovation au sein d'une telle niche. Le territoire dont il est question n'est pas une échelle au sens d'une *étape* dans la diffusion d'une innovation telle que vue par Geels et Kemp. Savoir si et comment une telle innovation territorialisée pourrait sortir de cette niche pour s'étendre au reste de la société dépasse le cadre de nos travaux. Dans ce contexte, il est pertinent de s'intéresser à des dynamiques beaucoup plus locales et aux acteurs qui portent ces dynamiques. Notons d'ailleurs que cette approche est plutôt cohérente avec la littérature sur le rôle des *champions* dans ce type de démarche (Hewes et Lyons, 2008). L'importance observée de ces acteurs particulièrement entreprenants montre que l'innovateur a effectivement un rôle important dans ce contexte.

Processus de Traduction et innovation Follow-the-Technology

Le processus de traduction (PT) et d'innovation tourbillonnaire de Callon (Callon, 1986, 1994) n'est, en substance, pas différent de l'approche Follow-the-Technology (FTT) de Douthwaite décrite à la section 1.4.3 (Douthwaite *et al.*, 2001 ; Douthwaite et Gummert, 2010). Les deux cadres se déclinent comme des approches de l'innovation concertée, qui passent par quatre phases génériques : une phase de préparation, une phase de rencontre avec les acteurs, une phase de concertation et une phase d'expansion de l'innovation. Le vocabulaire associé à ces phases est différent, mais les idées en sont très proches. Les deux cadres se complètent en réalité l'un l'autre, en mettant l'accent sur des phénomènes différents qui interviennent au cours de ces différentes phases. Dans la phase de **préparation**, le PT met en lumière le fait que la problématisation est un acte intentionnel et structurant de représentation d'une situation, là où FTT pourrait le faire comprendre comme dénué de tout contexte. Dans les deux cas, le manque de maturité initial du projet est assumé, soit parce qu'il est sujet à de fortes incertitudes et un manque de connaissances dans le PT, soit parce qu'il doit être adapté et approprié par les acteurs dans un contexte local dans FTT. Dans la phase de **rencontre avec les acteurs**, l'intéressement du PT correspond à la formulation d'une promesse plausible dans FTT, c'est-à-dire aux éléments clé qui vont permettre d'engager d'autres acteurs au sein du processus. Le concept de point de passage obligé est particulièrement adéquat pour désigner l'irréversibilité de cet acte. Dans le PT, l'intéressement dépend moins de la qualité intrinsèque de la problématisation que de la capacité du « traducteur » à transformer cette problématique particulière en une problématique partagée. Dans FTT au contraire, il est supposé que les qualités techniques de la promesse plausible sont suffisantes pour engager la démarche. Le concept de promesse plausible donne du

⁵³ Notons que cela ne signifie pas pour autant que les synergies qui se développent au sein d'une symbiose industrielle s'extraient du monde économique : la faisabilité d'une synergie repose en premier lieu sur l'intérêt économique (Chertow et Ehrenfeld, 2012). En revanche, cela signifie que les synergies qui ont lieu dans ce cadre n'auraient pas lieu *uniquement* par ces mécanismes de marché.

⁵⁴ "Niches may be viewed as a micro-level phenomenon, interacting with the established regimes at the meso-level, within a macro-landscape."

corps au processus d'intéressement, ce qui permet plus facilement d'en déterminer des caractéristiques à étudier. La **concertation** est une phase au cours de laquelle les acteurs mobilisés ont un rôle particulièrement actif dans la phase d'appropriation de l'innovation, impliquant dans les deux cadres de nombreux allers-retours avec les initiateurs. Là où FTT place au centre de ce processus l'amélioration de la pertinence technique de l'innovation, le PT souligne que la dynamique des collectifs d'acteurs est un point d'évolution central du processus. Un autre point de différence notable est que, parmi les acteurs possibles à mobiliser, le PT intègre également des « non-humains » qui participent pleinement à ce processus (voir la métaphore de l'automobiliste au 3.1.2) – question qui n'est pas abordée de manière explicite dans FTT. Enfin, la phase d'**expansion de l'innovation** correspond à l'objectif final des processus. Il est atteint dans FTT lorsque les propriétés de l'innovation ont atteint un niveau de maturité et d'adaptation suffisant. Dans le PT, il est atteint lorsque les porte-parole impliqués dans le processus parviennent à transférer l'innovation à la communauté qu'ils représentent. Le premier cadre met l'accent sur la qualité et la pertinence de l'innovation, tandis que le second insiste sur la qualité du réseau d'acteurs dans sa diffusion.

Tableau 5 : Principaux points communs et différences notables entre les approches de Callon et de Douthwaite.

Phases communes		Follow-the-Technology (Douthwaite)	Processus de traduction (Callon et al.)
Phase de préparation	Concepts	<i>Bright idea et best bet</i>	Problématisation
	Comparaison	Les progrès scientifiques amènent à identifier des retombées possibles pour la société qui méritent d'être adaptées à un contexte local par une innovation concertée.	Le traducteur identifie une situation d'incertitude où l'innovation est pertinente, qu'il problématise.
Rencontre avec les destinataires de l'innovation	Concepts	Formulation d'une <i>plausible promise</i>	Point de passage obligé et Intéressement
	Comparaison	L'innovateur doit améliorer son modèle de sorte qu'il devienne suffisamment prometteur pour mobiliser les acteurs dans une concertation.	La problématisation devient un référentiel commun qu'il faut mettre en action pour mobiliser les acteurs concernés. Cela crée une irréversibilité – un point de passage obligé.
Concertation	Concepts	Sélection par l'apprentissage	Enrôlement
	Comparaison	L'innovation est progressivement adaptée, par une série d'essais et d'erreurs sélectionnés pour que sa pertinence s'améliore au fil du temps.	Les acteurs mobilisés (y compris non-humains) négocient le rôle qu'ils tiennent et les actions qu'ils doivent réaliser.
Expansion de l'innovation à une communauté élargie	Concepts	<i>Widely adopted technology</i>	Mobilisation des alliés
	Comparaison	L'adaptation de l'innovation la rend adaptée à une diffusion rapide au reste de la communauté concernée.	Il est nécessaire que les acteurs mobilisés dans le processus transmettent ses résultats à la communauté qu'ils sont supposés représenter. Cette étape ne peut être réussie que s'ils sont des porte-parole pertinents.

L'intérêt pour l'étude de la promesse plausible, dont la nature est plus explicite dans FTT, est cependant soulignée par ces deux cadres. Les enrichissements qu'apporte le cadre du PT à la problématique peuvent aisément être transposés dans le premier. Le point central que met en avant ce cadre, laissé de côté dans FTT, est l'importance des réseaux d'acteurs engagés dans le processus. Ce point doit donc également faire l'objet d'une attention particulière dans la formulation d'une promesse plausible. Il pose la question centrale de savoir si sa capacité à initier une concertation dépend plus de la qualité intrinsèque de la promesse, ou de la qualité du réseau dans lequel elle est formulée. Ces deux modèles s'accordent en revanche pour conférer à la recherche le rôle clé d'initiation et d'accompagnement. Paradoxalement, cela peut ici sembler se rapprocher des théories diffusionnistes desquelles les auteurs cherchent à s'écarter. Ils présupposent que l'innovation apportée par l'initiateur est nécessairement vertueuse, et que l'enjeu concerne son adoption par la société – tout en admettant qu'elle puisse être largement modifiée d'ici là. Pour comprendre en quoi ils s'en distinguent réellement, il est nécessaire de les replacer comme des dispositifs qui alimentent le lien entre recherche et société dans le cadre des sciences de la durabilité, dont nous aurons l'occasion de discuter plus en profondeur dans le Chapitre 4.

Leçons sur l'initiation des démarches d'écologie industrielle et territoriale

Les résultats de la thèse de Leïa Abitbol, évoqués brièvement lors de la construction de la problématique, peuvent à présent être développés avec la profondeur des concepts théoriques qu'elle mobilise. Son travail compare le cadre théorique de la sociologie de la traduction à celui des objets-frontières afin de comprendre les leviers d'initiation des démarches d'écologie industrielle et territoriale (Abitbol, 2012). Elle identifie deux postures de traduction, descendante et ascendante. La traduction descendante est dite substantive dans le sens où elle porte sur un objet relativement bien défini dès le départ. Elle est relativement fermée et vise à « *convaincre les acteurs et à les rassembler autour de la démarche* » (Abitbol, 2012, p.227). La traduction ascendante est plus ouverte car elle permet aux acteurs « *de définir eux-mêmes ce qui est intéressant dans la démarche* » (*ibid*). Elle est dite processuelle, car elle se focalise avant tout sur la mise en œuvre du processus et non sur les résultats attendus. En étudiant l'émergence de plusieurs démarches françaises, elle constate que l'approche de l'initiation de ces démarches est fortement liée au niveau d'incertitude du point de départ de la démarche. Ses résultats montrent que, plus les enjeux initiaux sont incertains et mal définis, plus le processus de traduction doit s'ouvrir à la participation des parties prenantes. Un autre résultat de ces travaux est qu'il s'agit d'objets-frontières dits conviviaux, qui permettent de renforcer les liens de confiance et d'interconnaissance entre les différents acteurs, qui sont un élément clé de la structuration des démarches. La symbiose territoriale peut selon ce cadre être considérée soit comme un point de passage obligé (issu du processus de traduction), soit comme un objet-frontière. Dans les deux cas, elle correspond à un cadre d'action qui constitue une référence commune parmi la diversité des groupes d'acteurs présents sur le territoire. Cette référence commune est le fruit de l'irréversibilité créée par la promesse plausible, qui intervient donc dans un cas comme dans l'autre. Les symbioses territoriales bioéconomiques présentent intrinsèquement un niveau d'incertitude initiale élevé. Les enjeux sont en effet multiples et les acteurs sont initialement peu conscients et intéressés par les possibilités de synergies. Etant donné la validité du cadre des promesses plausibles dans ces deux approches, nous n'intégrerons pas une telle distinction entre « traduction » et « objets-frontières » dans ces travaux. Néanmoins, nous reviendrons sur ce

cadre en discussion générale, afin d'observer si les résultats sont consistants par rapport à ceux d'Abitbol, moins centrés sur cette question bioéconomique.

Un cadre théorique à compléter

Ces réflexions démontrent que la promesse plausible est solidement ancrée dans le champ de l'innovation, appuyée par la sociologie de la traduction avec laquelle elle a une forte résonance. Cependant, ces cadres préexistants ne se sont jusqu'à maintenant pas attelés à définir et étudier un tel objet. Dans l'investigation de la formalisation d'une promesse plausible, il est donc nécessaire de mieux comprendre ses caractéristiques et ses fonctions, notamment ce que signifie réellement « initier une concertation », ainsi que les propriétés dont elle doit disposer pour accomplir cette fonction. Cela implique de réinterroger la manière de concevoir cette symbiose territoriale en tant que « concertation », à la lumière des cadres théoriques qui permettent de la voir comme un processus dynamique d'innovation.

3.2. Institutionnalisation de l'action collective et mythes rationalisés

Il est difficile de rattacher la notion de concertation à un champ de recherche précis, avant tout du fait de la multiplicité de ses définitions (voir section 1.4.1). Ainsi, de nombreux sujets comme la participation publique (Rowe et Frewer, 2005) ou la négociation (Mermet, 2019) s'en approchent sans en couvrir l'intégralité. Le cadre le plus souple auquel raccrocher la concertation est probablement celui de l'action collective, qui est lui-même étudié par plusieurs approches différentes. Cette section explore dans un premier temps ces différentes approches de l'action collective (3.2.1), et développe ensuite celle de la sociologie néo-institutionnelle, qui apparaît comme la plus adaptée pour étudier la symbiose territoriale (3.2.2). Les mythes rationalisés sont un élément clé de l'évolution de l'action collective dans cette théorie (3.2.3), qui permettent de redéfinir le concept de promesse plausible (3.2.4).

3.2.1. Différents cadres théoriques pour l'action collective

Approches utilitaristes de l'action collective

La littérature sur l'action collective s'intéresse à comprendre pourquoi et comment les actions humaines se coordonnent (Riesman, 2013). Beaucoup de travaux se basent sur une vision individualiste et utilitariste des groupes humains. Celle-ci considère que l'objectif des organisations est de satisfaire les intérêts de ses membres (Olson, 1965). La participation des individus aux groupes s'explique donc par l'utilité personnelle que chacun suppose en retirer. Une des conséquences est que certains peuvent agir en « passager clandestin », c'est-à-dire tirer bénéfice de l'action du groupe sans participer activement à la réalisation de cette actions. Cette représentation de l'action collective se base sur une représentation mathématique de l'utilité, au travers de la théorie des jeux (von Neumann et Morgenstern, 1944), présupposant que chaque individu cherche à la maximiser. Le problème est qu'elle n'intègre pas d'outils permettant de comprendre et spécifier cette utilité, qui est liée à des dimensions sociales et cognitives complexes. Cette vision ne conçoit pas l'existence d'organisations dont les avantages ne sont pas

explicités pour chaque individu. Elle ne permet pas non plus de saisir les interactions entre les enjeux collectifs, notamment environnementaux, et l'évolution des actions collectives. Par ailleurs, en s'intéressant aux individus, elle rend difficilement compte des groupes composés d'organisations – comme c'est le cas dans une symbiose territoriale – elles-mêmes soumises à leurs propres dynamiques économiques et sociales. S'ils ont incontestablement une utilité pour résoudre les problèmes pour lesquels ils sont conçus, ces outils sont en revanche inopérants pour comprendre l'engagement d'acteurs au sein d'une démarche de concertation, qui nécessite de dépasser la vision utilitariste (Cefai, 2010).

Une vision stratégique de l'action collective

L'analyse stratégique des jeux d'acteurs est elle aussi centrée sur le rôle des individus, mais s'intéresse aux relations de pouvoir et de contrôle qu'ils exercent les uns sur les autres. Crozier et Friedberg (1977) proposent une lecture des organisations dans lesquelles la structure du réseau d'acteurs et le rôle de chaque acteur au sein de cette structure permet de comprendre les stratégies mises en place par chacun et la répartition du pouvoir. Dans cette représentation des organisations, chaque acteur a ses propres objectifs et ses propres moyens d'action. Contrairement à la théorie des groupes, qui présuppose qu'une organisation a un objectif unique et commun à tous ses membres, ces auteurs mettent en évidence la pluralité des objectifs et des moyens d'action dont dispose chacun au travers de l'organisation. Les conséquences qui en découlent sont que, s'il s'agit de changer le mode d'organisation, il est nécessaire de comprendre les leviers actuels de pouvoir et l'interdépendance des acteurs les uns envers les autres. Mermet et al. (2005) affirment qu'une telle approche est nécessaire, notamment dans la gestion des problèmes environnementaux, qu'ils traduisent dans le champ de l'analyse stratégique de la gestion environnementale. L'idée est que, pour que les problèmes soient réellement réglés, il est nécessaire qu'un acteur dit « d'environnement », définissant et défendant le problème environnemental à considérer, analyse précisément le rôle et les intérêts de chaque acteur du système contribuant à ce problème et leur positionnement respectif dans sa résolution. S'attaquant à une certaine vision idéaliste de la concertation, selon laquelle il suffirait de mettre tous ces acteurs autour de la table pour résoudre ces problèmes, les auteurs insistent au contraire sur le fait que certains acteurs ne partageront pas cet objectif, et pourront agir à l'encontre de l'acteur d'environnement. Un concept clé de cette analyse est celui de **gestion effective**, qui décrit le fait que le fonctionnement d'un système est nécessairement différent de celui prévu par la gestion formelle. En d'autres termes, il faut prendre en compte, lors de l'élaboration de règles, que ces règles ne seront pas intégralement respectées, et faire en sorte que ce non-respect n'entrave néanmoins pas l'objectif visé (Mermet *et al.*, 2005). Ce cadre donne lieu à de multiples analyses de parties prenantes (Freeman, 1984), ayant pour objectif de déterminer qui devrait ou ne devrait pas participer à une démarche de concertation (Reed *et al.*, 2009). Cette approche permet, notamment dans les démarches de symbioses industrielles, d'identifier la répartition du pouvoir et des ressources clés détenues par chaque acteur (Hein *et al.*, 2017). Elle permet également de relever quels sont les acteurs les plus influents quant à l'évolution des institutions (Duygan *et al.*, 2021). Bien que ce jeu d'acteurs soit essentiel pour comprendre les dynamiques et les évolutions possibles, il est limité par le manque de recul à un niveau plus générique dans la dynamique des organisations.

3.2.2. Action collective institutionnalisée

Approche néo-institutionnelle de l'action collective

Le néo-institutionnalisme est à la base une théorie économique qui, à l'instar des travaux de Polanyi (discutés à la section 1.2.1), remet en cause le découplage de la sphère économique avec le reste de la société⁵⁵. Dans celle-ci, les institutions encadrent l'action humaine et notamment économique (Commons, 1934). Cette théorie se définit comme une approche systémique en mettant en avant les interrelations au sein du système économique (Petit, 2002). La sociologie néo-institutionnelle s'intéresse aux institutions comme des construits sociaux, à la fois le produit d'actions collectives et le cadre de ces actions (Holm, 1999). Ces institutions peuvent se définir comme des « (...) *systèmes de règles sociales établies et répandues qui structurent les interactions sociales.* » (Hodgson, 2007, p.2)⁵⁶. C'est par exemple le cas du langage, de la monnaie, des lois, des Etats, des règles de politesse, ou encore des entreprises et autres organisations. Elles sont marquées par une dimension cognitive correspondant à des représentations partagées du monde (Talbot, 2008) et permettent ainsi de comprendre les faits sociaux et économiques (Huault, 2012). Le néo-institutionnalisme s'intéresse donc à ces institutions, à leur création et leur évolution, ainsi qu'aux relations entre elles. Les auteurs introduisent pour cela la notion de **champ organisationnel**, qui désigne l'ensemble des structures pertinentes pour comprendre le fonctionnement d'un système. Comme le note Huault, 2012 « *L'intérêt de ce niveau d'analyse intermédiaire est de focaliser l'attention sur la totalité des acteurs pertinents structurant un système, dont la logique de fonctionnement est propre, au-delà du seul domaine économique-concurrentiel* » (Huault, 2012, p3). DiMaggio et Powell insistent sur le fait qu' « *il est impossible de déterminer ce champ organisationnel a priori, et que celui-ci doit être basé sur une enquête empirique.* »⁵⁷ (DiMaggio et Powell, 1983, p.148). Ce lien fort entre la description du monde social et l'action qui le définit rapproche également le néo-institutionnalisme de la sociologie pragmatique. De par l'intérêt porté à l'implication des parties prenantes dans l'évolution des institutions, il s'agit d'un cadre particulièrement adapté pour étudier les démarches de concertations dans la résolution de problèmes environnementaux (Petit, 2002).

Deux niveaux d'action

S'inscrivant en ligne avec cette approche, un des paradoxes soulignés par Ostrom est celui de la création des institutions – *the problem of supply*. Elle note que, « *du fait que fournir un nouvel ensemble de règles est équivalent à fournir un nouveau bien public, le problème rencontré est (...) qu'obtenir ces nouvelles règles est un dilemme de second ordre.* »⁵⁸ (Ostrom, 2015, p.63).

⁵⁵ Le préfixe « néo » le distingue précisément de la définition donnée par l'économie classique des institutions, où elles sont considérées comme une construction rationnelle permettant la résolution de problèmes, notamment l'incertitude liées aux coûts de transactions dans les échanges (Talbot, 2008).

⁵⁶ « (...) we may define institutions as systems of established and prevalent social rules that structure social interaction”.

⁵⁷ “The structure of an organizational field cannot be determined a priori but must be defined on the basis of empirical investigation.”

⁵⁸ “ Because supplying a new set of rules is the equivalent of providing another public good, the problem faced by a set of principals is that obtaining these new rules is a second-order collective dilemma. ”

Suivant Bates, elle suggère par-là que les efforts et le coût individuel de la création d'une nouvelle institution sont trop élevés pour que des acteurs isolés aient réellement intérêt à entreprendre cette création (Bates, 1988). En tant que « bien commun », une telle institution est donc paradoxalement sujette à la même « tragédie » que celle décrite par Hardin⁵⁹ : aucun bénéficiaire n'a un intérêt individuel à la créer ou l'entretenir, pourtant son existence est un avantage collectif. Peter Holm propose de distinguer de manière explicite les actions qui sont guidées par les institutions des actions qui sont destinées à changer les institutions, tout en notant la forte interdépendance entre ces deux types d'action (Holm, 1999). Il définit ainsi des actions de **premier ordre**, qui consistent à suivre les règles établies par les institutions et les actions de **second ordre**, destinées à faire évoluer les règles de ces institutions. L'auteur prend, pour illustrer cela, un exemple du monde du football. « *Le football professionnel, (...) se joue en fonction de règles définies par la fédération internationale de football, la FIFA. Les joueurs peuvent être en désaccord avec ces règles. Cependant, pour les changer, ils doivent s'engager dans un jeu structuré de manière très différente que celui du football, c'est-à-dire qu'ils doivent influencer les organes de décision politique de la FIFA.* »⁶⁰ (Holm, 1999, p.400). Cet exemple, illustré par la Figure 26, démontre bien en quoi ces deux modes d'action sont à la fois très différents et interdépendants. Si un problème apparaît au premier niveau d'action, une solution pourra être cherchée dans l'un ou l'autre des niveaux d'action. Dans un ouvrage sur la formulation et la résolution de problèmes, Watzlawick exprime la même idée en distinguant deux niveaux de changement à entreprendre pour résoudre un problème : un niveau de changement de premier ordre posé dans les termes du problème et un niveau de changement de deuxième ordre, qui consiste à changer les termes de ce problème (Watzlawick *et al.*, 2011). Cette distinction entre deux niveaux d'action est particulièrement importante dans la compréhension des systèmes sociotechniques, et nous aurons à plusieurs reprises l'occasion de nous y référer.

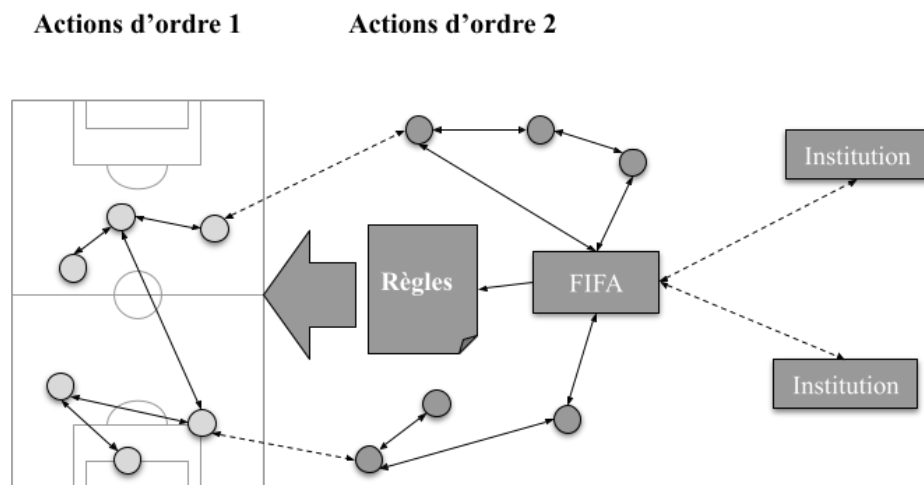


Figure 26 : Illustration des deux niveaux d'action institutionnelle reprenant l'analogie avec le monde du football professionnel proposé par Holm. Les carrés gris correspondent aux institutions. Les ronds grisés correspondent à des acteurs. Les flèches pleines représentent les actions, et les flèches pointillées représentent les influences possibles.

⁵⁹ Pour rappel, voir section 1.4.2.

⁶⁰ “Professional soccer, for instance, is played by rules set down by the international soccer federation, FIFA. Players might be unhappy with the rules. To change them, however, they must engage in a rather differently structured game than soccer, i.e., that of influencing FIFA's policy-making bodies.”

3.2.3. La légitimation de l'action collective par les mythes rationalisés

L'approche néo-institutionnelle a une vision évolutive des institutions, ou plus exactement co-évolutive, c'est-à-dire qu'elles sont influencées par leur environnement (qu'il soit biophysique ou institutionnel) et, en retour, qu'elles influencent celui-ci. Les institutions sont décrites comme « autopoïétiques » (Luhmann, 2009), c'est-à-dire en construction et reconstruction perpétuelle en réponse aux changements de cet environnement. Cette évolution répond également à la nécessité, endogène, du maintien de la légitimité des institutions pour la pérennité de leur action (DiMaggio et Powell, 1983). Meyer et Rowan, 1977 ont identifié que cette légitimité se construisait autour de mythes et de rituels partagés au sein des organisations : « *Les structures organisationnelles sont créées et rendues plus élaborées avec la montée de mythes institutionnalisés, et, dans des contextes fortement institutionnalisés, l'action des organisations doit supporter ces mythes* »⁶¹ (Meyer et Rowan, 1977, p.359). Les auteurs soulignent ici que certaines évolutions des organisations ont pour but premier d'établir et maintenir leur légitimité plutôt que de les rendre plus efficaces. Poursuivant cela, Holm décrit la fonction de ces mythes comme une justification collectivement acceptée des actions de l'organisation. « *Les institutions vont de pair avec des **mythes rationalisés** qui expliquent leur fondation et leur existence (Jepperson, 1991). Lorsqu'elles sont attaquées, elles sont rapidement capables de rendre compte de la raison pour laquelle les choses sont, et doivent rester ce qu'elles sont.* »⁶² (Holm, 1999, p.401, emphase ajoutée). Jérôme Queste note ainsi que le mythe rationalisé s'exprime comme le couplage entre un problème social et la solution que propose l'institution en réponse à ce problème. Il le définit comme « *une croyance partagée et fortement institutionnalisée qui fournit une grille de lecture composée d'une formulation des enjeux sociaux sous la forme d'un **problème** technique à résoudre et d'une **solution** tout aussi technique permettant sa résolution* » (Questo, 2016, p.66, emphase ajoutée). La compréhension de l'évolution d'une organisation ou institution au cours du temps peut donc s'éclairer au travers de cet élément structurant (Shaw, 2019).

3.2.4. Implications dans la conception d'une promesse plausible

La distinction entre action de premier ordre et action de second ordre est fondamentale pour comprendre la dynamique d'évolution des symbioses industrielles et le rôle théorique de la promesse plausible. Au premier ordre, leur objectif est effectivement de mettre en place de nouvelles interactions et synergies entre les acteurs afin de faire évoluer le SGPRO et ainsi modifier le métabolisme du territoire (cf. Chapitre 2). Au second ordre, il est néanmoins nécessaire, pour que ces actions se réalisent, de mettre en place une institution – créer une proximité institutionnelle (Beurain et Brulot, 2011 ; Talbot, 2008) – qui permette de rendre ces actions de premier ordre possibles. La promesse plausible est donc un outil qui vise à

⁶¹ “Organizational structures are created and made more elaborate with the rise of institutionalized myths, and, in highly institutionalized contexts, organizational action must support these myths.”

⁶² “Institutions come with rational myths that make sense of their establishment and existence (Jepperson, 1991). When they are attacked, there are readily available accounts for the way things are and why they should remain that way”

institutionnaliser l'action collective, en intervenant dans un système par une action de second ordre. Cette action correspond en réalité à la conception d'un mythe rationalisé avec l'objectif qu'il soit institutionnalisé au sein de la communauté des acteurs à qui elle se destine.

Encadré 3 : Polysémie du mythe rationalisé.

Polysémie du mythe rationalisé

Notons que la définition utilisée pour le mythe rationalisé n'est pas la seule qui ait été proposée. Au sein même de la théorie néo-institutionnelle, il est parfois plutôt vu comme un engagement formel pris par une organisation afin de se plier aux standards techniques normatifs auxquels elle est soumise (Boiral *et al.*, 2020), comme par exemple la conformité avec la norme ISO 14001 (Boiral, 2007), alors qu'il diffère grandement des pratiques internes observées. Armand Hatchuel utilise également la terminologie « mythe rationnel » dans le cadre de son approche de la conception par le modèle « Concept-Knowledge » (C-K) (Hatchuel *et al.*, 1987). Dans ce cadre, la conception de nouvelles solutions nécessite de combiner des concepts et des connaissances. Un mythe rationnel correspond, pour Hatchuel, à un concept qui n'existe pas encore mais qui, au vu des connaissances et concepts préexistants, est parfaitement plausible. Cette définition du mythe rationnel s'apparente plus à ce que j'appelle dans ma thèse « promesse plausible », c'est-à-dire une solution technique suffisamment crédible pour être convaincante, mais encore inachevée.

3.3. Promesses et performativité

Une dimension importante de la promesse plausible a jusqu'à présent été laissée de côté : le fait qu'elle corresponde à une action entreprise intentionnellement. En ligne avec la sociologie pragmatique, la formulation d'une promesse plausible constitue une situation d'épreuve, au cours de laquelle celle-ci est évaluée par les acteurs selon des référentiels qui leur sont propres. Du point de vue de l'initiateur, il s'agit d'une action incertaine : rien ne garantit que la création d'un tel mythe rationalisé parvienne effectivement à mobiliser les acteurs. Il manque ici un dernier élément théorique pour comprendre comment peut être défini et mesuré le « succès » d'une promesse plausible. Le concept de performativité permet de saisir l'implication de la promesse en tant qu'acte (3.3.1). Cette dimension est approfondie à une échelle plus globale au travers de la théorie de l'économie des promesses (3.3.2). Ces deux angles de lecture de la performativité permettent de définir un point de départ pour l'étude des promesses plausibles dans la symbiose territoriale.

3.3.1. Promesse plausible : Rhétorique et performativité

Le terme de « promesse plausible » correspond à un acte de langage, un discours, bien qu'il soit difficile de savoir à quel point ce terme est utilisé avec une portée métaphorique dans les travaux de Douthwaite. Cependant, il est utile de considérer cet objet comme un discours, au sens premier du terme. Cela permet d'inscrire l'initiation d'une symbiose territoriale dans une **situation d'énonciation**. Par ailleurs, la notion de mythe rationalisé mobilisée par les théories néo-institutionnalistes s'inscrit dans cette approche de la promesse plausible sous forme de

discours. Après avoir défini et exploré le concept de performativité, nous verrons en quoi la *promesse plausible* peut se définir comme un discours performatif. L'idée d'associer l'action au langage est traduite par la notion de **performativité**. John Austin affirme ainsi que le discours permet non seulement de décrire une action, mais également de réaliser une action. Il prend pour illustrer ce propos l'exemple de la phrase suivante : « *Je nomme ce bateau Queen Elizabeth* » (Austin, 1962, p.5). Le simple fait de prononcer cette phrase (accompagnée, selon l'auteur, du geste rituel de briser une bouteille contre la coque dudit navire) correspond à l'*action* de nommer le bateau. Une fois la phrase prononcée, le navire est effectivement nommé, ce qui changera par la suite le comportement des acteurs – utiliser le nom ainsi donné. La performativité du langage est donc sa capacité à se répercuter en des actions concrètes. Une phrase performative n'est ni vraie, ni fausse, mais correspond à un acte. La promesse est en soi un discours performatif du fait qu'elle vise à modifier le comportement des acteurs auxquels elle se destine.

Promesse *de*... Promesse *que*...

La performativité recherchée par une promesse est que les personnes à qui elle s'adresse croient l'acteur qui la formule et agissent en conséquence. Le mot « promesse » a une double implication, selon qu'il s'agit d'une « promesse *de* » ou une « promesse *que* ». La promesse *de* faire quelque chose est un acte qui engage la personne qui la formule à réaliser ou à ne pas réaliser une action. Sa performativité tient essentiellement de la confiance accordée à cette personne. La promesse *que* quelque chose est vrai est différente. Elle correspond à l'engagement de l'acteur qui formule la promesse sur la réalité. Sa performativité dépend non seulement de la confiance accordée dans le fait que la personne qui la formule dispose effectivement de cette connaissance, mais également des propres connaissances des acteurs qui reçoivent la promesse. Une promesse plausible comprend une partie de ces deux composantes. D'une part, l'acteur qui la formule s'engage sur la véracité d'une situation dont il a une connaissance particulière. Cette situation peut être la connaissance d'un risque, d'un potentiel, d'une nouvelle technique de production. Cependant, en tant qu'étape d'un processus de co-construction de l'innovation, la promesse plausible engage également l'acteur qui la formule à réaliser ledit processus selon les termes promis⁶³. Le comportement désiré par l'acteur qui formule la promesse plausible est que ces acteurs se joignent effectivement à une démarche collective. La performativité d'une promesse plausible se mesure donc à sa capacité à provoquer cet engagement, déterminant ainsi sa « performance ». Encore une fois, une telle promesse n'est ni vraie, ni fausse : l'acte de promettre est un fait. Il est un engagement de la part de la personne qui prononce la promesse. Il n'est pas nécessaire que les termes de la promesse soient vrais pour changer le comportement des personnes impliquées dans la promesse, car même un énoncé faux, incomplet ou vague, peut être amené à modifier le comportement des autres acteurs.

Plausibilité et crédibilité

A ce stade, il est donc possible de distinguer les deux propriétés distinctes de la promesse que sont sa capacité à engager des acteurs (performativité) et la justesse de ses termes. Nous proposons donc une distinction entre ce que nous appellerons **plausibilité** et **crédibilité** tel que cela est décrit par le Tableau 6. Ces définitions sont spécifiques à l'objet d'étude et à cette thèse, et n'ont pas vocation être extraites de ce contexte. Du fait de l'expression « promesse plausible »,

⁶³ Dans le cas de la symbiose territoriale, ces termes impliquent notamment que les parties prenantes aient un rôle actif au sein de la démarche.

nous réserverons le terme de « plausibilité » pour désigner les effets concrets du discours dans l’initiation de la démarche. En d’autres termes, nous assimilons la plausibilité à la performativité. Une promesse *plausible* est un discours qui mobilise *effectivement* des acteurs au sein d’un projet, indépendamment que son énoncé soit vrai ou faux. L’évaluation du *vrai* et du *faux*, qui est un acte exercé de manière propre à chaque acteur, correspond à ce que nous appelons la crédibilité. Il est tout à fait envisageable qu’un discours puisse être plausible – dans le sens performatif – sans pour autant être crédible – dans le sens où une partie des acteurs le considèrent comme erroné.

Tableau 6 : Définitions de travail de la plausibilité et la crédibilité par la lecture de la performativité.

Caractéristique	Définition dans la thèse
<i>Plausibilité</i>	Traduit la dimension performative d’une promesse plausible, c’est-à-dire le fait que les acteurs à qui elle est destinée soient effectivement mobilisés dans une symbiose territoriale.
<i>Crédibilité</i>	Traduit le jugement sur la véridicité des termes de la promesse plausible par l’acteur à qui elle est destinée. Ces termes n’ont théoriquement pas besoin d’être vérifiés pour que la promesse soit performative.

3.3.2. Economie des promesses technoscientifiques

La théorie de l’économie des promesses technoscientifiques établit un lien entre rhétorique et innovation technique qui la met en lien avec la promesse plausible telle que nous venons de la caractériser. Joly (2010) remarque notamment que les innovations scientifiques et techniques sont principalement guidées par une idéologie et la représentation qu’elle se fait du futur. Il note une « inversion de la flèche du temps », c’est-à-dire que les trajectoires d’innovation vers des techniques futures sont largement déterminées par la représentation du futur que l’on se fait dans le présent. Le régime d’économie des promesses technoscientifiques renvoie au fait que de grandes ressources matérielles et financières sont consacrées au développement scientifique et technologique sur la base de promesses prétendant contribuer à un bien collectif, dans un régime d’innovation centralisé par ceux qui formulent de telles promesses. Comme le notent Callon et al., « *les promesses [technoscientifiques] sont par définition incertaines et leur réalisation requiert une forte croyance dans leur réalisation avant qu’elles existent; mais même si l’on y croit fermement, ce ne sont que des promesses.* » (Callon et al., 2022, p.8). Joly note que la promesse technoscientifique est performative car il suffit qu’une technologie soit nommée pour exister, dans un premier temps dans la représentation collective du futur – par exemple, les nanotechnologies, l’intelligence artificielle, ... Reprenant les mots de Latour (1987), il rappelle qu’ « *une technologie n’est pas utilisée parce qu’elle est efficace, mais devient efficace parce qu’elle est utilisée* » (Joly, 2010, p.9), décrivant ainsi la dimension auto-réalisatrice de telles promesses. Faisant le lien avec la sociologie de la traduction, il dépeint ces promesses comme des points de passage obligés, sources d’irréversibilités dans l’évolution de la société.⁶⁴

⁶⁴ Joly suggère qu’une alternative au régime des promesses technoscientifiques réside dans un régime d’expérimentation collective impliquant de manière plus centrale les acteurs concernés par l’innovation (Callon et al., 2022 ; Joly, 2010). Un exemple de telles innovations réside par exemple dans le monde du logiciel libre, où les utilisateurs peuvent également être contributeurs dans la programmation des logiciels qu’ils utilisent, les améliorant sans cesse et les adaptant à leurs besoins (von Hippel, 2005).

Idéographes

Les promesses technoscientifiques proposent une vision des problèmes actuels de la société, et des solutions à mettre en œuvre pour résoudre ces problèmes. Elles acquièrent leur légitimité en s'inscrivant dans la réponse à un objectif reconnu comme désirable. Joly utilise pour cela le terme d'**idéographe**, proposé par Michael McGee pour désigner des objectifs normatifs mal définis formulés avec des termes du langage courant – comme la *santé*, la *lutte contre la faim*, la *liberté*, la *démocratie*... – permettant un engagement collectif sans qu'il ne soit besoin de préciser ces termes (McGee, 1980). Un des principaux idéographes ayant guidé les dernières décennies est par exemple celui du "progrès technologique". En s'érigeant en synonyme de ce progrès, l'innovation elle-même est devenue un tel idéographe. Plus récemment, c'est le mot « durabilité » et tous ceux qui y sont associés qui ont obtenu un pouvoir rhétorique similaire (Bos *et al.*, 2014 ; van Lente et van Til, 2008). Les idéographes se construisent par l'historique de leur utilisation⁶⁵, et sont parfois concurrents les uns avec les autres (Bos *et al.*, 2014). Ils correspondent donc à ces mots-valises dont le bien-fondé supposé suffit à engager des actions, notamment un financement de grande ampleur de programmes de recherche, sans que ce « bien-fondé » n'ait à être démontré. Ils deviennent ainsi des « boîtes noires », c'est-à-dire des « (...) *concepts ou méthodes scientifiques qui ont été acceptées à la fois par la communauté scientifique et la société à un tel point qu'ils ne sont plus ouverts au débat.* »⁶⁶ (Bos *et al.*, 2014, p.157).

Un lien entre recherche et politique

Dans cette représentation, le monde de la recherche tient un rôle central dans l'évolution de la société. Les chercheurs témoignent d'un engagement épistémique, qui correspond à la vision qu'ils portent eux-mêmes de la pertinence de leur recherche. Comme le notent Granjou *et al.*, 2015, « *les chercheurs s'engagent dans des programmes, des scénarios et des contributions qui n'apparaissent pas dans le vide mais dans un espace de sens déjà structuré par certaines promesses véhiculées par les institutions (...)* » (Granjou *et al.*, 2015, p.11). Elle signifie qu'il réside là une continuité entre l'idéologie de l'arène politique et la recherche scientifique. Cet aspect est notamment sensible dans la recherche-action, qui au-delà de simplement étudier la société contribue à modifier le milieu social auquel elle s'intéresse (Daniel, 2011). Les promesses technoscientifiques appuyées par la rhétorique des idéographes traduisent en réalité les mythes rationalisés qui existent au sein des institutions scientifiques et technologiques. Autrement dit, ils sont une justification collective des raisons pour lesquelles la recherche est menée. Ces éléments montrent que dans l'économie des promesses, les idéographes sont une source importante de performativité : leur existence engendre des actions (Joly, 2010).

⁶⁵ La manière dont s'est construit le sens de la « bioéconomie » est un bon exemple de la création et du détournement d'un idéographe, voir section 1.3.3.

⁶⁶ "scientific concept or method that has been accepted by both the scientific community and society to such a degree that it is no longer open for debate".

3.3.3. Définition théorique de la promesse plausible : un mythe rationalisé performatif

Nous voyons dans ces réflexions que la promesse plausible peut être analysée comme un discours, car elle met en scène une situation d'énonciation : un acteur formulant un message, à destination d'autres acteurs. En tant que discours, elle est donc un acte performatif qui cherche à mettre en place une démarche de concertation, c'est-à-dire créer une certaine proximité organisationnelle et institutionnelle entre des acteurs qui sont dans la situation actuelle relativement indépendants (voir section 1.2.3). L'objectif de cet acte est en réalité d'institutionnaliser une action collective, qui se base donc sur un mythe rationalisé. Callon désigne un mythe comme une « *image simplifiée et souvent illusoire que des groupes humains élaborent ou acceptent au sujet d'un individu ou d'un fait et qui joue un rôle déterminant dans leur comportement ou leur appréciation* » (Callon, 1994, p.1). Cette définition s'accorde bien avec le rôle du mythe rationalisé qui a été identifié au sein des institutions : il s'agit là d'une rhétorique simplificatrice qui justifie les actions d'une institution dans le but de faire agir les membres de la société en accord avec cette institution. Celui-ci est donc le contenu même de la promesse plausible. Il correspond à la problématisation proposée par l'initiateur, c'est-à-dire le point de passage obligé qui a pour vocation à devenir une référence auprès de toutes les parties prenantes concernées. Malgré des similarités fortes, la promesse plausible n'est pas une promesse technoscientifique à proprement parler. Si les deux se basent sur des mythes rationalisés performatifs, la source de cette performativité est différente. La promesse technoscientifique est ancrée dans l'idéologie sociale dominante, qui n'est pas déclinée dans un contexte localisé. Elle ne correspond pas à l'acte intentionnel d'un acteur. A l'inverse, la promesse plausible est formulée dans une situation particulière, par un acteur qui se positionne comme porteur d'une démarche concertée. L'assemblage de ces briques théoriques fournit une définition théorique : **une promesse plausible est un discours performatif qui contient un mythe rationalisé spécifique à une situation identifiée par l'acteur initiateur**. Cette définition, qui doit encore être spécifiée dans le cas de la symbiose territoriale, donne un solide point d'appui pour étudier et concevoir des promesses plausibles.

3.4. Questions de recherche : formaliser la promesse plausible

3.4.1. Analyser les symbioses industrielles sous l'angle de la promesse plausible et du mythe rationalisé

Ce développement amène les questions de recherche à s'aligner sur la posture pragmatique, qui imprègne à la fois la sociologie de l'innovation et la sociologie de l'action collective au travers de l'approche néo-institutionnelle. Nous voyons apparaître deux éléments centraux dans cette problématique, celui du mythe rationalisé, qui est un élément rhétorique, et celui d'une promesse plausible, qui est un discours qui le met en action dans une situation particulière. Ce cadre se révèle donc particulièrement prometteur pour étudier une innovation collective telle qu'une symbiose territoriale. Malgré ces apports, ce cadre reste trop abstrait pour envisager une étude de telles promesses plausibles dans une situation réelle. Il n'y a pas à ce jour

eu de formalisation de cette approche conceptuelle pour étudier l'initiation et l'évolution des démarches. Étant donné que la question de recherche vise à définir les caractéristiques adéquates pour une promesse plausible, il est impératif de commencer par spécifier quelle est leur nature. Cela se traduit au travers de la question de recherche suivante :

QR 3 Quelles sont les caractéristiques de la promesse plausible, et en quoi permet-elle l'étude des dynamiques de l'action collective dans le cadre des symbioses territoriales ?

Cette question nécessite d'aller au bout de la conceptualisation théorique de la promesse plausible en tant que discours performatif portant un mythe rationalisé, pour l'observer dans des situations d'action réelles que sont les symbioses industrielles. Une telle étude requiert de s'intéresser à l'initiation et à l'historique de ces démarches, en se basant sur les mots et les représentations des acteurs qui les conduisent. Cette approche basée sur des cas d'étude permet de s'assurer de la pertinence de la formalisation proposée et de l'illustrer au travers d'exemples concrets (Yin, 2009). Dans cette question, l'action collective est considérée selon l'approche néo-institutionnelle, c'est-à-dire qu'elle est guidée par des référentiels collectifs et des normes d'action plus que par des comportements individuels. Ce cadrage pose comme hypothèse que les mythes rationalisés sont des éléments structurants dans le déroulement des démarches, et qu'ils sont formulés par des acteurs initiateurs qui ont un rôle déterminant. Un autre intérêt de cette approche est de consolider la compréhension de la promesse plausible dans le processus d'innovation. Une hypothèse du cadre théorique utilisé est que le contrôle du processus d'innovation passe progressivement des mains de l'innovateur aux mains des destinataires de l'innovation. L'observation de promesses plausibles en action permettra de questionner la validité de cette hypothèse.

3.4.2. Etudier les promesses plausibles en action dans l'initiation d'une symbiose territoriale

Au-delà de cette formalisation, peu de travaux de recherche se sont intéressés à la phase d'initiation de la concertation de manière formelle. Nous avons vu que la performativité d'une promesse plausible pouvait être utilisée comme la mesure de son succès, ce qui amène à formuler la dernière sous-question de recherche :

QR 4 Comment les caractéristiques de la promesse plausible influencent-elles sa performativité dans la mise en œuvre d'une symbiose territoriale bioéconomique ?

La conception de promesses plausibles dotées de certaines caractéristiques et la mise à l'épreuve de celles-ci vise à répondre à la question de la « formalisation » (voir section 1.5). L'objectif est de déterminer la manière de donner forme à la connaissance acquise sur une situation particulière pour la transformer en mythe rationalisé performatif. La manière exacte de répondre à cette question ne pourra être établie qu'après avoir élucidé les questions précédentes, car elles sont nécessaires pour déterminer les modalités expérimentales qui devront être mises en œuvre. Afin de comprendre *comment* formuler une promesse plausible, il est nécessaire au préalable de définir explicitement *ce qu'est* un tel objet (QR 3) et la manière de le construire et

de le représenter lorsqu'il correspond à une symbiose territoriale (QR 2), ce qui nécessite de bien comprendre les propriétés d'une telle symbiose (QR 1).

Faut-il modéliser le SGPRO pour formuler une promesse plausible ?

La problématique générale de recherche interroge sur un aspect fondamental en lien avec les outils de modélisation évoqués dans le Chapitre 2 : sont-ils nécessaires pour *initier* une démarche de concertation ? La question (QR 2) part du principe qu'il est nécessaire de modéliser et évaluer les scénarios de symbiose territoriale pour constituer la base technique des promesses plausibles. La conception de ces modèles est un exercice particulièrement long et complexe, qui nécessite de grandes quantités de données. Dans la perspective d'une recherche post-normale (voir Introduction Générale), il est important de déterminer s'il est nécessaire de consacrer de tels moyens scientifiques en amont d'une concertation. Un des objectifs sous-jacent dans la réponse à cette question est de déterminer s'il est nécessaire de disposer de modèles aboutis et exhaustifs pour initier une démarche de concertation, ou si ceux-ci sont facultatifs dans un stade préparatoire. Un intérêt particulier lors de cette phase de mise à l'épreuve des promesses plausibles est donc de comprendre en quoi les outils qui ont servi (ou qui pourraient servir) à construire le contenu de ces promesses sont déterminants dans leur performativité. Pour traiter cette question, il faudra parvenir à tester, sur la base d'une connaissance approfondie, différents modes de représentation de cette promesse. Il faut être en mesure de déterminer la crédibilité des promesses plausibles, afin de comprendre l'importance des connaissances scientifiques dans leur performativité en faisant la distinction, introduite à la section 3.3.1, entre plausibilité et crédibilité.

Positionnement de la problématique par rapport à la sociologie pragmatique

L'imprégnation forte de la sociologie pragmatique dans la problématique de recherche en fait un élément de contexte et de compréhension incontournable. Du fait de leur interdisciplinarité, ces travaux ne prétendent pas apporter de contribution au champ de la sociologie pragmatique à proprement parler. Celle-ci est plutôt considérée comme un élément de cadrage théorique, permettant de mieux comprendre la nature des objets étudiés et la manière dont ils se positionnent dans ce champ. En termes méthodologiques, la sociologie pragmatique invite à décrire la société à partir de l'analyse concrète des actions en train de s'y produire. Dans la méthodologie employée pour répondre à ces questions, cela revient à se baser sur les représentations et les paroles des acteurs pour construire un cadre de compréhension de leur action. Cela présuppose qu'il existe certains artefacts théoriques – notamment les promesses plausibles et les mythes rationalisés – que l'étude de dires d'acteurs doit permettre de consolider ou remettre en question. Aucune hypothèse n'est faite en revanche sur des mécanismes causaux prédéterminés dans le comportement de ces acteurs. Aussi, l'interprétation de ces discours est elle-même ancrée dans une vision pragmatique, considérant que les mots employés et les situations décrites sont un matériau de base suffisant pour élucider le problème. En termes ontologiques, en revanche, les travaux ne s'inscrivent pas entièrement dans une représentation purement pragmatique de la société. Le point d'écart est que la sociologie pragmatique, en se cantonnant à l'agentivité des acteurs, peut omettre des phénomènes structurels dépassant la sphère d'influence de ces acteurs. Or, comme le rappellent Barbier et Larrue, « *la participation ne se déploie pas dans un vide de pouvoir, mais au contraire dans une configuration socio-territoriale structurée par des rapports sociaux, que la participation peut aussi bien atténuer que*

Chapitre 3

reproduire ou même renforcer » (Barbier et Larrue, 2011, p. 93). Une approche purement pragmatique pourrait conduire, dans ce type d'arènes, à considérer que tous les acteurs ont un pouvoir d'influence équivalent. Prenant en compte les apports de ce chapitre, il est difficile de souscrire pleinement à une représentation de la société comme celle uniquement d'un présent constitué d'actions en renouvellement perpétuel. L'approche néo-institutionnelle, bien qu'ayant des racines dans la philosophie pragmatique, présuppose par exemple que la société est composée de structures normatives – les institutions – qui façonnent le comportement des individus (autant qu'elles sont façonnées par ceux-ci). De fait, les réseaux sociotechniques de l'instant présent évoluent dans l'héritage d'une trajectoire très dépendante au sentier (Flichy, 2003). La posture ontologique nécessaire pour comprendre ces phénomènes nécessite de prendre en compte la question du pouvoir et de la domination de certains acteurs sur d'autres et donc de ne pas fermer la porte à l'observation de dynamiques macrosociologiques. En conclusion, la méthodologie d'étude des questions liées à la promesse plausible se rapprochera fortement des approches pragmatiques, mais les analyses et interprétations de ces résultats se donneront la liberté de s'écarter de cette posture.

Chapitre 4. Posture et stratégie de recherche

La problématique de recherche établie dans le Chapitre 1 ainsi que les questions permettant de la préciser développées dans les chapitres 2 et 3 impliquent un ensemble diversifié de champs de connaissance et d'expertise qu'il peut sembler complexe d'assembler. Ces multiples manières d'appréhender le réel, mises en concert pour apporter une réponse à une situation concrète (la rupture métabolique), s'inscrivent en réalité dans les sciences de la durabilité. Ce positionnement implique une posture particulière dans la manière de produire des connaissances, nécessitant des choix et des partis pris. Dans la première partie de ce chapitre (section 4.1), nous développons en quoi cet ancrage dans les sciences de la durabilité est structurant dans la démarche de recherche. L'explicitation de cette posture nous permet, dans une seconde partie (section 4.2), de présenter de manière argumentée la stratégie générale de la recherche. Nous détaillons ainsi l'architecture de la recherche entreprise, structurée autour des différentes questions de recherche.

4.1. Une posture ancrée dans les sciences de la durabilité

La démarche de cette recherche s'inscrit pleinement dans les sciences dites de la durabilité⁶⁷, qui s'attachent, par la compréhension des liens nature-société, à identifier les conditions de durabilité des activités humaines et de transformer la société en conséquence (Clark et Dickson, 2003 ; Kates *et al.*, 2001). Ce positionnement a plusieurs conséquences majeures sur la posture de recherche (Robinson, 2008), dont nous développerons trois aspects pour asseoir la posture de recherche adoptée dans les présents travaux de recherche. Premièrement, la recherche en sciences de la durabilité **se base sur une situation** (section 4.1.1), c'est-à-dire un problème ou une question qui prend racine dans la société et qui n'est donc pas formulée dans les termes d'une discipline de recherche en particulier. Un deuxième aspect est qu'il est par conséquent **impossible de se cantonner au sein d'une seule discipline** (section 4.1.2) pour répondre à de telles questions. Le troisième aspect est que ce positionnement implique une **posture normative** (section 4.1.3). Ces aspects nous amèneront à questionner la démarche par rapport à la science post-normale, avec laquelle elle a des liens étroits sans s'y inscrire réellement (4.1.4).

4.1.1. Une recherche basée sur une situation

Issue-based

La science de la durabilité, intrinsèquement tournée vers l'action, cherche à se doter de connaissances qui supportent cette action (Caniglia *et al.*, 2021). Il est pour cette raison admis qu'elle part d'un problème concret pour construire ses questions de recherche. Ison souligne que les problèmes qui se posent au sein de systèmes complexes ne sont pas des problèmes lisses (*tame problems*) dont les termes sont clairs et unanimes, mais des problèmes mal définis (*ill-defined problems*, ou *wicked problems*), dans le sens où « *personne n'est d'accord sur la nature exacte du problème* » (Ison, 2008, p.146). Il ne s'agit pas d'un point de blocage, d'une difficulté précise dont les méthodes de résolution sont identifiées, mais d'un réel enchevêtrement de problématiques interconnectées les unes aux autres, plus justement décrit par le terme de **situation** (cf. Encadré 4). La problématique de recherche élaborée dans le Chapitre 1 part du constat qu'il existe, dans certains lieux comme la plaine de Versailles, un potentiel de synergies et de recyclage de matière organique inexploité – une situation de rupture métabolique territorialisée. Il s'agit donc bien d'une posture basée sur une situation (issue-based), caractéristique des sciences de la durabilité.

⁶⁷ Durabilité est une traduction de *sustainability*, qui a également été traduit par « Soutenabilité » afin de marquer une certaine distance avec le cadre institutionnel du développement durable, aujourd'hui jugé comme peu adapté pour répondre aux enjeux environnementaux (Boutaud, 2013 ; Buclet, 2011). Quel que soit le mot employé pour traduire *sustainability*, il s'agit d'un objectif normatif véhiculant une vision anthropocentrée de la préservation de l'environnement qui n'est pas remis en question. La durabilité désirée est la durabilité des conditions environnementales qui rendent possible la pérennité de l'espèce humaine. Pour apporter de la nuance à cette notion de durabilité, une distinction sera plus tard faite entre durabilité *forte* et durabilité *faible*.

Du problème à la situation

Funtowicz et Ravetz soulignent que « (...) le terme « problème », avec la connotation d'un exercice dans lequel une méthodologie définie conduit à une solution claire, est peu approprié. Il serait trompeur de retenir l'image d'un processus dans lequel la véracité de faits scientifiques détermine simplement la politique à appliquer » (Funtowicz et Ravetz, 1993, p.744)⁶⁸. Un deuxième aspect sémantique est que l'étude de problèmes connote une vision plutôt négative de questions traitées en lien avec la durabilité. Les auteurs anglophones préféreront ainsi les termes *issue* ou *situation* qui se traduisent par le mot « situation »⁶⁹ ou « enjeux ». L'utilisation de ces mots permet de créer un lien avec la notion de « savoirs situés » (Haraway, 1988), qui implique l'indissociabilité entre la personne qui pose un problème et la manière de le résoudre (Ison, 2016). Une situation n'existe pas dans l'absolu, mais bien pour le chercheur qui l'étudie. Enfin, « situation » se réfère implicitement à l'existence d'un site, c'est-à-dire un espace contingent au sein duquel la question est pertinente. Une situation valable dans un certain contexte peut devenir non pertinente dans un autre contexte. Parler de situation est donc en partie reconnaître la territorialisation – du moins, une certaine spécificité – des enjeux, et donc des réponses à y apporter.

Situations et niveau d'abstraction des questions de recherche

La situation dont il est question ne se réfère donc pas à une question posée précisément par un champ disciplinaire. Elle soulève de fait d'importants défis méthodologiques inhérents aux sciences de la durabilité. Salas-Zapata et al. (2013) notent que divers niveaux d'abstraction sont nécessaires pour aborder ces questions, représentés par la Figure 27. Cette représentation est particulièrement adaptée pour comprendre la manière dont la situation initiale est problématisée et transformée en questions plus complexes et plus abstraites. Partant de la situation, la première étape du questionnement de recherche correspond à un niveau pratique : comment initier une symbiose territoriale ? Pour répondre à ce questionnement, il est nécessaire d'avoir un regard instrumental : Comment construire le contenu d'une promesse plausible, et comment le formaliser pour engager des acteurs ? Ces questions trouveront leurs réponses dans une démarche expérimentale appliquée au plus près de la situation de départ. Cependant, la mise en œuvre d'une telle approche nécessite au préalable de trouver des réponses à des questionnements théoriques et conceptuels : comment définir une symbiose territoriale, et une promesse plausible ? Ces questions sont de nature différente et requièrent donc une approche méthodologique différente. Pour y répondre, il est également nécessaire de questionner la posture de recherche au niveau ontologique et épistémologique, comme le propose le présent chapitre. Ce niveau d'abstraction

⁶⁸ "In such a case, the term 'problem', with its connotations of an exercise where a defined methodology is likely to lead to a clear solution, is less appropriate. We would be misled if we retained the image of a process where true scientific facts simply determine the correct policy conclusions"

⁶⁹ Cette réflexion prendra également toute son importance lorsque nous définirons les caractéristiques des mythes rationalisés et promesses plausibles, dans le Chapitre 6

permet d'être explicite sur les partis pris sous-jacents à la recherche et de déterminer une stratégie cohérente avec ses enjeux.

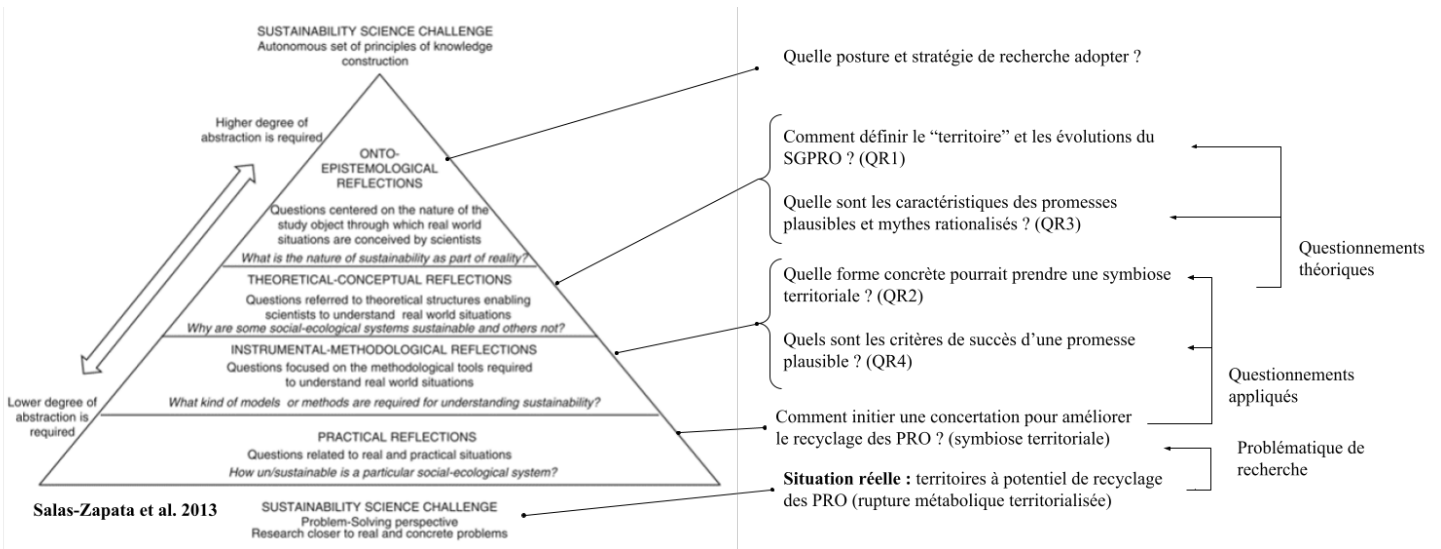


Figure 27 : Les quatre types de défis méthodologiques auxquels répondent les sciences de la durabilité (Salas-Zapata et al., 2013) (à gauche) et leur déclinaison dans la démarche de recherche (à droite).

4.1.2. Une recherche adisciplinaire

La disciplinarité

De même que la problématique ne se positionne pas dans un champ disciplinaire à proprement parler, nous avons vu que la formulation des questions de recherche nécessitait l'éclairage de nombreuses disciplines ou champs d'expertise⁷⁰. La communauté scientifique se structure autour de disciplines, plus ou moins évolutives, mais parfois peu perméables au dialogue entre elles. Cette structuration du champ de la recherche implique la nécessité de se positionner explicitement au sein de communautés de pratiques existantes afin d'obtenir une reconnaissance (Bourdieu, 1976). Les réflexions liées à la science de la durabilité ont toutefois établi l'importance et la pertinence d'approches non disciplinaires (Irwin *et al.*, 2018), se déclinant généralement en trois types représentés schématiquement : la multidisciplinarité, l'interdisciplinarité, et la transdisciplinarité (voir Encadré 5). Etablir la robustesse et la légitimité d'un champ de connaissance par ce type d'approche en dehors des disciplines représente dès lors un véritable défi (Robinson, 2008).

⁷⁰ Comprenant notamment la biochimie, l'écologie industrielle, l'écologie territoriale, la géographie, l'innovation, l'action collective, la sociologie pragmatique et néo-institutionnelle, l'agronomie, les procédés de gestion des déchets organiques, la modélisation.

Multidisciplinarité, interdisciplinarité, transdisciplinarité

La **multidisciplinarité** consiste à décomposer une question de recherche en différentes questions appréhendables par des disciplines établies. Elle nécessite la communication entre différents experts de chaque discipline, mais n'engage pas les chercheurs à réellement dépasser leur domaine d'expertise propre. Elle nécessite donc l'implication de plusieurs personnes différentes, chacune garante du respect des standards de sa thématique respective. **L'interdisciplinarité** consiste à engager un dialogue entre différentes disciplines afin de les rendre opérantes pour répondre à une question de recherche qui ne se situe dans aucune des disciplines à proprement parler. Elle nécessite donc que les chercheurs s'approprient des cadres théoriques différents de ceux qu'ils manient dans leur discipline propre, et apporte un éclairage profond sur une question complexe. Les différentes disciplines sont mobilisées comme des outils, des briques constitutives d'une réponse scientifique qui ne s'inscrit pas exactement dans celles-ci. La **transdisciplinarité**, enfin, consiste à changer radicalement le cadre de production de connaissance, en y faisant intervenir des membres extérieurs à la communauté académique. Elle porte une attention sur l'importance des différents savoirs, savoir-faire et ontologies issus de la société non savante. Cette pratique constitue plus un fil directeur, un modèle idéal, pour réorienter certains travaux, notamment dans les sciences de la durabilité (Darbellay, 2015).

L'adisciplinarité

La posture de recherche de ces travaux n'a pas d'ambition transdisciplinaire, mais ne correspond pas non plus à une approche multidisciplinaire : elle est **interdisciplinaire**. Haider et al. (2018) font le constat que l'interdisciplinarité, jugée comme une composante fondamentale des sciences de la durabilité, est plus souvent mise en application par des chercheurs déjà reconnus au sein d'une discipline particulière. Il s'agit donc pour ces chercheurs d'intégrer dans leur expertise des savoirs, formalismes, et ontologies issues d'autres disciplines scientifiques afin de produire une approche et une connaissance hybridées. Cependant, les auteurs observent qu'un nombre important de jeunes chercheurs se positionnent directement dans une optique interdisciplinaire de par leur formation initiale ou les questions auxquelles s'attellent leurs travaux de thèse. Cela représente pour cette nouvelle génération un défi méthodologique et épistémologique considérable, qui est encore très mal reconnu par le reste de la communauté scientifique. Les auteurs proposent de définir cette posture comme « **adisciplinaire** » (*undisciplinary*⁷¹). Son approche n'est pas différente de celle de l'interdisciplinarité, dans le sens où elle n'a pas vocation à s'inscrire dans un champ spécifique sans chercher explicitement à franchir les frontières du laboratoire. La différence avec celle-ci est que le chercheur adisciplinaire ne dispose pas d'une maîtrise disciplinaire initiale reconnue par des pairs. Haider et al., 2018 proposent deux caractéristiques essentielles qui permettent d'assurer la qualité d'une approche adisciplinaire, qu'ils schématisent par la Figure 28. La première caractéristique est la

⁷¹ Le mot *undisciplinary* est ici utilisé avec une connotation légèrement différente de l'usage classique, se référant de manière générique à toutes les approches non disciplinaires (Robinson, 2008).

souplesse épistémologique, c'est-à-dire la faculté à s'approprier non seulement les notions des différentes disciplines empruntées mais également les fondements épistémiques de ces disciplines. Elle consiste à intégrer des domaines de connaissances diversifiés en les articulant autour d'une problématique commune. La seconde caractéristique est **l'ancrage méthodologique**, qui consiste à employer des méthodologies robustes et éprouvées.



Figure 28 : Figure proposée par Haider pour illustrer les deux axes composant une recherche adisciplinaire.

Mise en œuvre dans la recherche

Les questions de recherche s'inscrivent parfaitement dans cette nouvelle approche. En conséquence, la stratégie de recherche doit intégrer ces deux caractéristiques pour fournir des résultats de qualité. La souplesse épistémologique nécessite d'identifier les disciplines scientifiques qui alimentent la problématique et de vérifier leur cohérence. Le cadre théorique doit pouvoir reposer sur un état de l'art scientifique robuste, disciplinaire, pour concevoir une méthodologie robuste dans une phase d'investigation et d'expérimentation. Cette phase expérimentale permettra de valider ou non les propositions théoriques. Pour parcourir ces étapes, il est nécessaire de s'appuyer sur des personnes expertes dans ces différents domaines, ce qui est permis par le cadre multi-partenarial de la thèse (voir Avant-propos). Dans cet exercice, le « voyage »⁷² parcouru au cours de la recherche est aussi important que le résultat final qu'elle cherche à atteindre.

⁷² Haider *et al.* utilisent, non sans raison, l'expression « undisciplinary journey » (emphase ajoutée).

4.1.3. Une recherche normative

Non neutralité des sciences de la durabilité

Les sociologues des sciences et des techniques nous enseignent qu'il est illusoire de considérer la science comme neutre, dans le sens où elle serait totalement détachée de la société et des idéologies qui la traversent (Joly, 2010). Ce fait est particulièrement marqué dans les sciences de la durabilité, dans lesquelles les chercheurs, au-delà de s'intéresser à comprendre le monde, cherchent à produire des connaissances pour l'action et la transformation de la société (Fazey *et al.*, 2020). Il leur faut nécessairement formuler des choix qui ne peuvent être uniquement guidés par des arguments scientifiques, mais dans lesquels une dimension philosophique et morale intervient (Kudo et Mino, 2020). Il est frappant de constater à quel point cette normativité est en réalité ancrée dans les cadres et idées politiques. Kates et al. affirment par exemple que « (...) *la science doit être connectée à l'agenda politique du développement durable (...)* » (Kates *et al.*, 2001, p.642), alors que cet agenda politique est aujourd'hui remis en cause de par son insuffisance à répondre aux enjeux environnementaux (Boutaud, 2013). Plus récemment, de nombreux papiers s'intègrent dans la lignée de l'économie circulaire ou de la bioéconomie (D'Amato *et al.*, 2017) sans questionner la dimension politique sous-jacente. La communauté scientifique est ainsi tiraillée entre une recherche s'inscrivant dans ces cadres, qui la rendent plus intelligible et appréhensible par les décideurs (Ghisellini *et al.*, 2016), et une recherche qui critique vivement ces cadres (Giampietro et Funtowicz, 2020), trouvant nécessairement moins de leviers de mise en action dans la société. Dans un sens comme dans l'autre, le chercheur se positionne pour décider ce qui, selon lui, relève de la durabilité ou n'en relève pas, comme en témoigne la distinction entre une durabilité *forte* et *faible* (Neumayer, 2013). De tels positionnements, bien qu'appuyés sur une argumentation scientifique, incluent une irréductible part de morale et d'idéologie⁷³. Par ailleurs, le simple fait d'étudier le système sociotechnique sous l'angle d'une certaine question de recherche produit une irréversibilité dans ce système, liée au positionnement de l'observateur (Horlings *et al.*, 2020). Comme le soulignent Boons et Roome (2000), il n'existe pas de posture purement descriptive en sciences de la durabilité, une telle posture admettant nécessairement des biais de cadrage normatifs. Du fait de l'impossibilité de s'extraire de cette posture normative, il convient, pour établir une démarche rigoureuse, d'explicitier les partis-pris de cette normativité et la manière dont ils interviennent dans la stratégie de recherche

Aspects normatifs de la recherche

La question de recherche est résolument normative à au moins deux égards. Premièrement, la formulation d'une promesse plausible implique de prendre parti sur les changements sociétaux qui sont désirables au nom de la science, au moins dans leurs grandes lignes. C'est d'autant plus le cas en l'absence du constat partagé d'un problème à résoudre, comme la situation bioéconomique dans laquelle se place cette recherche. Un des enjeux de ces travaux est donc d'identifier le moyen de plus pertinent d'objectiver la désirabilité scientifique d'une telle promesse, qui sera quoi qu'il advienne un parti pris subjectif. Ceci n'est pas spécifique à ces travaux, les critères utilisés pour qualifier les vertus « environnementales » étant souvent

⁷³ C'est probablement un tel désaccord idéologique qui a conduit la communauté de l'écologie industrielle à se diviser entre une ligne se voulant descriptive et une ligne normative (Allenby, 2006).

réducteurs et rarement discutés (Dumoulin, 2016). D'ailleurs, la durabilité reste une notion floue (Salas-Zapata et Ortiz-Muñoz, 2019), souvent peu discutée ou explicitée par les chercheurs qui s'inscrivent dans cette optique (Salas-Zapata *et al.*, 2017). Deuxièmement, la problématique prend pour hypothèse que la transformation qui doit avoir lieu doit prendre la forme d'une symbiose territoriale. Il s'agit là également d'un parti pris, dont la pertinence pourra être discutée au vu des résultats. La formulation de la problématique de recherche a rendus explicites les constats et hypothèses structurants dans la démarche (voir section 1.5). Cet exercice sera poursuivi dans l'établissement de la stratégie de recherche, afin de préciser les principaux cadrages et partis pris. La subjectivité qui en résulte n'invalide pas les résultats, si les méthodes mises en œuvre restent objectives et descriptives.

4.1.4. La promesse plausible : un outil paradoxal au service de la science post-normale.

Les sciences de la durabilité entretiennent des liens étroits avec les sciences post-normales dont les principes ont été décrits en introduction (Funtowicz et Ravetz, 1993)⁷⁴. La recherche entreprise ne se positionne cependant **PAS** dans la science post-normale à proprement parler. Celle-ci implique une logique d'intervention dans la société, en lien étroit avec les savoirs non scientifiques, relevant plus d'une approche transdisciplinaire que d'une approche interdisciplinaire. Or, le projet de recherche ne vise pas à conduire une réelle intervention. La problématique telle qu'elle est développée ne sort pas du champ académique, et les questions ne sont pas ouvertes à l'intégration de pairs non scientifiques. Comme évoqué en introduction, il est plus juste de considérer ce projet et la promesse plausible comme des **outils** au service de la science post-normale. L'initiation d'une symbiose territoriale par un acteur scientifique est une application de la science post-normale, que vise à outiller cette recherche.

La promesse plausible porte cependant une vision de l'innovation qui entre à certains égards en contradiction avec une posture post-normale. Elle est en effet entièrement cadrée et formalisée par l'acteur scientifique selon la problématique qu'il juge d'intérêt. La personne ou l'institution qui formule une promesse plausible définit à la fois la situation d'intérêt et préfigure les actions qui devront être portées par le collectif constitué par la suite – en d'autres termes, le mythe rationalisé. Il s'agit en réalité d'un paradoxe qui n'est pas spécifique à l'objet d'étude, mais qui est constitutif de la posture post-normale des sciences de la durabilité. S'il est acquis selon celle-ci que l'implication du reste de la société est nécessaire à la production de connaissances et à leur transformation en action, la manière dont sont identifiées, définies, et sélectionnées les situations qui méritent d'être examinées par cette communauté de pairs étendue n'est pas précisée. Elle présuppose que les porteurs de la démarche – les chercheurs – aient des objectifs sincères d'amélioration d'une situation qu'ils ont identifiée. De plus, la manière d'impliquer les pairs non académiques dans une telle démarche reste un angle mort dans l'opérationnalisation de la science post-normale. Dans ces deux hypothèses sous-jacentes, nous identifions clairement l'importance et le rôle de la promesse plausible dans une démarche post-

⁷⁴ La crise environnementale et sociale que traverse l'humanité au XXI^e siècle fait en effet explicitement partie du domaine d'application de la science post-normale (Funtowicz et Ravetz, 1994). La mobilisation des connaissances scientifiques pour intervenir dans des situations concrètes s'éloigne en de nombreux points d'une pratique « normale » de la science basée sur la résolution de questions de recherche au sein de disciplines délimitées et confinées dans l'espace des laboratoires (Kuhn, 1962).

normale. Elle représente une traduction d'enjeux complexes mais néanmoins urgents à traiter, identifiés par la communauté scientifique mobilisée dans les sciences de la durabilité, de manière à ce qu'ils soient compréhensibles par les pairs qu'elle estime indispensables pour contribuer à résoudre la situation en question. Impliquer une communauté de pairs étendue dans l'étude collective d'une situation *nécessite* d'identifier une situation et *présuppose* des moyens (aussi ouverts soient-ils) à mettre en œuvre. Le simple fait de convoquer une concertation *est* une action, qui elle-même prend pour acquis que la concertation est le moyen adéquat de gérer un problème environnemental⁷⁵. La promesse plausible, malgré l'apparente contradiction qu'elle semble porter à la science post-normale, est en réalité une condition nécessaire à la réalisation de cette dernière. La portée de ces travaux permet ainsi d'alimenter les réflexions sur les liens science-société.

4.2. Stratégie de recherche : Utilisation de cas d'étude dans une approche *ex post* et *ex ante*

L'explicitation de la posture de recherche permet de développer les lignes méthodologiques générales des travaux de recherche. Nous parlerons ici de *stratégie* de recherche, car l'approche adisciplinaire rend impossible la détermination, dès le départ, d'une méthodologie de recherche détaillée et définitive. En effet, nous avons identifié que certaines questions de recherche se placent à un niveau théorique et sont nécessaires pour étudier des questions de recherches plus proches de questions instrumentales (pour rappel, voir Figure 27). La méthodologie d'étude de ce deuxième type de questions se base donc sur les résultats intermédiaires qui seront obtenus par la réponse aux premières. La stratégie vise donc à détailler les grands axes directeurs qui se structurent autour des questions de recherche, et les grands principes d'études de ces axes. Les éléments méthodologiques spécifiques à l'étude de chaque question, voire parfois à l'étude de sous-questions, seront détaillés tout au long des prochains chapitres, au plus près des résultats qu'ils permettent d'obtenir. De la même manière, des éléments de discussion propre à ces questions précises seront apportés tout au long du manuscrit pour commenter les résultats intermédiaires. Cette stratégie se décline en deux approches. Les questions visant à renforcer les cadres théoriques associés aux objets de recherche (QR 1 et QR 3) seront traitées par une analyse de l'existant (*ex post*). Les questions visant à obtenir des réponses opérationnelles seront étudiées par une approche expérimentale basée sur une situation réelle. Cette approche se place dans une situation de rupture métabolique territorialisée où il n'existe pas encore de symbiose territoriale, en amont d'une démarche hypothétique (*ex ante*). Le territoire choisi pour représenter cette situation est celui génériquement désigné par « la plaine de Versailles », dont les limites restent à définir au cours du travail de recherche. Ces deux niveaux de connaissance tracent une séparation méthodologique, dans le traitement des questions de recherche, représentée sur la Figure 29.

⁷⁵ Supposition que critiquent d'ailleurs certains courants des sciences de gestion (Mermet *et al.*, 2005)

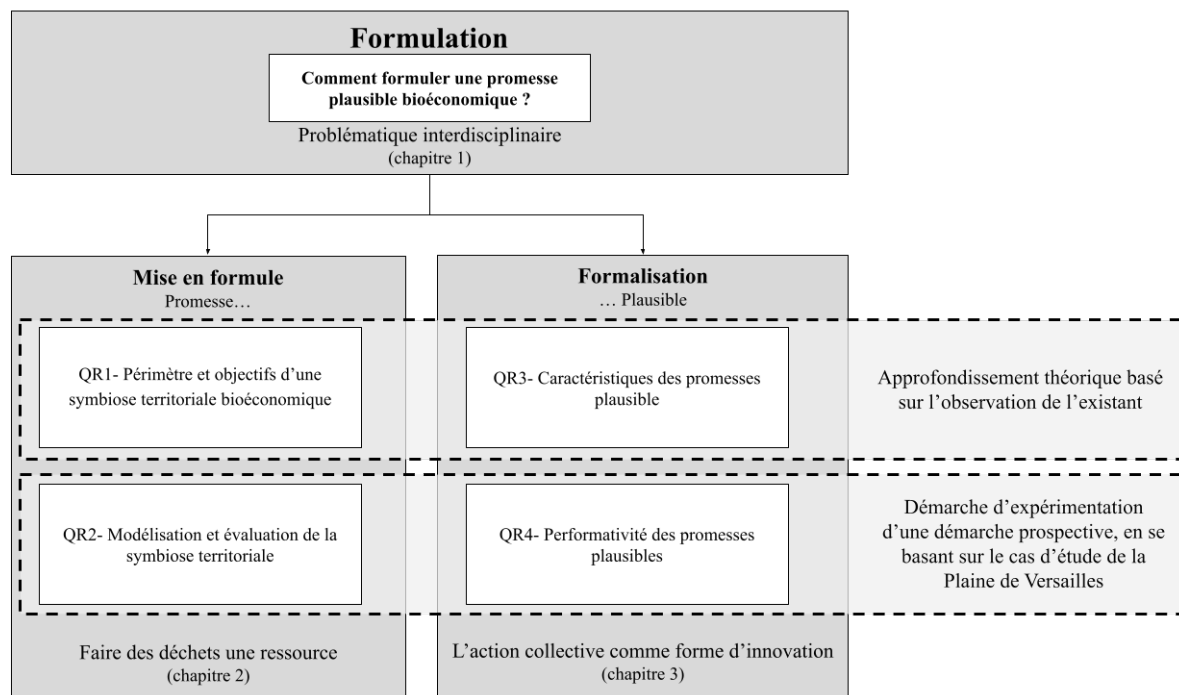


Figure 29 : Synthèse de la stratégie de recherche.

4.2.1. L'analyse de cas d'étude pour renforcer les cadres théoriques

Il est nécessaire pour répondre à la question générale de recherche d'améliorer la robustesse du cadre théorique des concepts mobilisés, au travers des questions QR 1 et QR 3. La méthodologie générale choisie pour cette approche est de confronter les formalisations issues des concepts théoriques de la littérature à des objets existants qui s'approchent de la situation d'étude. L'analyse d'études de cas est adaptée pour ce type de question (Yin, 2018) et est fréquemment mobilisée en écologie industrielle (Baas et Boons, 2007 ; Cerceau *et al.*, 2014b ; Chertow et Lombardi, 2005). Dans ce type d'étude, la sélection des cas d'étude est très importante, car elle doit être une représentation fidèle de l'objet que l'on souhaite étudier. L'analyse se fait en identifiant des caractéristiques communes aux cas d'étude, en identifiant des thématiques et des propriétés similaires d'un cas à l'autre (Blatter, 2008). L'analyse de cas d'étude peut s'effectuer de deux manières, soit avec une approche déductive, soit avec une approche inductive. La méthode **déductive** implique que les cas sont analysés avec une grille de lecture théorique déterminée. Les catégories étudiées au travers des cas d'étude « *n'émergent pas des données, mais plutôt d'études précédentes, de la littérature pertinente, des questions de recherches, et de l'expérience et des connaissances du chercheur sur le phénomène* » (O'Neil Green, 2008, p.71)⁷⁶. Son objectif est alors de définir en quoi les cas observés s'inscrivent dans cette théorie, comment ils l'illustrent et l'alimentent. Cette approche peut être utilisée lorsque de tels cadres existent et sont fermement établis. L'approche inductive, au contraire, ne présuppose pas de théorie

⁷⁶ "When categories are generated deductively, they emerge not from the data but rather from prior studies, relevant literature, research questions, and the researcher's own experience with and knowledge of the phenomenon."

descriptive ou explicative. Elle correspond aux « *efforts faits pour générer des affirmations générales basées sur l'observation, ou pour développer des théories à partir de données empiriques* » (Fox, 2008, p.429). Son objectif est donc de construire des cadres théoriques à partir des observations croisées dans les différents cas d'étude, ce qui est le fondement de l'approche *grounded theory* (Strauss et Corbin, 1990). La manière de sélectionner et d'analyser des études de cas dépend beaucoup de la question de recherche. La question QR 1 vise à consolider les bases épistémologiques nécessaires à la conceptualisation de la symbiose territoriale bioéconomique. Pour obtenir ces réponses, nous avons étudié un ensemble de symbioses industrielles décrites par la littérature à l'échelle internationale, permettant d'apporter des exemples riches et diversifiés de synergies impliquant des PRO. La question QR 3 s'intéresse à la dynamique de l'action collective, nécessitant des données plus proches du terrain. Les cas d'étude rapportés dans la littérature ne permettent en effet pas de comprendre la manière dont se structurent les mythes rationalisés et d'interroger leur action dans l'évolution des symbioses industrielles. Pour répondre à cette question, une campagne d'entretiens semi-directifs a été réalisée auprès de démarches d'écologie industrielle et territoriale en France durant l'été 2020. L'objectif était de collecter et de décrire les discours accompagnant les actions menées dans le cadre de ces démarches, de manière à consolider le cadre théorique de la promesse plausible et son élément constitutif, le mythe rationalisé. Le contexte national a été choisi, d'une part car la compréhension des discours nécessite de limiter les ambiguïtés du langage, ce que favorisent les échanges avec des interlocuteurs francophones, d'autre part car les démarches d'EIT s'approchent de manière intéressante de la définition donnée pour la symbiose territoriale.

4.2.2. La plaine de Versailles : un territoire d'expérimentation

Une limite de l'analyse a posteriori : le biais du survivant

Un des problèmes majeurs et inévitables de l'étude de cas est qu'elle se confronte mécaniquement à un biais de sélection. Si une partie des biais sont maîtrisables par le protocole d'identification des cas, il en subsiste un difficilement évitable, le « biais du survivant ». Ce biais est communément illustré au travers des travaux d'Abraham Wald, qui s'est intéressé au renforcement des avions de combat sur la base des dégâts observés sur les avions revenant du front (Mangel et Samaniego, 1984). Pour cela, le mathématicien disposait d'informations sur les parties endommagées de ces avions, comme cela est représenté sur la Figure 30. Contrairement à ce que suggérerait l'intuition, le renforcement des avions ne doit pas être fait aux endroits où se situent ces impacts, mais plutôt aux endroits qui apparaissent blancs sur la Figure 30. En effet, aucun avion ayant été touchés à ces endroits n'est revenu du front, ce qui signifie que ces points sont les plus sensibles. Cette histoire est souvent utilisée afin d'illustrer le fait que les données que l'on observe pour construire des hypothèses sont soumises à un important biais de sélection. Dans le cas de la symbiose industrielle, la totalité des études disponibles porte uniquement sur des démarches ayant « survécu » à la phase d'initiation. Les symbioses industrielles ne peuvent s'étudier qu'au travers de cas référencés et décrits par la littérature, ou de cas dans lesquels il est possible d'échanger avec un interlocuteur. Dans ces deux situations, cela implique qu'il est uniquement possible d'avoir accès à des démarches ayant rencontré un certain succès. Il est en effet très complexe d'obtenir des données concernant des démarches ayant échoué avant leur démarrage, du fait précisément qu'elles ne sont pas identifiables. Par ailleurs, l'accès aux données

et aux interlocuteurs de démarches ayant perdu en dynamisme est également très difficile. Il devient, de fait, également complexe d'identifier les raisons de l'échec de ces démarches. Enfin, et c'est un élément notable, la plupart des symbioses industrielles existantes sont très différentes de la symbiose territoriale bioéconomique telle qu'elle est considérée dans ces travaux. Cette méthode est une bonne approche pour renforcer les cadres théoriques, car elle permet une importante diversité d'observations et d'arriver à une saturation théorique (Morse, 2015b). Elle est cependant insuffisante pour répondre à une question posée dans une situation d'étude précise. C'est pourquoi, en complément de cette étude *a posteriori*, une démarche expérimentale a été entreprise afin de se donner les moyens de mener une étude approfondie sur une symbiose territoriale *ex ante*.

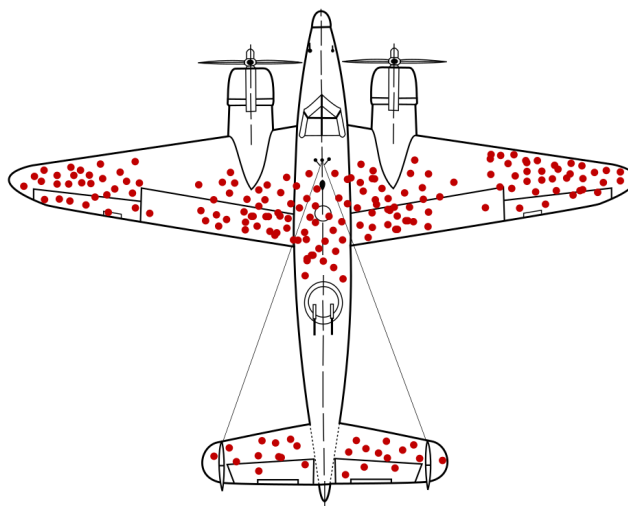


Figure 30 : Image utilisée pour illustrer le biais du survivant. Source : Wikipédia.

« Simuler » la symbiose territoriale

Les questions QR 1 et QR 3 nécessitent de déterminer les caractéristiques à conférer à la promesse plausible pour qu'elle réussisse à initier une symbiose territoriale. Il serait pour cela idéalement nécessaire de comparer, à l'analyse de cas d'étude, les promesses plausibles des démarches n'ayant pas réussi. Dans une approche expérimentale, il faudrait pouvoir tester plusieurs types de promesses plausibles, soit sur une même situation, soit sur un ensemble de situations et d'identifier, toutes choses égales par ailleurs, quelle promesse plausible permet l'initiation d'une démarche et laquelle ne le permet pas. De telles conditions expérimentales sont matériellement impossibles à réaliser. D'une part, analyser des situations différentes *toutes choses égales par ailleurs* est impossible. L'encastrement social et territorial est tel, dans ce type de démarche, qu'il sera impossible de déterminer si les différences sont liées à la qualité des promesses plausibles ou à ses spécificités. Par ailleurs, comparer plusieurs promesses plausibles dans l'initiation d'une seule démarche n'est pas non plus possible : il n'y a qu'une seule initiation qui crée une irréversibilité sur le territoire. La solution mise en œuvre dans ces travaux de thèse consiste à simuler malgré tout cette deuxième possibilité, sur un territoire dans lequel il n'existe pas encore de symbiose territoriale. Cette expérimentation a pour objectif de mettre les acteurs d'un territoire dans la situation où ils seraient confrontés à l'initiation d'une démarche. Comme nous l'avons évoqué au Chapitre 2, la définition et la délimitation exacte d'un tel territoire en amont d'une démarche est une question qui n'est pas triviale et qui fera l'objet d'une formalisation particulière dans ces travaux. En employant pour l'instant ce terme de manière

générique, le territoire d'étude correspond à la plaine de Versailles. La démarche entreprise sur ce territoire vise donc à « simuler » la symbiose territoriale, d'une part en produisant une **simulation** (représentation, modélisation et évaluation), d'autre part en **simulant son initiation** auprès d'acteurs qui pourraient potentiellement y participer.

Stratégie de recherche expérimentale

Présentant à la fois une demande importante en engrais de synthèse et un volume important de PRO, la plaine de Versailles est une situation (au sens où cela est défini dans la section 4.1.1) adéquate pour représenter la rupture métabolique territorialisée décrite à la section 1.3. Un second avantage de ce territoire est d'avoir été longuement étudié ces dernières années, notamment dans son potentiel de valorisation des PRO en agriculture (Cormier, 2018 ; Dhaouadi, 2014 ; Joncoux, 2014 ; Lefèvre, 2015 ; Moinard *et al.*, 2021b ; Noirot-Cosson, 2016). Dans ces études précédentes conduites sur la plaine de Versailles, ce qui est appelé territoire correspond au périmètre délimité par les communes adhérentes de l'Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets (APPVPA). Ce périmètre est mouvant au fil des adhésions et départs des communes de l'association (voir Figure 4 dans l'Introduction Générale). Les données sur le métabolisme territorial et les caractéristiques des systèmes agricoles, d'ordinaire longues à acquérir, y sont donc déjà disponibles pour être mobilisées dans la constitution de promesses plausibles. La méthodologie d'expérimentation conduite sur la plaine de Versailles nécessite de s'appuyer sur les éléments théoriques et ne peut donc pas encore être complètement développée dans ce chapitre. Par ailleurs, elle devra elle-même s'appuyer sur des résultats intermédiaires. A l'instar de la problématique générale de recherche, la réponse aux questions de recherche QR 2 et QR 4 sera donc apportée par une stratégie de recherche dédiée, déclinée spécifiquement dans la situation d'étude. La question QR 2 vise à construire le contenu de potentielles promesses plausibles sur la plaine de Versailles, de manière à pouvoir étudier leurs caractéristiques. Cette question nécessite de mieux comprendre le fonctionnement du territoire du point de vue matériel, mais également du point de vue des réseaux d'acteurs qui le composent. A ces fins, les travaux déjà réalisés sur le périmètre de l'APPVPA peuvent être mobilisés et approfondis par de nouveaux formalismes de représentation, ainsi que par de nouveaux entretiens. A partir de cette compréhension, des scénarios alternatifs sont conçus afin de constituer le contenu technique de promesses plausibles. La question QR 4 vise à comprendre l'influence de la formulation d'une promesse plausible sur sa capacité à mobiliser les acteurs clés dans une démarche de concertation. Pour réaliser cela, les éléments de connaissance acquis pour répondre à la question QR 2 doivent être mis en forme pour correspondre à des promesses plausibles, et celles-ci doivent être présentées aux acteurs de la plaine de Versailles identifiés comme pertinents.

Précisions de cadrage concernant l'approche expérimentale

La posture normative amène à effectuer des choix de cadrage concernant cette approche expérimentale, qu'il est nécessaire d'explicitier et justifier.

- (1) **La partie expérimentale sur la plaine de Versailles porte uniquement sur l'initiation de la concertation.** Elle se limite strictement à la phase effectuée en amont par l'acteur initiateur, de la représentation du problème jusqu'à la mobilisation des acteurs. Elle ne porte donc **PAS** sur la conduite effective de la concertation, et la mise en œuvre des synergies au sein d'une démarche de symbiose territoriale. Dans

la méthodologie, cela implique que le contact avec les potentielles parties prenantes prend place avant qu'ils n'aient eu l'occasion de confronter leur vision à celle des autres parties prenantes, hormis dans le cours de leur activité normale. Ce cadrage fondamental dans la démarche est illustré par la Figure 31.

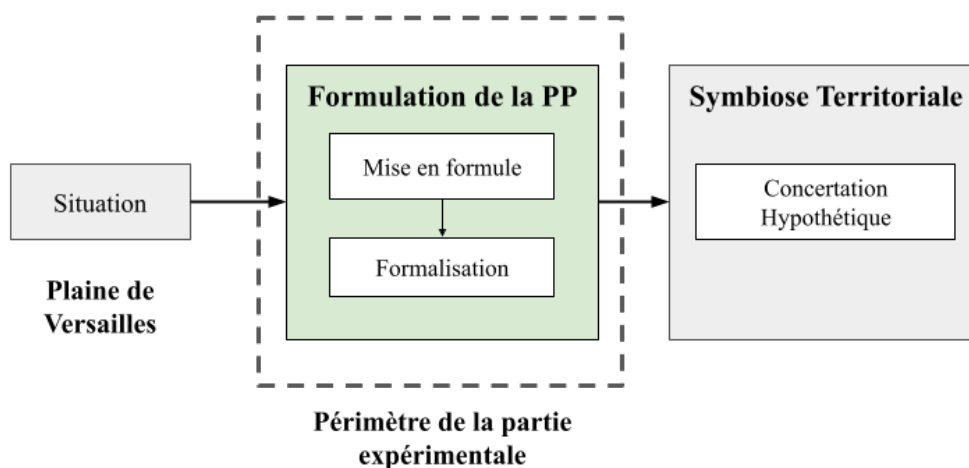


Figure 31 : Cadrage de la promesse plausible par rapport à la concertation sur la plaine de Versailles.

- (2) **La performativité de la promesse plausible s'explique notamment par les éléments techniques qu'elle contient.** La promesse plausible n'est donc **PAS** une problématique de communication ou de marketing de projet, qui viserait à identifier la meilleure manière de « vendre » la concertation auprès d'un public cible. D'une part, elle laisse ouverte la question de la mise en formule, admettant qu'il n'existe pas qu'une seule manière d'entreprendre une symbiose territoriale. D'autre part, les leviers de plausibilité et de crédibilité des promesses plausibles seront plus cherchés dans le fond que dans leur forme. Nous nous intéresserons aux raisonnements explicites des acteurs en fonction de ces éléments, et écarterons donc de l'analyse les mécanismes psychologiques inconscients qui pourraient expliquer une partie du positionnement des acteurs. Cela part de l'hypothèse forte, qui sera présentée et discutée, que le contenu technique du discours a effectivement un poids conséquent dans sa performativité, au moins équivalent à celui de la formulation du discours.
- (3) **La symbiose territoriale envisagée sur la plaine de Versailles se focalise sur la résorption de la rupture métabolique.** Elle n'intègre donc **PAS** la totalité des matières englobées par la thématique de la bioéconomie telle qu'elle est présentée à la section 1.3. La justification de ce choix est que la rupture métabolique constitue la situation sur laquelle est basée la recherche (voir section 1.1). Par ailleurs, l'ajout d'autres matières et possibilités complexifie de manière exponentielle les systèmes à représenter – sans pour autant qu'il ne soit garanti qu'une telle exhaustivité soit possible. Dans la scénarisation et la modélisation des scénarios de gestion alternatifs, les éléments suivants ne seront donc **PAS** intégrés :
- La production agricole ou industrielle qui ne correspond pas à un sous-produit, même si elle est dédiée à fournir de nouvelles ressources pour se substituer à des intrants issus de ressources fossiles. Cela exclut de la réflexion les cultures intermédiaires et des cultures dédiées à vocation énergétique. Cela exclut

également la production industrielle prenant pour intrant des matières premières biosourcées et non des sous-produits. Ce cadrage vient du fait que la symbiose industrielle s'intéresse traditionnellement plus aux sous-produits qu'à la production des entreprises, celle-ci n'étant d'ailleurs jamais questionnée. Par ailleurs, l'optimisation de l'usage de sous-produits est une problématique plutôt consensuelle : elle relève de principes de bonne gestion, de minimisation des déchets et donc des coûts. En revanche, l'arbitrage dans l'utilisation des ressources primaires est beaucoup plus complexe à définir, et sort de la question de la rupture métabolique à proprement parler.

- L'utilisation de la ressource ligneuse dans l'approvisionnement du territoire en énergie ou en matériaux. Il n'a ainsi pas été envisagé de synergies avec les produits et sous-produits forestiers, bien que ces ressources soient un des enjeux centraux de la stratégie bioéconomique telle qu'elle est actuellement développée. La principale raison pour cela est le fait que ces matières s'apparentent plutôt à une production végétale qu'à la gestion de sous-produits (voir point précédent). En revanche, les déchets verts sont inclus dans les synergies.

(4) **La symbiose territoriale se focalise sur l'évolution des procédés de transformation des PRO.** Dans les exercices de modélisation, les trajectoires d'évolution des systèmes agricoles n'ont **PAS** pu être prises en compte. La symbiose territoriale présente un risque de maintenir les systèmes productifs actuels sans proposer de régime socio-écologique alternatif. Le modèle agricole intensif issu des révolutions agricoles du XX^e siècle, s'il a permis une augmentation de production, implique de fortes externalités négatives qui le rendent non soutenable à long terme (Horlings et Marsden, 2011 ; Tilman et al., 2002). Il est donc nécessaire de s'interroger sur la pertinence de concevoir des symbioses territoriales conçues pour répondre aux besoins d'un système agricole intensif, sans concevoir en parallèle des modifications des systèmes. Il serait pour cela idéal de tenir compte des scénarios de transition agricole intégrant les enjeux énergétiques et climatiques (Solagro, 2016). Il existe aujourd'hui de nombreuses réflexions visant à améliorer la durabilité de l'agriculture, notamment en réduisant le déséquilibre des flux biogéochimiques (Magdoff et al., 1997). Par ailleurs, comme développé précédemment, l'approvisionnement en nutriments est également un enjeu clé de la résilience alimentaire (Les Greniers d'Abondance, 2020), ce qui nécessite une réflexion systémique et globale pour assurer la sécurité alimentaire sur le long terme (Harchaoui, 2020). Ces réflexions n'ont pas été intégrées dans la formulation de la promesse plausible, car la problématique de l'évolution du système de gestion des PRO à proprement parler est déjà complexe.

Synthèse de la partie I

Cette partie propose un état de l'art dense et diversifié permettant de construire une problématique et des questions de recherche, ainsi qu'une stratégie pour y répondre. Le point de départ de la recherche est la situation de rupture métabolique, c'est-à-dire un déséquilibre dans les flux biogéochimiques. Celle-ci se traduit de manière très localisée dans certains territoires qui présentent à la fois l'amont (l'utilisation d'engrais de synthèse) et l'aval (la production de PRO) de cette rupture. La problématique s'interroge sur les moyens d'initier, dans cette situation, une symbiose territoriale, c'est-à-dire une démarche de gestion concertée visant à résorber la rupture métabolique. L'initiation est étudiée sous le prisme de la promesse plausible, qui constitue un outil théorique au sein d'une démarche d'innovation incluant les acteurs à qui elle se destine. L'étude de cette problématique nécessite d'explorer deux aspects de la formulation de la promesse plausible. Premièrement, la « mise en formule » du contenu technique de la promesse plausible s'interroge sur la possibilité d'amélioration du recyclage des PRO, de sorte que les déchets des uns puissent devenir de réelles ressources pour les autres. Cela nécessite de s'intéresser aux différents aspects techniques du système sociotechnique de gestion des PRO (SGPRO), notamment la transformation des PRO et leur utilisation en agriculture, ainsi qu'aux outils de modélisation capables de représenter et d'évaluer la transformation de ce système. Cette question interroge de manière plus théorique sur la manière de concevoir un tel système et ses évolutions. Deuxièmement, la « formalisation » de la promesse plausible implique de comprendre les dynamiques de l'action collective intervenant lors du processus d'innovation dans lequel elle intervient. En s'appuyant sur la sociologie de la traduction et sur la sociologie néo-institutionnelle, la promesse plausible peut être considérée comme un discours performatif comprenant un mythe rationalisé, visant à institutionnaliser une action collective. Cependant, ce cadre reste peu applicatif et doit être investigué dans des situations réelles, de manière à décrire et caractériser ces objets. L'objectif final est de comprendre les leviers de performativité des promesses plausibles, en fonction des caractéristiques qui leur ont été données par l'acteur qui les a formulées. Ces différents aspects de la problématique prennent racine dans les sciences de la durabilité, qui impliquent une posture basée sur une situation, normative, et adisciplinaire. Les aspects théoriques de ces questions seront traités par une étude de cas *a posteriori* présentée dans la Partie II. Les aspects applicatifs et instrumentaux de ces questions seront étudiés dans une démarche d'expérimentation conduite sur une situation d'étude concrète, la plaine de Versailles, présentée par la Partie III. L'architecture générale du projet de recherche est présentée par la Figure 32.

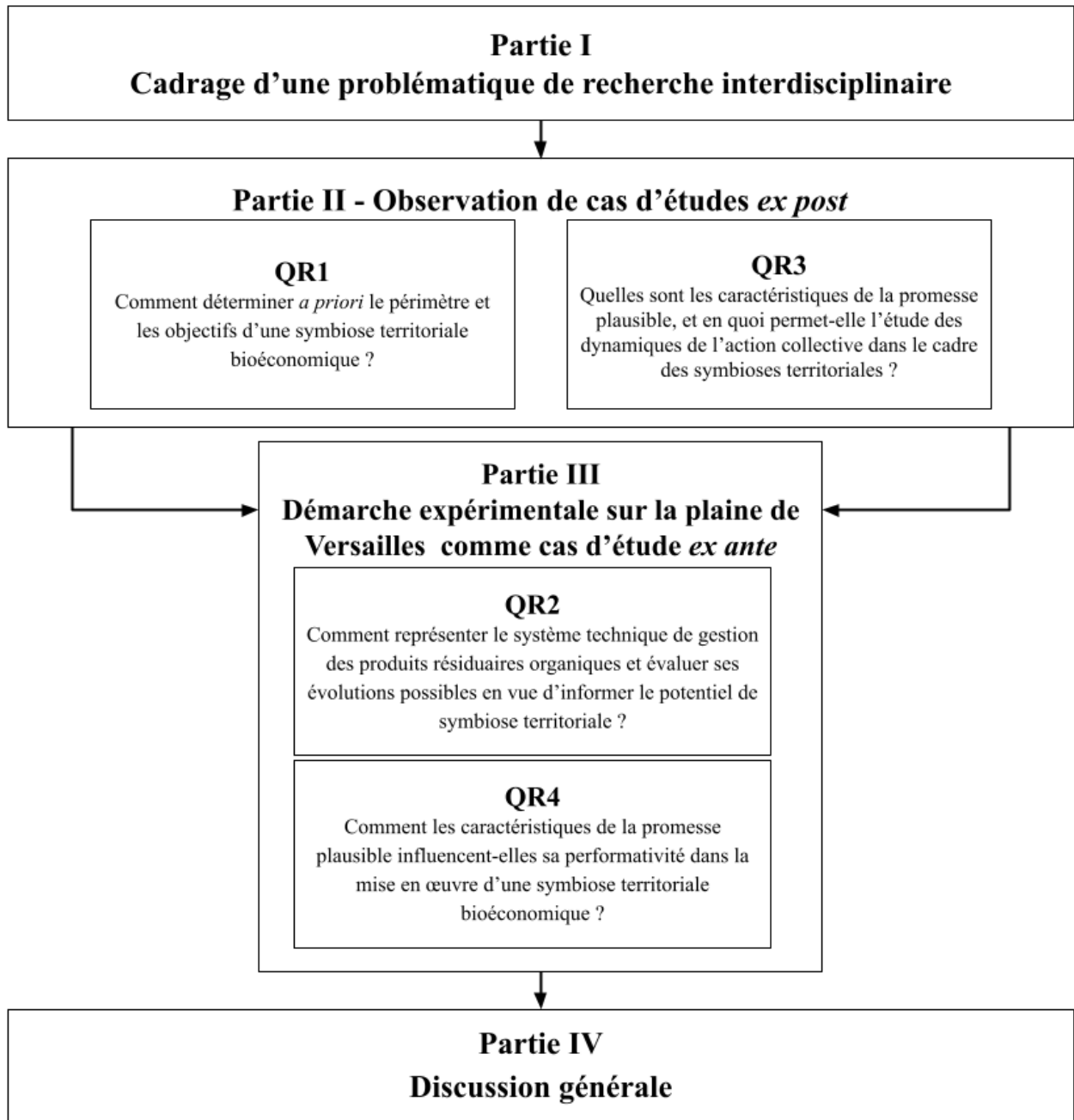
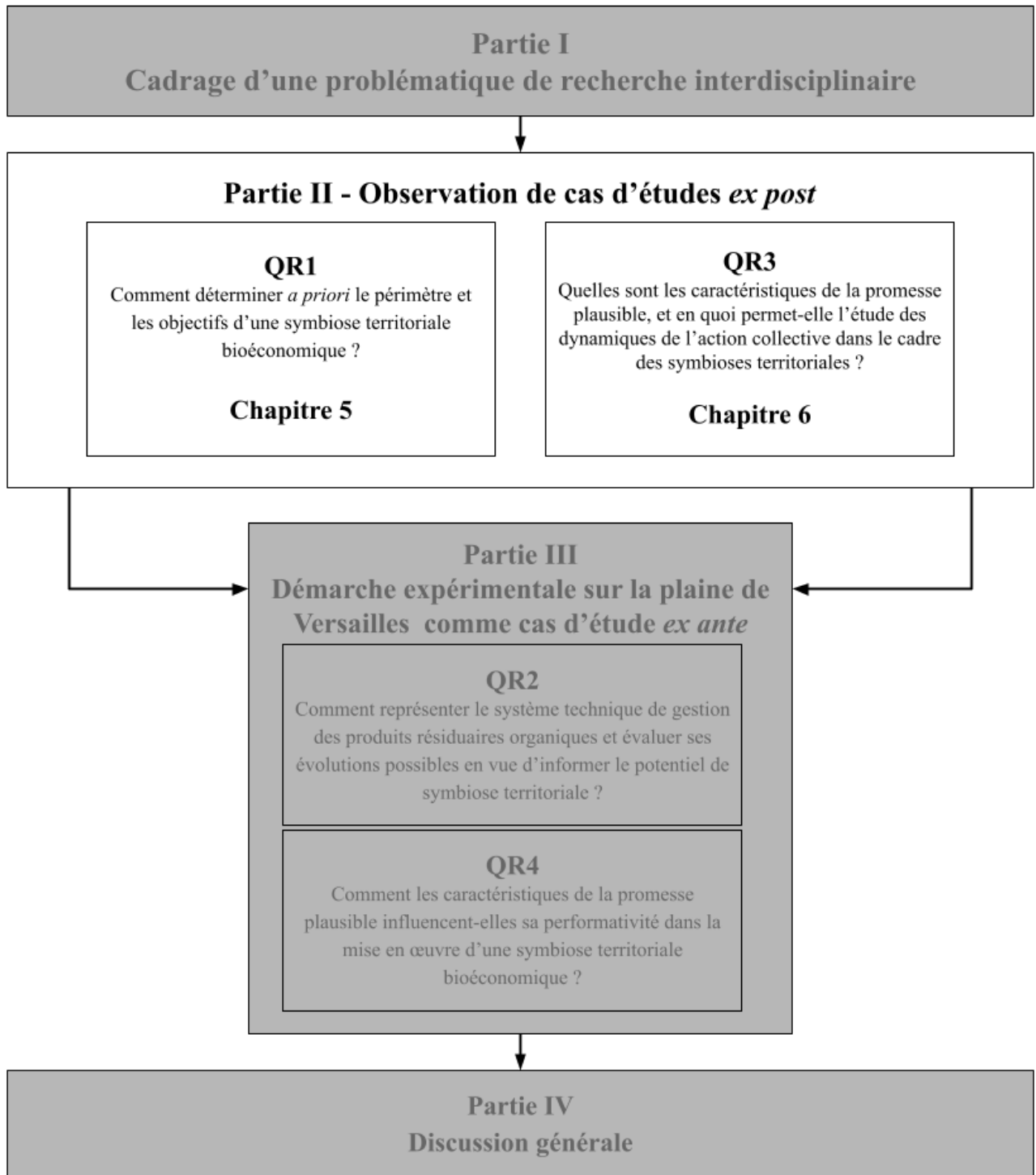


Figure 32 : Architecture générale de la recherche et de la thèse

Partie II Analyse de cas d'étude pour renforcer les cadres théoriques liés à l'initiation de symbiose territoriale

Cette partie présente deux analyses de cas d'étude ayant pour but de renforcer les cadres théoriques associés à la problématique de thèse, répondant aux questions de recherche QR 1 et QR 3. Elle reprend, adapte et complète deux articles et une communication ayant été produits au cours de la thèse. Le Chapitre 5 présente l'investigation du lien entre symbiose industrielle et bioéconomie dans des cas d'étude documentés par la littérature (Bijon et al., 2022b) et permettra de consolider la représentation d'un système-territoire. Le Chapitre 6 étudie les discours au sein de démarches d'EIT, afin de formaliser, d'étudier et d'illustrer les notions de promesse plausible et mythe rationalisé (Bijon et al., 2022a). Ces deux chapitres peuvent être considérés comme des textes indépendants et autoporteurs.



Partie II

Chapitre 5. Symbiose industrielle pour une bioéconomie durable : état actuel et perspectives

Résumé

Certaines synergies existantes dans des symbioses industrielles impliquent le recyclage de la matière organique résiduelle et contribuent de fait à la stratégie bioéconomique. Pour autant, la place des symbioses territoriales bioéconomiques dans une perspective globale de durabilité n'a pas réellement été étudiée. Ce chapitre présente une étude de la littérature, dans le but de consolider le cadre théorique nécessaire pour la conception de nouvelles symbioses. Celle-ci se base sur l'analyse en détail de 30 cas d'étude décrits par la communauté scientifique et sélectionnés pour représenter une diversité de situations, d'après une étude conduite par Boons et ses collègues en 2016 (Boons *et al.*, 2016). Au sein de ces cas d'étude, les synergies impliquant la matière organique sont analysées et rattachées à différentes visions de la bioéconomie. Un premier résultat intermédiaire est une proposition de grille de classification des symbioses industrielles, basée sur trois dimensions identifiées par la littérature⁷⁷. Un deuxième résultat est la définition de trois schémas de synergies pouvant apparaître au sein de ces symbioses : la mobilisation de ressources métaboliques, la bioraffinerie métabolique et la bioraffinerie globale. Un troisième résultat est l'observation que les acteurs agricoles ont un rôle souvent périphérique dans ces symbioses, sous-estimé à la fois par les acteurs internes et externes aux synergies. Enfin, un quatrième résultat est la construction du concept de système-territoire comme la nécessité d'identifier trois éléments en amont d'une symbiose : un périmètre spatialement délimité, un réseau d'acteurs et des enjeux spatialisés. Les conclusions de cette étude sont que la mise en place de symbioses territoriales bioéconomiques nécessite donc une stratégie de conception dédiée qu'il reste à établir.

Structure

Les parties 5.1 à 5.4 reprennent le texte d'un article publié en anglais dans la revue *Sustainability* (Bijon *et al.*, 2022b), dont les titres ont été traduits en français et dont la structure a légèrement été modifiée de manière à mieux mettre en avant des éléments qui y étaient présentés en annexe. La section 5.5 poursuit l'analyse avec des résultats non publiés dans cet article mais obtenus à partir des mêmes cas d'étude et nécessaires à la construction du cadre théorique de la thèse. Elle propose, en se basant sur la littérature et la manière dont est considéré le territoire dans ces différents cas d'étude, d'introduire le concept de système-territoire. Celui-

⁷⁷ Cette grille est peu détaillée dans le corps de texte. Nous en proposons une description plus complète en Annexe B-1.3

ci permet de définir, en amont d'une symbiose territoriale, le territoire pertinent pour la représenter en vue de son initiation.

5.1. Introduction : Contexte et objectifs de l'étude

As public policies increasingly support the transition towards sustainability (Brulot *et al.*, 2017 ; European Commission, 2018 ; United Nations, 2015), it is crucial to examine the actual contribution of collective action paradigms, and the ways in which they can reinforce one another. In particular, the normative action plan of Circular Economy (CE) (Ellen Macarthur Foundation, 2014 ; Kirchherr *et al.*, 2017 ; Pearce et Turner, 1990) and the concept of bioeconomy (BE) (Bugge *et al.*, 2016 ; Staffas *et al.*, 2013) are receiving increasing attention from both academia and decision makers. Recent studies described how the diversity of sustainability frameworks contributes to sustainability at different levels (D'Amato *et al.*, 2017 ; D'Amato et Korhonen, 2021). Circular bioeconomy has emerged as a combined approach to BE and CE (D'Amato *et al.*, 2020 ; Leipold et Petit-Boix, 2018), but is more than a mere combination. These apparently distinct frameworks share the potential to implement and develop local collective actions (Berkes, 2017 ; Ddiba *et al.*, 2020 ; Duru *et al.*, 2015 ; Wohlfahrt *et al.*, 2019b), such as those exemplified by industrial symbiosis (IS) initiatives (Chertow, 2000 ; Fric et Rončević, 2018 ; Neves *et al.*, 2020). Biorefineries are the most representative examples of the combination of BE and CE through local action. Ubando *et al.* (2020) define the term biorefinery as “an infrastructure facility wherein various conversion technologies such as thermochemical, biochemical, combustion, and microorganism growth platform are integrated to efficiently produce sustainable bio-based product streams such as biofuels, biochemicals, bioenergy, and other high-valued bio-products”. Only a few authors have considered IS as a means to reach the goals of BE, mainly from a biorefinery standpoint (Santos et Magrini, 2018 ; Sheppard *et al.*, 2019). Yet a broad inventory and analysis of such practices is lacking, to date, even though evidence suggests that organic matter (OM) can be integrated into IS in more diversified forms (Fernandez-Mena *et al.*, 2016 ; Simboli *et al.*, 2015), thus creating a potential increasing in the recycling of organic matter. However, the questions of how, and to what extent, industrial symbiosis addresses bioeconomic goals, as well as whether, and how, this situation might be improved, remain to be addressed. These questions are of great importance to researchers and practitioners, as they will allow identification of the best opportunities to contribute efficiently to sustainability through the implementation and development of IS. The aim of our study is to advance current understanding by providing theoretical and descriptive tools to interpret the place of BE in IS case studies, and by identifying opportunities for future development of IS initiatives dedicated to BE. In Section 5.1, we present the different visions of BE, based on which we developed our analytical framework, and detail the objectives of our work; in Section 5.2, we describe the methodology we used to assess the features of BE and characterize the IS case studies; in Section 5.3, we review 30 selected IS case studies to understand the role of BE within them; and in Section 5.4, we suggest future opportunities based on our observations.

5.1.1. Visions de la bioéconomie

The concept of BE covers a broad and still-debated range of strategies that incorporate different approaches to sustainability (Befort, 2020). Bugge *et al.* point out that BE actually

embraces three contrasting visions: bio-technology, bio-resources, and bio-ecology (Bugge *et al.*, 2016 ; Vivien *et al.*, 2019).

The **bio-technological vision** of bioeconomy (**BT-BE**) emphasizes opportunities for innovation and economic growth by expanding the application range of technologies involving biological processes or living beings. These technologies include a wide range of fields, including genetics, genomics, GMOs, biofuels, nano-biotechnologies, and medicine. Environmental benefits are expected to be one consequence of this strategy, which relies, to a great extent, on future technology to address present issues (Laibach *et al.*, 2019 ; Zilberman *et al.*, 2013).

The **bio-resource vision** of bioeconomy (**BR-BE**) aims at expanding the range of uses of biological resources, by means of new processing technologies, to increase the added value of these materials while replacing fossil-based inputs (Langeveld *et al.*, 2010). This vision builds on the idea of “cascading biomass” (Fehrenbach *et al.*, 2017 ; Jarre *et al.*, 2020) that prioritizes the use of OM according to its potential value, including organic waste. This vision of BE also depends, to a great extent, on scientific innovation, as many processing technologies are still insufficiently mature (Sheppard *et al.*, 2019). The BE core concept of biorefinery is included in this vision (Clark et Deswarte, 2015 ; Parajuli *et al.*, 2015 ; Ubando *et al.*, 2020, 2021).

The **bio-ecology vision** of bioeconomy (**BE-BE**) highlights the importance of material flows, stemming from biomass in the regional and global metabolisms, to achieve sustainability (Sherwood, 2020). Such an approach requires consideration of the impact of land footprints and biocapacity (Liobikiene *et al.*, 2019). It also requires regional governance specifically designed to address this issue (Berkes, 2017). This vision of BE can be linked with the historic use of the term bioeconomy in Georgescu-Roegen’s ‘The Entropy Law and the Economic Process’ (Georgescu-Roegen, 1971).

5.1.2. Objectifs

The concept of strong sustainability assumes physical and biological limits to the development of human society (Meadows *et al.*, 1972 ; Neumayer, 2013), as opposed to the notion of weak sustainability, which assumes that the depletion of natural capital can eventually be offset by increasing human-made capital (Gutés, 1996). This distinction introduces a normative hierarchy among so-called sustainable practices, as, according to some authors (Shang *et al.*, 2019) weak sustainability practices actually provide no guarantee of sustainability—a viewpoint with which we agree. This is why we consider compatibility with strong sustainability to be an interesting qualitative assessment tool for synergy patterns. Such an approach has already been used to assess policies and practices linked to sustainable development (Loiseau *et al.*, 2016).

In this paper, we define **industrial symbioses including bioeconomy (BE-IS), as initiatives which include at least one exchange of organic byproducts**. The objective of our work was to assess the extent to which BE-ISs contribute to strong sustainability, and to the opportunity to strengthen this contribution. To this end, we analyzed the following aspects: (1) the characteristics of BE-IS and its frequency among existing IS case studies; (2) the underlying principles of OM synergy and its link to BE visions, which we term ‘synergy patterns’; and (3) the role of agriculture as a cornerstone of sustainable bioeconomy. The following sections (Sections 5.1.3-5.1.5) contextualize and specify these three objectives, which structure the Results and Discussion sections (respectively, Sections 5.3 and 5.4).

5.1.3. Identifier les caractéristiques des symbioses industrielles contribuant à la bioéconomie

In theory, BE can be performed through ISs, even though this is not the primary objective. Indeed, ISs are dedicated to all types of by-products, without a particular focus on OM. Inversely, BE traditionally considers all sources of OM, and is not limited to by-product streams. Recent contributions suggest that BE could be associated with CE to improve their respective sustainability through circular bioeconomy (D'Amato *et al.*, 2020 ; Leipold et Petit-Boix, 2018). ISs are tools which could allow the development and implementation of this new framework, as they already do for CE (Fric et Rončević, 2018). In some IS case studies, for instance, OM is already a central synergistic by-product (Chauvet, 2020 ; Simboli *et al.*, 2015). Some authors have highlighted the importance of including organic waste in BE, as it has high potential for resource recovery (Cheng *et al.*, 2020 ; Ng *et al.*, 2020). For instance, Venkata Mohan *et al.* (2016) underline the potential contributions of organic waste to biorefineries, a practice that falls within the range of IS.

Despite these contributions, the actual place of BE within existing IS diversity has not yet been documented. Moreover, the uses of OM inside ISs, and the actors related to these uses, have not been thoroughly described, and therefore remain unclear. Our first objective is to describe these features in a selection of well-documented case studies, and to compare the characteristics of BE-ISs with IS case studies that do not include synergies with organic by-products.

5.1.4. Identifier des schémas de synergie et leur lien avec la durabilité

As the following overview suggests, BE and IS both contribute, incompletely, to sustainability (D'Amato et Korhonen, 2021).

IS aims at enhancing regional collaboration between economic actors to improve environmental and economic efficiency (Chertow, 2000 ; Chertow et Park, 2016). Synergies between different actors allow one's waste to be used as an input for another (Erkman, 2004), thereby reducing the consumption of raw non-renewable material. Industrial ecology principles promote strong sustainability (Loiseau *et al.*, 2016 ; Pauliuk et Hertwich, 2015), although practical applications more likely involve weak sustainability, namely due to their transfer in the regulative framework of the circular economy (Brullot *et al.*, 2017 ; D'Amato *et al.*, 2017 ; Pearce et Turner, 1990).

The contribution of BE to sustainability is hotly debated, since it depends on the vision concerned (Pfau *et al.*, 2014). The BE-BE vision is explicitly dedicated to strong sustainability, as it focuses on the regional metabolism and its biological and physical capacity. The two other visions, although not incompatible with strong sustainability, endorse weak sustainability, as they promote technological development without a thorough consideration of its limits. The two other visions are also the main focus of the European BE strategy, which is defined as “all sectors and systems that rely on biological resources (animals, plants, micro-organisms and derived biomass, including organic waste), their functions and principles.” (European Commission, 2018) (p. 4). This institutional vision of BE suggests an increase in technological innovation to foster economic growth and increase the use of biomass resources in all economic sectors (Befort,

2020 ; Langeveld *et al.*, 2010), which is likely to result in generally weak sustainability (D'Amato *et al.*, 2017 ; Giampietro, 2019 ; Liobikiene *et al.*, 2019 ; Loiseau *et al.*, 2016).

In summary, IS is dedicated to long-term circularity, but maintains the current productive system, thereby continuing to cause environmental degradation and resource depletion. BE aims to bring about long-term changes in the production system in spite of its actual institutional framework, which promotes weak sustainability. It is thus of interest to assess which type of BE, integrated into IS, would best enhance sustainability. Based on an in-depth analysis of OM synergies within BE-IS, our second objective is to assess how these synergies relate to strong sustainability by considering the three visions of BE (see Section 5.1.1). To this end, we introduced the concept of **synergy patterns, i.e., families of synergies that exhibit similar visions of BE.**

5.1.5. Evaluer le rôle de l'agriculture dans les symbioses industrielles

The sustainability of agriculture is a major concern for the coming decades. One of the main challenges is to reduce the dependence of the agricultural sector on non-renewable resources (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019 ; Sutton *et al.*, 2013). The long-term provision of nutrients, such as nitrogen and phosphorus, is a major challenge for food production (Dawson et Hilton, 2011). Nitrogen fertilizers are largely sourced from non-renewable resources, and are an important outlet for fossil fuels not used in energy production (Levi et Cullen, 2018). In theory, IS enables these non-renewable inputs to be replaced through regional collaboration. Evidence abounds that many of the nutrients required for agriculture could be sourced from organic waste, especially in proximity to dense urban areas (Koppelmäki *et al.*, 2021 ; Trimmer et Guest, 2018). Nevertheless, organic waste remains poorly valorized (Vea *et al.*, 2018b). Despite the widespread recovery of organic waste in agriculture, recovering nutrients from those sources still has high potential (Wassenaar *et al.*, 2014). As such, agriculture has a high potential to both accept flows from many different OM inputs and produce a large volume of waste or by-products (Sherwood, 2020). These two characteristics define the role of an anchor tenant in IS (Korhonen, 2001), a role which could, theoretically, be held by agriculture in some situations. Such practices are rarely covered in IS literature, even though bridging this gap could increase nutrient circularity and overcome this recurring blind spot (van der Wiel *et al.*, 2019). Fernandez-Mena *et al.* (2016) examined the potential of IS tools to foster synergies in the agricultural sector. However, the role of agriculture in current IS initiatives has not yet been investigated. Given the fundamental importance of sustainable biomass production, and the potential of IS to contribute to this objective, our third objective is to assess the role of agriculture in the selected IS case studies.

5.2. Méthodologie

We followed four main methodological steps for this study, shown in Figure 33: (1) Selecting the case studies; (2) identifying a relevant analytical framework incorporating IE and BE characteristics; (3) describing the case studies using this framework; and (4) analyzing BE-IS according to the objectives of this study.

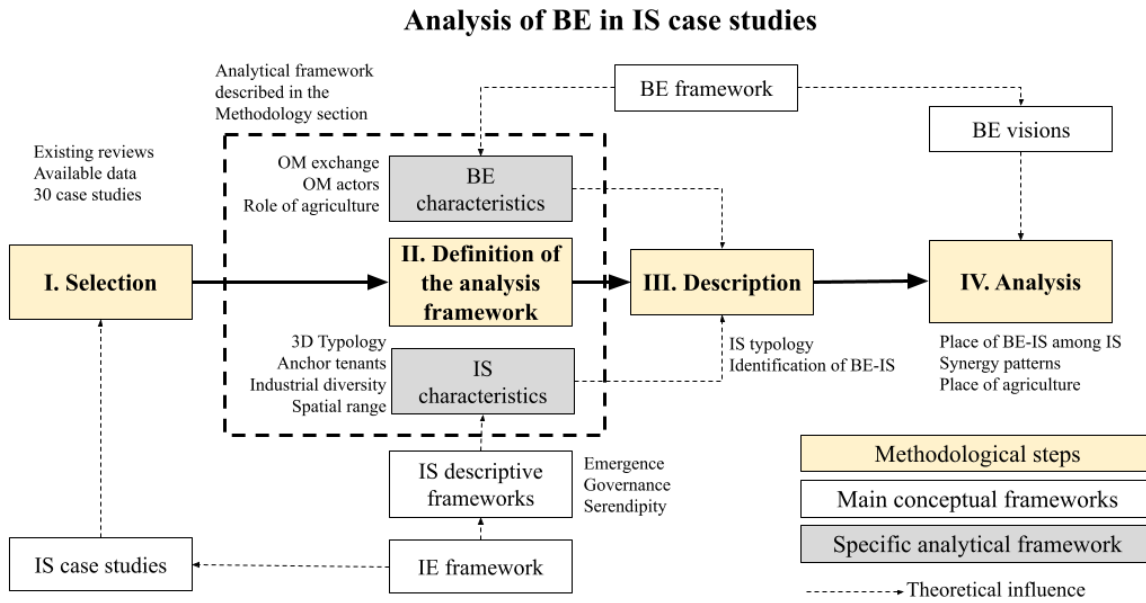


Figure 33 : Méthodologie utilisée pour l'analyse des cas d'étude.

5.2.1. Sélection des cas d'étude

For our study, we needed cases that were sufficiently documented in the literature (our main selection criterion), and that covered a diversity of situations and contexts. We excluded cases that were only documented in non-academic literature. Our set of case studies was based on the combined sets of IS cases reviewed in two recent articles which placed particular emphasis on selecting sets of cases that correctly represented the diversity of situations and contexts in which IS has recently developed. Boons et al. (2016) developed an IS typology based on a careful selection of case studies, while Mortensen and Kørnø (2019) selected case studies to assess the conditions of IS emergence. Among the case studies cited in these two reviews, we selected those in which sufficient and reliable data informed all the IS characteristics covered in the present article (Figure 33): the three dimensions of our typology (Section 5.1.3), the presence of anchor tenants, industrial diversity, spatial range, and material flows. To this end, and when needed, we included other papers reporting on the same case studies, either cited by Boons et al. (2016) and Mortensen and Kørnø (2019) or found in Google Scholar searches. This resulted in 20 case studies taken from the review by Boons et al. (2016), and an additional 10 case studies from the review by Mortensen and Kørnø (2019). The selected case studies are listed in Tableau 7 (for more details see Appendix B-1).

Tableau 7 : Principales caractéristiques des cas d'étude sélectionnés. Un tableau plus complet est présenté en Annexe B-1. Le nom des pays suit la norme ISO 3166. Abréviations utilisées pour les continents: AS, Asie; EU, Europe; NA, Amérique du Nord; OC, Océanie; SA, Amérique du Sud. Unk. Indique que la date de démarrage est inconnue. Emergence, Gouvernance, et Serendipity sont définis à la section 5.2. Corpus : (1) Boons et al. (2016), (2) Mortensen and Kørnø (2019).

Name, Country, Continent, and Starting Date	Corpus	Emergence	Governance	Serendipity	BE-IS	Ref.
Kalundborg, DK, EU, 1959	(1)	Internal	Self-organized	Goal-Directed	Yes	(Domenech et Davies, 2011 ; Ehrenfeld et

Partie II

<i>Styria, AT, EU, Unk.</i>	(1)	Internal	Self-organized	Serendipitous	Yes	Gertler, 1997 ; Jacobsen, 2006) (Schwarz et Steininger, 1997)
<i>Guayama, PR, NA, 1990's</i>	(1)	Internal	Self-organized	Goal-Directed	No	(Chertow et Lombardi, 2005)
<i>Kwinana, AU, OC; 1952</i>	(1)	Internal	Facilitated	Goal-Directed	Yes	(van Beers <i>et al.</i> , 2008 ; Van Berkel <i>et al.</i> , 2006)
<i>Gladstone, AU, OC, 1967</i>	(1)	Internal	Facilitated	Serendipitous	No	(van Beers <i>et al.</i> , 2008)
<i>Nanjangud, IN, AS, Unk.</i>	(1)	Internal	Self-organized	Serendipitous	Yes	(Bain <i>et al.</i> , 2010)
<i>Jyväskylä, FI, EU, Unk.</i>	(1)	Internal	Self-organized	Goal-Directed	Yes	(Korhonen, 2001)
<i>Kuusankoski, FI, EU, 1880's</i>	(1)	Internal	Self-organized	Serendipitous	Yes	(Pakarinen <i>et al.</i> , 2010 ; Sokka <i>et al.</i> , 2011)
<i>Guitang Group, CH, AS, 1956</i>	(1)	Internal	Self-organized	Goal-Directed	Yes	(Zhu <i>et al.</i> , 2007 ; Zhu et Cote, 2004)
<i>British Sugar, GB, EU, 1985</i>	(1)	Internal	Self-organized	Serendipitous	Yes	(Short <i>et al.</i> , 2014)
<i>HISP, GB, EU, 2000</i>	(1)	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	Yes	(Mirata, 2004)
<i>WISP, GB, EU, 2000.</i>	(1)	Hybrid	Facilitated	Serendipitous	Yes	(Mirata, 2004)
<i>Rotterdam, NL, EU, 1994</i>	(1)	Internal	Facilitated	Goal-Directed	No	(Baas et Boons, 2004, 2007)
<i>Ulsan, KR, AS, 1990</i>	(1)	External	Facilitated	Goal-Directed	No	(Behera <i>et al.</i> , 2012 ; Park <i>et al.</i> , 2008)
<i>TEDA, CH, AS, 2000</i>	(1)	External	Facilitated	Goal-Directed	No	(Shi <i>et al.</i> , 2010, 2012a)
<i>Fort Devens Army Base, US, NA, 1993</i>	(1)	External	Facilitated	Goal-Directed	No	(Veleva <i>et al.</i> , 2015)
<i>Händelö island, SE, EU, Unk.</i>	(1)	Internal	Facilitated	Serendipitous	Yes	(Baas, 2011 ; Martin et Eklund, 2011)
<i>Biopark Terneuzen, NL, EU, 1998</i>	(1)	External	Facilitated	Goal-Directed	Yes	(Spekkink, 2013)
<i>SYIA, CN, AS, 1998</i>	(1)	Internal	Self-organized	Serendipitous	No	(Tian <i>et al.</i> , 2012b, 2012a)
<i>Campbell, US, Hawaii, 1992</i>	(1)	Internal	Self-organized	Serendipitous	No	(Chertow et Miyata, 2011)
<i>Porto Marghera, IT, EU, 1970's</i>	(2)	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	No	(Mannino <i>et al.</i> , 2015)
<i>Industrial Symbiosis Platform (Sicily), IT, EU, 2011</i>	(2)	Hybrid	Facilitated	Serendipitous	NA	(Cutaia <i>et al.</i> , 2015)

<i>Relvão EIP, PT, EU, 2004</i>	(2)	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	Yes	(Costa et Ferrão, 2010)
<i>Barceloneta, PR, NA, 1970's</i>	(2)	Internal	Self-organized	Goal-Directed	Yes	(Ashton, 2009)
<i>NRIA, TH, AS, 2000</i>	(2)	External	Planned	Goal-Directed	NA	(Panyathanakun <i>et al.</i> , 2013)
<i>Santa Cruz EIP, BR, SA, 2002</i>	(2)	External	Facilitated	Goal-Directed	No	(de Ruiz, 2013 ; Elabras Veiga et Magrini, 2009)
<i>Paracambi, BR, SA, 2006</i>	(2)	External	Planned	Goal-Directed	No	(Elabras Veiga et Magrini, 2009)
<i>Bazancourt-Pomacles, FR, EU, 1990</i>	(2)	Internal	Facilitated	Goal-Directed	Yes	(Chauvet <i>et al.</i> , 2013)
<i>Kawasaki, JP, AS, 1997</i>	(2)	External	Facilitated	Goal-Directed	Yes	(Van Berkel <i>et al.</i> , 2009b, 2009a)
<i>Deux Synthe, FR, EU, 2000</i>	(2)	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	No	(Beaurain et Varlet, 2015)

In the most recent comprehensive review, Neves et al. (2020) identified a total of 124 case studies referenced in the literature. Our set of 30 case studies corresponds to an important section of these case studies, for which the required data were available. We consider them to be representative of this set, knowing that they were originally selected by their authors to cover a diversity of situations. It is important to note that BE considerations or material exchanges were not criteria for the selection of our case studies. To avoid bias, and to identify all existing practices in a representative set of ISs, we chose to identify which IS integrate OM in their synergies ex post (BE-ISs, see Section 5.1.3). The selected ISs are, consequently, precious examples that inform how features that now fall within the BE framework were already integrated in these initiatives. From these data, we were able to identify the most common practices representing synergies that incorporated organic matter, without restricting our scope.

5.2.2. Cadre d'analyse

To identify the relevant analytical framework, we drew a structured list with a large number of potentially distinguishing characteristics, completed using available quantitative or qualitative information. The qualitative use of literature data sometimes required interpretation, which we attempted to minimize by using clear definitions. To avoid the problem of the potential differences between the description of case studies in the literature and their current status—which may not be easily accessible—we used the material as if the data were still up to date. This interpretation of the first set of case studies was compared with additional cases and improved in the second step. Finally, the most relevant characteristics, applicable to all case studies, were selected to validate the descriptive framework we used for our analysis. We present these characteristics, including our three-dimensional typology, in the following sections.

5.2.3. Evaluation des caractéristiques des cas d'étude

For each case study, we determined a set of characteristics that enabled us to understand its relation to BE. We assessed (1) the industrial diversity based on NACE typology (Eurostat, 2008), to evaluate the complexity of the network of synergies and the type of actors present; (2)

the presence of an anchor tenant structure (Korhonen, 2001), including the sector of the anchor tenant, when relevant, to determine if actors were predominant—and if so, which ones; and (3) the spatial range, which we assessed on a qualitative scale due to the difficulty assessing this point precisely, to evaluate the importance of spatial distance.

Industrial Diversity

The number of different activity sectors involved in synergies was assessed using NACE typology (Eurostat, 2008), aggregated according to the SNC/CITI Ax38 classification. This typology uses 38 categories to differentiate all economic activities. We considered this to constitute an interesting level of aggregation, to assess the “shared norms” (Ashton et Bain, 2012) between actors. Categories correspond to letters or a combination of letters. For each case study, we associated each actor involved with its NACE reference code, and its equivalent within the Ax38 aggregation. We assessed the industrial diversity by counting the number of different industrial sectors, which correspond to categories from A to H.

General Network Structure

The notion of anchor tenant structure (Korhonen, 2001) provides interesting information about ISs. It underlines the existence of a central actor that is able to exchange diverse material with many other actors, either by accepting by-products or having by-products accepted by other actors. We evaluated this characteristic according to the previous definition, and by the analysis of the network structure used in the studies. Using NACE typology (Eurostat, 2008), we noted the activity sector of the anchor tenant, when present.

Spatial Range

We defined spatial range as the greater geographical distance between two actors in an IS. This indication is rarely provided in the literature. When it was not explicitly stated, we estimated this range using all the information in our possession, including online maps. The estimate is only a proxy of spatial range, which is why we chose to describe the range with spatial intervals. We used four intervals: (i) small—0 to 5 km; (ii) medium—5 to 20 km; (iii) large—20 to 50 km, and (iv) very large—over 50 km.

BE-IS

Among the selected case studies, we identified industrial symbioses including bioeconomy (BE-ISs) as ISs that included at least one exchange of organic by-product. Using this subset of case studies, we performed additional analyses. For BE-ISs, we (1) analyzed the actors involved in all known OM synergies, (2) described these synergies, to derive the different types of OM use, and (3) analyzed the role of agriculture in order to understand how agriculture interacts with other actors. From this description of synergies, we inferred the visions of BE to which they corresponded (see Section 5.1.1) and grouped them under general patterns, i.e., synergies that share the same visions. This allowed us to differentiate the synergies within BE-ISs, and to discuss their respective contribution to sustainable BE.

5.2.4. Classification : construction d'une typologie de symbioses industrielles basée sur trois dimensions constitutives

We used a typology of IS to compare the above-mentioned characteristics. To this end, we described the nature of each case study as a combination of three constitutive dimensions recognized in the literature. We noted that the terms 'self-organized', 'facilitated', and 'planned', formalized by Chertow (2007), can refer to either the course of the IS (Domenech *et al.*, 2019) or to the emergence process (Baas, 2011). For this reason, we decided to separate the two components in the description of our case studies. To refer to emergence, we differentiate symbioses initiated by (i) internal actors, (ii) external actors, and (iii) both internal and external actors (Costa et Ferrão, 2010). We refer to the governance of existing initiatives using the standard terms (i) self-organized, (ii) facilitated, and (iii) planned (Chertow, 2007). To this, we added a third dimension, namely the mode of identification of new material synergies, using Paquin & Howard-Grenville's distinction between (i) serendipitous and (ii) goal-directed synergies (Paquin et Howard-Grenville, 2012). We argue that, for our analysis, these dimensions should not be reduced to one, which could cause confusion in time scales and IS objects, even though they are not totally independent. We assessed these dimensions using rigorous questions, and separated the case studies into, respectively, three, three, and two sub-categories, as shown in Figure 34. These dimensions theoretically form 18 combinations, or "IS types", which we designated with trigram codes composed of the initial of each dimension (Figure 34), in the following order: emergence, governance, and serendipity. For instance, "IFS" refers to a symbiosis with internal emergence, facilitated governance of synergies, and serendipitous goals for the actors. We use the letter x to refer to any sub-category of a missing dimension. Due to dependencies among the three sub-categories, the following combinations cannot occur:

- Emergence processes in which actors are involved (Internal and Hybrid) exclude planned (non-participatory) governance for synergy development; thus, IPx types and HPx types (IPS, IPG, HPS, HPG) are excluded.
- Self-organization of synergies is only possible with internal emergence; thus, HSx and ESx types (HSS, HSG, ESS, ESG) are excluded.
- Planned governance excludes serendipity; thus, EPS is excluded. These dependencies leave nine possible types: ISS, ISG, IFS, IFG, HFS, HFG, EFS, EFG, and EPG.

Details on these categories and dimensions, as well as definitions, are provided in Appendix B-1.3.

Dimension	Emergence	Sub-categories	Brief definition
Question addressed	Who is the initiator of the IS?	Ixx / Internal	IS engages spontaneously
Object	Symbiosis	Hxx / Hybrid	IS comes from internal and external contributions
Time Scale	Beginning of IS	Exx / External	IS is driven by an external actor

Dimension	Governance	Sub-categories	Brief definition
Question addressed	How are the synergies designed and agreed upon?	xSx / Self-Organized	Synergies are bilateral contracts
Object	Synergies	xFx / Facilitated	Synergies emerge from a collective process
Time Scale	Current state	xPx / Planned	Synergies are engineered externally

Dimension	Serendipity	Sub-categories	Brief definition
Question addressed	What are the synergies for?	xxS Serendipitous	Synergies serve actors' interests
Object	Actors	xxG Goal-Directed	Synergies serve an overarching interest
Time Scale	Future goals		

Figure 34 : Description des symbioses industrielles basées sur trois dimensions.

5.3. Observation de schémas de synergies et du rôle de l'agriculture dans les BE-IS

5.3.1. Fréquence et caractéristiques des BE-IS parmi les SI étudiées

Figure 35 presents the characteristics we assessed to compare BE-ISs to other ISs. The notable variation among industrial symbioses indicates that our selection methodology successfully provided a diverse sample of case studies. Tableau 7 maps the selected case studies according to the typology used. The case studies fall into eight out of the nine expected types, as EFS was not observed. We cannot conclude if the absence of this type stems from the impossibility of serendipity in the context of external emergence, or if such a case, though rare, actually exists. The most common type of emergence among the selected case studies was internal emergence (53%), the most common type of governance was facilitation (57%), and 66% of the cases were goal-directed. Industrial diversity ranged from 3 to 11 different industrial sectors, with a median value of six and a mean deviation of 1.37 (Figure 35-B). Fifty percent of the IS case studies (15 cases) showed an anchor tenant structure. In these cases, the industrial sector that held the role of anchor tenant most frequently was energy (Category D in NACE; six cases). Other frequent anchor tenants were agro-industry (Category CA; three cases) and chemical industry (including pharmaceuticals and refinery, categories CD, CE and CF; three cases). Anchor tenants were more frequently represented in ISx types. Thirteen percent of symbioses were within a small spatial range (<5 km), 53% in a medium range (5–20 km), 27% in a large range (20–50 km), and 7% in a very large range (>50 km). The maximum range observed was around 200 km.

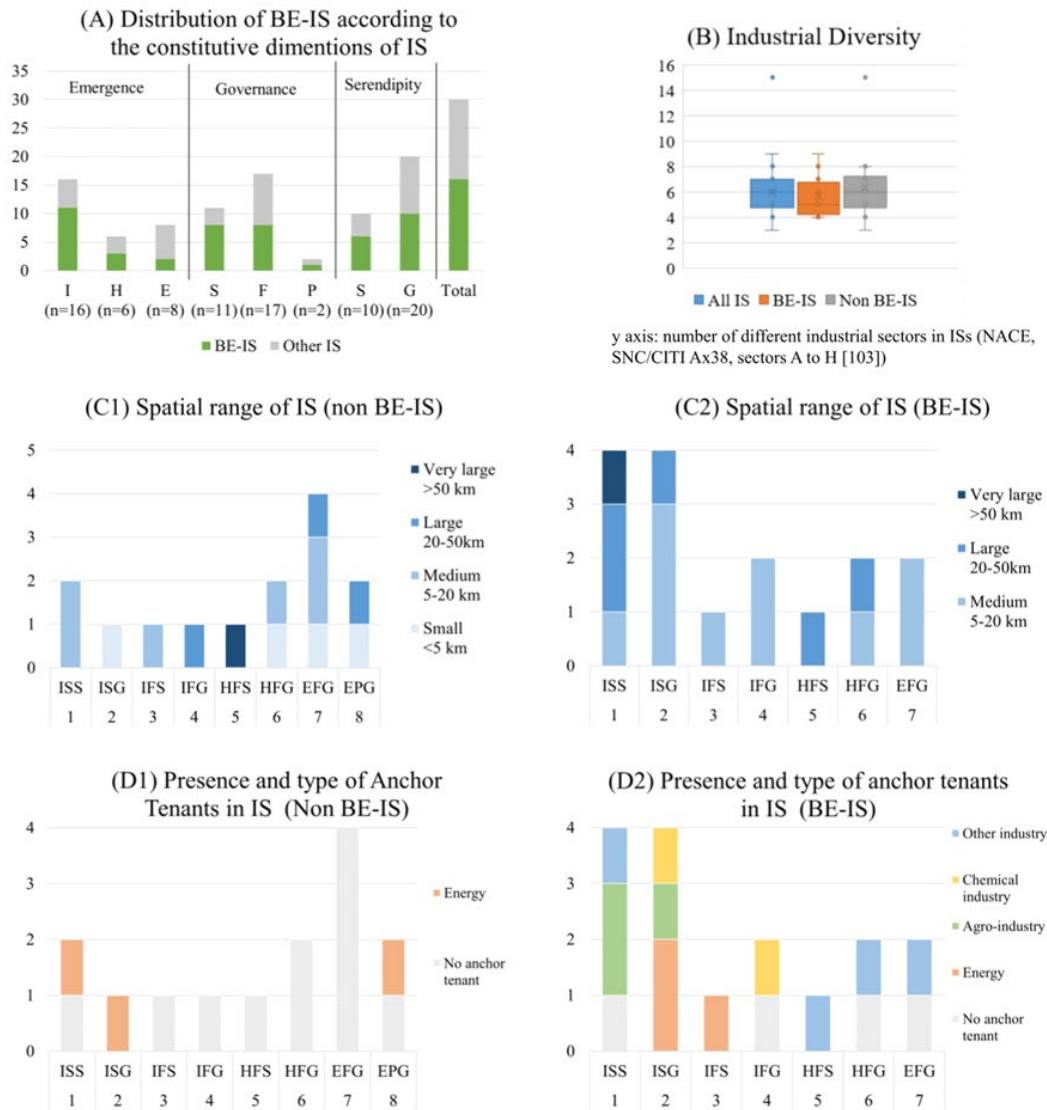


Figure 35 : Caractéristiques des SI sélectionnées d’après la classification basée sur trois dimensions (définie dans la section 5.2. (A) ; Comparaison de la diversité industrielle de tous les SI sélectionnées, des BE-IE, et des non BE-IS (B) ; Echelle spatiale des non BE-IS (C1) et des BE-IS (C2) ; Acteurs pivots dans les BE-IS (D1) et non BE-IS (D2). L’axe Y – sauf pour la figure B – correspond au nombre d’observations parmi les cas d’étude sélectionnés. Les abréviations et trigrammes sont définis dans la section 5.2.

Among the 30 selected case studies, 16 were considered BE-ISs, i.e., ISs that include at least one exchange of an organic by-product (Figure 35-A). In two cases, the available data did not allow us to conclude whether such exchanges had taken place or not. The industrial diversity of these 16 BE-ISs was 5.7, with a standard deviation of 1.27, which was not significantly different from the calculated industrial diversity of the whole set of case studies (Figure 35-B). We calculated that 63% of BE-ISs (10 cases) were in a medium spatial range, 31% (5 cases) in a large range, and the last case in a very large range. No BE-IS occurred in a small spatial range (Figure 35-C2). Seventy-five percent of BE-ISs had an anchor tenant structure. This proportion was higher than that of all case studies, especially Hxx and Exx types. Most of the ISs with an anchor tenant actually correspond to BE-ISs (12/15), including seven types of possible anchor tenant sectors (among which agro-industry, chemical industry, and the energy sector were the most frequently represented) (Figure 35-D2).

The 14 remaining non-BE-ISs exhibited contrasted features. Concerning the spatial ranges (Figure 35-C1), six ISs were in a medium range (43%), four in a small range (29%), three in a large range (21%), and one in a very large range (7%). Overall, the non-BE-ISs were, thus, generally smaller than the BE-IS. Only three non-BE-ISs had an anchor tenant (21%), all in the energy sector (Figure 35-D1). This contrasts with the high frequency and diversity of anchor tenants in BE-ISs.

5.3.2. Synergies liées à la matière organique : acteurs impliqués et usages

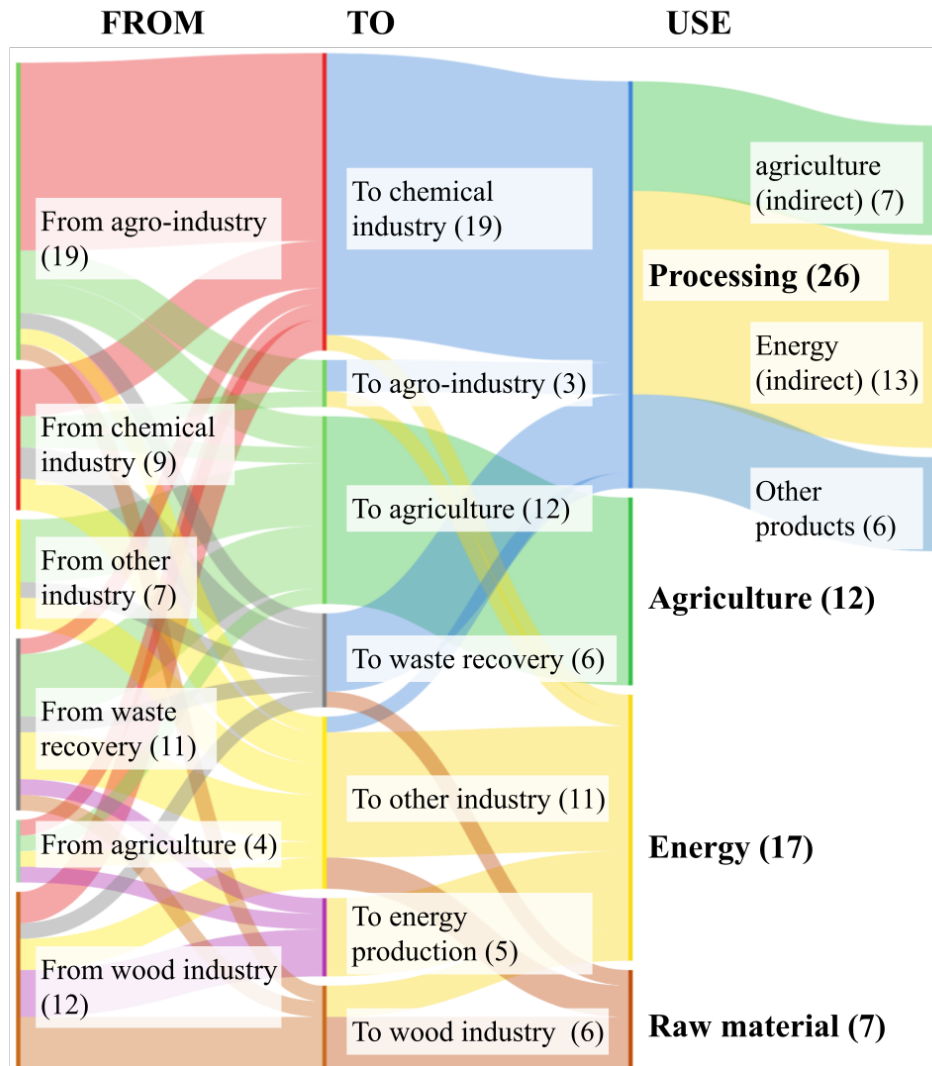


Figure 36 : Origine, destination et utilisation des PRO dans les synergies impliquant ces produits dans les BE-IS faisant partie des SI sélectionnées. La première colonne indique le producteur du PRO, la deuxième indique le receveur, la troisième indique l'usage qui est fait par le receveur et la quatrième colonne indique les usages finaux des produits créés le cas échéant. Les nombres indiquent le nombre de synergies concernées. Voir annexe B-1.2 pour le détail.

OM actors in BE-ISs fall into six main NACE categories: (i) agriculture (category A of NACE classification), including crop and livestock farming, forestry, and fishery; (ii) agro-industry (category CA), including production of food, drink, and tobacco products; (iii) wood industry (category CC), including processing of wood, paper, and carton products; (iv) chemical

industry (category CE), including the refinement of organic products to obtain alcohol or biofuels, as well as the extraction of organic molecules; (v) energy production (category D); and (vi) waste management (category E), including anaerobic digestion. Other industry sectors were also present, but to a lesser extent, e.g., CD (refinery industry) and CG (plastic, stone, and ceramic industries). Figure 36 shows the synergies observed in the case studies according to the actors involved and the uses of OM. Among these actors, we derived six types of OM uses, based on the synergies shown in Figure 4: (i) direct agricultural use; (ii) direct energetic use; (iii) use as raw material for manufacture; (iv) processing into another product ultimately destined for (iv-a) (indirect) agricultural use, (iv-b) (indirect) energetic use, or (iv-c) other products.

Synergies in which agriculture is the receiver of an organic by-product or waste can be considered a direct agricultural use of OM. These include the spreading of by-products, such as compost (British Sugar) or sludge (Kwinana), the use of unprocessed by-products as animal feed (Handelö) or insect feed (Kwinana), and mulching (HISP). Indirect agricultural uses refer to processing of by-products or waste in which the processed product is destined for use in agriculture. These include the production of animal feed (British Sugar) and fertilizer (Relvão EIP, Kalundborg). This category does not include products that could be considered waste by-products of processing in which agricultural recycling is not the primary goal—such synergies would fall under direct use. Direct use of OM for energy production implies its combustion to produce heat or electricity, which can either be used in the production process of an actor (Nanjangud) or distributed to other actors through an electrical grid (Kuusankoski). Indirect energy use corresponds to the production of energy carriers, such as biogas, bio-diesel (HISP), or alcohol (Terneuzen, Bazancourt-Pomacle). Raw material use corresponds to situations in which a manufacturing process includes OM for its intrinsic characteristics, as is the case in the production of paper (Styria), cement (Guitang), and pet food (HISP). This differs from processing into other products, in which organic by-products serve as a basis, on their own, for the creation of products, with value added through green chemistry (Bazancourt-Pomacle), separation processes (British Sugar), or oil extraction (Nanjangud).

Most of these synergies involve the processing of residual OM (indirect use). Energy provision was the main purpose of synergies, corresponding to 37% of OM use occurrences, with 27% being direct use, performed by diverse types of industries. Energy provision was followed by processing into other products (32%) and agriculture (32%, with 21% corresponding to direct use). When manufactured products contributed indirectly to agricultural or energetic use (e.g., fertilizers and biofuels, respectively), we were generally unable to assess whether their use occurred inside or outside the perimeter of the ISs. We observed many exchanges between agro-industries and chemical industries related to the processing of OM. Another important actor in processing was the waste industry, which accepts organic by-products from all types of actors. We observed some cases of within-sector valorization, i.e., recycling, within the wood industry (for instance, paper production in Styria), the chemical industry (resin separation and fermentation processes in chemical operations by British Sugar), the agro-industry (pet food made from food waste in HISP), and agriculture (farm composting and spreading in horticulture, linked to British Sugar).

5.3.3. Description de schémas de synergies bioéconomiques et de leur place dans les BE-IS

The term ‘synergy patterns’ groups synergies that share a similar vision of BE (as discussed in Section 5.1.1). Our first observation was that no synergy could be linked to a single vision of BE. Thus, the identified patterns are a combination of visions. Different patterns can co-exist within initiatives.

A wide range of practices aim to use local by-products as direct inputs, and we termed this pattern the **metabolic resource pattern**. This pattern is based on the potential to extend the use of OM to contribute to actors’ local needs, directly in line with the original goal of IS. Here, we recognize the BR-BE and BE-BE visions of BE. All direct uses of OM as matter, energy, or agricultural inputs are part of this pattern. This pattern covers situations in which agriculture provides OM to an anchor tenant industry, either as an input for processing, as a by-product (British Sugar) or as an energy carrier (Jyväskylä, Kuusankoski). Sometimes, by-products, such as slurry or sludge, are received from other local industries (Kalundborg, Kwinana). This pattern also covers the incorporation of OM in processes in which it replaces raw material (Guitang, Styria), as well as the opportunity to use co-located organic by-products for energy production (Kawasaki, Relvão). In our series of case studies, we observed a predominance of the direct use of OM (59% of direct uses) for energy production.

The second pattern we identified was the transformation of local organic by-products into higher value products. This actually corresponds to the definition that Ubando et al. used for biorefinery (Ubando et al., 2020; see section 5.1), which is in line with the purpose of BE. This pattern combines the BR-BE and BT-BE visions, as it relies on processing technologies to increase the exploitation of organic resources. This is mainly the case for energy carriers, such as alcohol (Terneuzen), biogas (Kalundborg), and biofuels (HISP). Some ISs also produce fertilizer (Relvão) or animal feed (British Sugar) whose use is not explicitly stated to be local. This pattern also includes green chemistry products (Bazancourt). In most cases, these products leave the perimeter of the ISs to join the global market, which is why we call this pattern **global biorefinery**. On the other hand, there are ISs in which processed products return, at least partially, to local actors. In this case, the use of a processed product as a local resource also fits the BE-BE vision. We thus derived a third synergy pattern that incorporates all three visions: **metabolic biorefinery**. Processed products clearly have the potential to replace raw materials, especially if they are designed to meet the local requirements of other actors, including the local use of fertilizers (Kalundborg, Guitang, Handelö) or energetic products (Handelö).

Based on these definitions, we identified the types of IS in which these patterns were present in our set of case studies (Tableau 8). The metabolic resource pattern appeared in most of the BE-ISs (14/16); namely, in all case studies with internal emergence or self-organized synergies. This pattern appears to be the most frequent and spontaneous way to integrate OM into synergies. Global biorefinery (9/16) was more frequent when external actors were involved, or when there was a facilitation process. Metabolic biorefinery was the least common pattern (6/16), and was slightly more present in ISs with internal emergence, self-organized synergies, and serendipitous actors. Tableau 8 also presents the main assets and limits of these patterns in contributing to strong sustainability, related to the role of agriculture in the symbiosis.

Tableau 8 : Présentation des schémas de BE-IS, et leur contribution – ou la menace qu’ils représentent – à la production durable de biomasse, ainsi que leur occurrence dans les cas d’étude. BR-BE, BT-BE et BE-BE se réfèrent aux visions de la bioéconomie détaillées dans la section 5.1.1. Les pourcentages indiquent la proportion de BE-IS présentant au moins un de ces schémas, en fonction de leurs dimensions spécifiques. Par exemple, 100% des symbioses ayant une émergence interne (n=11) montrent des synergies qui correspondent au schéma de ressources métaboliques, et 45% montrent des synergies avec un schéma de bioraffinerie métabolique.

<i>Pattern</i>		<i>Metabolic Resource</i>	<i>Metabolic Biorefinery</i>	<i>Global Biorefinery</i>
<i>Uses of OM</i>		Direct agricultural use, direct energy use, raw material.	Indirect use of OM, with a recipient explicitly located inside BE-IS boundaries.	Indirect use with recipients presumed to be outside BE-IS boundaries.
<i>Visions of BE</i>		BR-BE and BE-BE.	BT-BE, BR-BE, and BE-BE.	BT-BE and BR-BE.
<i>Levers for strong sustainability and sustainable agriculture</i>		Cheap recycling of nutrients. Agriculture as a resource user.	Locally adapted nutrient recycling. Agriculture defines a specific need.	Through global recycling of nutrients. Alternative production of industrial fertilizer.
<i>Limits to strong sustainability and sustainable agriculture</i>		Priority given to direct energy use. Agriculture as an outfall for waste.	Drift towards global biorefinery due to the priority given to the most valuable use. Agriculture as a provider of raw material.	Priority given to the most valuable use. Agriculture as a provider of raw material. Agriculture not involved in synergies.
<i>Presence of the pattern in BE-ISs (n = 16)</i>		88%	38%	56%
<i>Presence according to SI emergence</i>	Internal (n = 11)	100%	45%	45%
	Hybrid (n = 3)	67%	33%	100%
	External (n = 2)	50%	0%	50%
<i>Presence according to synergy governance</i>	Self-Organized (n = 8)	100%	50%	50%
	Facilitated (n = 8)	75%	25%	63%

5.3.4. Le rôle de l’agriculture

Agriculture was present in most of the BE-ISs (14/16). Our first observation was that agriculture as an actor is poorly documented, and generally appears at the periphery. In the included case studies, authors often describe agriculture very approximately, as ‘nearby farms’ (Ehrenfeld et Gertler, 1997), ‘local farmers’ (Bain *et al.*, 2010), or simply ‘agriculture’ (Pakarinen *et al.*, 2010). This vagueness makes it impossible to evaluate whether synergies with agriculture are really designed to replace local non-renewable resources. Nevertheless, we were able to identify three situations: (1) BE-ISs with no agricultural actors, (2) BE-ISs with agricultural actors not involved in synergies with organic by-products, and (3) BE-ISs with agricultural actors involved in synergies with organic by-products. Figure 37 shows these roles among the IS types.

BE-IS and the role of agricultural actors

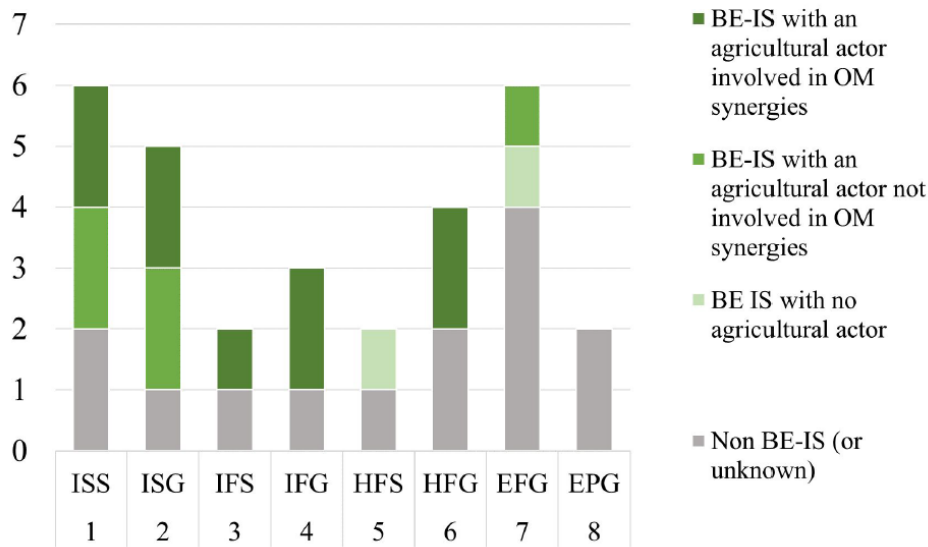


Figure 37 : Rôle des acteurs agricoles dans les cas d'étude sélectionnés, en fonction des différents types de SI. Axe y : nombre de cas d'étude observés.

In five cases, agriculture was not involved in synergies with organic by-products. This was the case when: (1) IS occurred in the context of combined heat and power production, in which forestry provided inputs for the local wood industry, the waste of which was used as inputs for the power plant (Jyväskylän, Kuusankoski); (2) IS occurred within the range of an agro-industrial anchor tenant that used local agricultural products (sugar beet or sugarcane) as inputs (Guitang Group, British Sugar); or (3) agriculture was involved in a synergy that did not involve organic matter—in this case, CO₂ (Biopark Terneuzen). In some of these cases, agriculture appeared to be a member of the symbiosis, but neither provided nor received organic by-products from other actors.

When agriculture is involved in synergies, it can either provide or receive organic by-products. In three cases, agriculture provided by-products, such as crop residues (Kalundborg) or farm food waste (Relvão EIP). Agriculture also received products (7 cases), such as locally produced fertilizer (Kalundborg), treated sludge (Barceloneta), or compost (British Sugar). Finally, synergies with agriculture involved the return of nutrients to the land in less than half the BE-ISs. Agriculture was never an anchor tenant, despite the fact that, theoretically, nothing opposes such a position in BE-IS initiatives.

5.4. Discussion et conclusion

5.4.1. La bioéconomie parmi la diversité des symbioses industrielles

Since our series of case studies did not correspond to ISs specifically intended to contribute to BE, our study reveals the trends that prevailed before the institutionalization of BE. Interestingly, even without the framework of BE, organic by-products were frequently involved in our case studies, and were present in most types of IS. This shows that, in some cases, both of

these concepts actually pursue common goals. Despite the caution needed when drawing lessons from a limited number of cases, we identified, and can comment on, specificities of BE-ISs compared to the other ISs in our sample. BE-ISs present the same industrial diversity as other ISs. We observed a marked difference regarding anchor tenants, as they are more frequent (75% of ISs) and diversified (7 different types) in BE-ISs than in non-BE ISs (21% of ISs, only one type) (see Section 5.3.1). This suggests that this structure of cooperation may enhance synergies with OM by-products. It is worth noting that the most frequent sectors in which anchor tenants are present (agro-industry, chemical industry, and the energy sector) have the potential to use OM by-products either directly or indirectly. We observed no BE-ISs within a small spatial range (< 5 km), which may be due to the fact that most BE-ISs include agriculture, a spatially dispersed sector. This may also be a sign that small IS complexes, such as eco-industrial parks (Park *et al.*, 2016), are rarely dedicated to BE. An important distinctive dimension appears to be the emergence of symbioses, as shown in Figure 3A. The proportion of BE is high in internal emergence types (11/16 cases), moderate in hybrid emergence types (3/6), and low in ISs with external emergence (2/8). This fact suggests that external actors may tend to underestimate the BE potential within ISs. This could be explained by the traditional scope of IS, which is mainly focused on the secondary production sector (Neves *et al.*, 2020). Indeed, Figure 36 shows only one exchange of by-products from the agricultural sector within the same sector, although such practices have always been common in agriculture, across time and space (Mazoyer et Roudart, 2002). Recycling agricultural residues in other agricultural activities appears to be generally beyond the scope of these IS case studies.

5.4.2. Contribution des schémas de synergies à la durabilité

What we learned from our analysis of synergy patterns is that no pattern intrinsically guarantees the sustainability of BE-ISs (see Tableau 8). The metabolic resource and metabolic biorefinery patterns can, theoretically, help promote the BE-BE vision and increase the sustainability of local production systems. Within the metabolic resource pattern, we observed that direct energy use is important. While this may be economically advantageous, this use of OM is contrary to the principles of waste hierarchy and biomass cascading (Fehrenbach *et al.*, 2017). In the same pattern, the direct spreading of organic by-products enables cheap and simple nutrient recycling, but may not enable the replacement of non-renewable resources, as it may not meet local agricultural requirements (e.g., due to the timing of availability, or the nutritional composition or concentration). Similarly, biorefinery patterns tend to prioritize the most valuable uses of organic by-products, especially when links to the local metabolism are weak. The metabolic biorefinery pattern is, theoretically, the best option for an advantageous combination of BE and IS which compensates for the flaws of the two individual approaches. By transforming organic by-products, so that they meet the requirements of local metabolisms, these synergies improve the efficiency of the system. However, we observed no such advanced symbioses in our case studies, and this pattern was the least frequent among our case studies. These elements suggest that the potential contribution of BE-ISs to local sustainable biomass production is likely undervalued by both practitioners and observers. Despite the fact that BE is often spontaneously integrated into ISs by local actors (Ixx), this integration may not promote strong sustainability.

5.4.3. Concevoir des symbioses industrielles pour intégrer l'agriculture comme acteur central

As shown in 5.1.5, agriculture appears to be a cornerstone of sustainable BE-ISs. The examination of our selected case studies revealed the ambiguous and minor role of agriculture in current practices. Agriculture is present in most of the BE-ISs cases, and benefits from numerous synergies (Figure 36), but at the same time may not be involved in synergies (see Section 5.3.4). We observed that the situations in which agriculture is present, but not actually involved in synergies, mainly belong to Ixx types, and sometimes to ISx types (Figure 37). This suggests that, despite the fact that internal emergence is, theoretically, more likely to include agriculture, the synergies with residual OM are focused on the secondary sector, rather than on nutrient cycling. This shows that the apparently satisfactory incorporation of BE into classical IS case studies actually masks a more contrasted and ambiguous situation. Agriculture could be considered a global market opportunity, which could help source replacement resources outside the range of the IS. It could also be considered a convenient outlet for the disposal of by-products, as suggested by some opportunistic uses of OM in the metabolic resource pattern (see 5.3.3). The fact that agriculture never holds the role of anchor tenant shows that, so far, its synergy potential remains undervalued in IS development. One possible explanation is that agriculture is decentralized and involves many small-scale economic activities; thus, its activity is much more difficult to describe at a regional scale, as well as to mobilize and govern, than concentrated industrial activities. Investigations of how to integrate such decentralized actors in a synergy process are still in their infancy (Wassenaar et Queste, 2014).

5.4.4. Implications pour les chercheurs et les promoteurs

For IS researchers and designers, our observations imply that efforts should be made to consider the specific role of OM inside existing ISs, and to develop new ISs in which this role is considered able to achieve strong sustainability. This would require engaging actors that are not usually involved in ISs (i.e., farmers through delegations), and to consider the management of nutrient-rich organic material flows, if not as a priority, at least as one synergy among others. It is important to foster initiatives that explicitly aim to include these flows in regional symbiotic management, as they have not been observed to emerge either spontaneously or externally. However, it should be noted that, despite recent conceptual advances (Harder *et al.*, 2021a), tools for the design and evaluation of the technical performance of OM synergies are still lacking. This stems from the fact that BE embeds multiple and intricate stakes, which raises complex epistemological questions (Wohlfahrt *et al.*, 2019b).

5.4.5. Conclusions

Our analysis of 30 case studies shows that industrial symbioses (ISs) already contribute, to some extent, to the bioeconomy (BE). We observed that the characteristics of some industrial symbioses including bioeconomy (BE-ISs), differ markedly from the characteristics of other ISs, namely in their range and the presence of anchor tenants. Despite this trend, the synergy patterns we identified reveal that the contributions of IS to BE does not guarantee a path towards strong sustainability. Our results also suggest that IS practitioners undervalue both the potential of BE and the need to integrate agriculture into ISs as an activity of high synergistic potential. Enhancing sustainability through BE-ISs requires a change in the perception of IS, to ensure that

equal attention is paid to synergies within the primary sector, as opposed to the traditional focus on the secondary sector.

Our observations allowed us to make some recommendations for researchers and practitioners willing to foster sustainability through the development of BE-ISs. In this case, we recommend (1) broadening the general IS framework to pay more attention to agricultural actors and their synergistic potential for sustainable biomass production, (2) dedicating particular efforts to initiating ISs that include local nutrient recycling for agriculture, and (3) studying the specific challenges associated with this new form of IS. These challenges include, for instance, the involvement of decentralized agriculture actors such that they assume a role similar to an anchor tenant; selection of a spatial and sectoral perimeter that favors the involvement of agriculture; the initiation of such synergies; and building trust between agricultural actors and other traditional IS actors. Our work also underlines the importance of further research on how an industrial symbiosis, dedicated to sustainable bioeconomy, can be initiated in an area with known synergistic potential. Knowledge of common synergy patterns is crucial to lay the foundations for a new type of ISs, as a plausible promise to engage actors in collaborative action (Douthwaite *et al.*, 2001).

5.5. Introduction de la notion de système-territoire basée sur l'observation des cas d'étude

Dans la partie expérimentale sur la plaine de Versailles, il sera indispensable de délimiter, *ex ante*, le territoire d'une symbiose territoriale bioéconomique qui n'existe pas encore. Au-delà des aspects détaillés dans l'article exposé précédemment, nous nous sommes également intéressés à la manière dont, dans chacun des cas étudiés, était considérée la question des « frontières » des symbioses industrielles, autrement dit la manière dont pouvait être défini leur territoire. Nous montrons dans cette partie comment ces différentes frontières s'accordent avec la littérature existante sur la définition du territoire, notamment en symbiose industrielle (cf. Chapitre 1), pour introduire la notion de système-territoire qui sera utilisée dans la partie expérimentale.

Définition du territoire *ex ante*

Le corpus théorique associé à la définition du territoire en écologie industrielle, développé dans la section 1.2.3 du Chapitre 1, donne d'importantes clés pour lire les démarches existantes (Cerceau, 2013), mais reste abstrait en ce qui concerne la délimitation d'un territoire en amont d'une symbiose territoriale dans le cas où celle-ci n'existe pas encore. Dans l'étude préalable de la faisabilité et de la pertinence de synergies, il n'est pas particulièrement pertinent de s'arrêter à des frontières bien délimitées telles que des périmètres administratifs (Gibbs et Deutz, 2007), bien que ce soit une pratique courante (Farel *et al.*, 2016). Les gisements de PRO, les potentiels de valorisation, de même que les systèmes d'organisation et de représentation des acteurs ne s'arrêtent pas à ce type de frontières préétablies. L'enjeu de la définition du territoire consiste donc à proposer des éléments permettant à l'acteur initiateur – ou observateur – de concevoir les frontières du système au sein duquel une symbiose territoriale serait pertinente. Sterr et Ott développent l'idée que le territoire idéal d'une symbiose industrielle relève d'un compromis (voir Figure 38). Selon eux, « la 'bonne taille' est la taille minimale permettant que les sous-produits soient transformés en matière première désirée, pour boucler les flux de matière de manière

adéquate » (Sterr and Ott, 2004, p.956). Ils remarquent que, plus l'espace de synergie augmente, plus le potentiel technique est important, mais qu'en revanche, plus les liens sociaux sont distendus. Afin de donner des éléments pour résoudre ce compromis, cette partie se déroule en deux temps. Dans la section 5.5.1, nous passons en revue et catégorisons la manière dont est défini le territoire dans les cas étudiés. Dans la section 5.5.2, nous proposons, sur la base de ces exemples et de la littérature détaillée au Chapitre 1, des éléments méthodologiques de détermination d'un territoire en amont d'une symbiose.

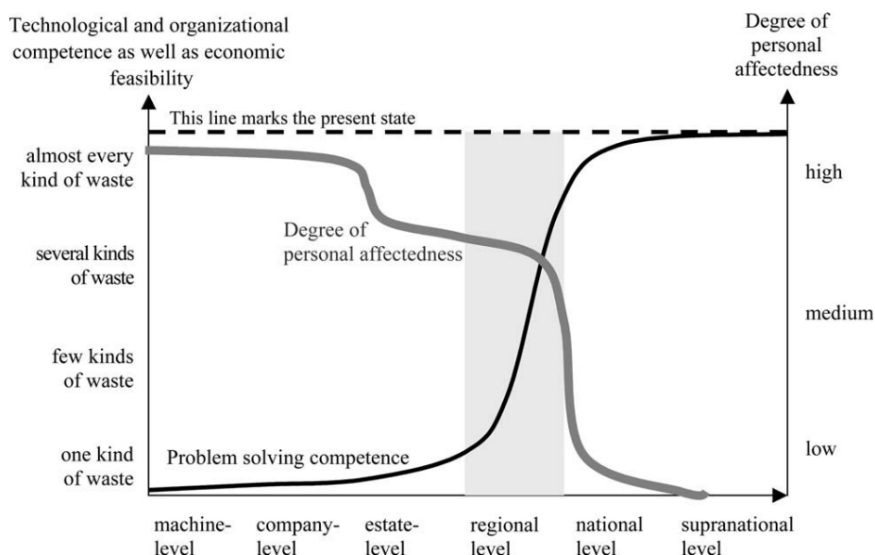


Figure 38 : Illustration du compromis territorial issu de Sterr et Ott (2004).

5.5.1. Délimitation et frontières des symbioses industrielles

Nous avons analysé la façon dont le territoire a été défini dans les cas d'étude présentés dans ce chapitre (section 5.2.1). Pour cela, nous avons identifié qualitativement les éléments permettant de distinguer, dans cette littérature, l'intérieur de l'extérieur des symbioses, une délimitation que nous appelons **frontières**. Les frontières matérialisent des limites théoriques qui définissent les contours de la symbiose industrielle. Elles peuvent être plus ou moins souples ou rigides, selon la facilité avec laquelle des acteurs en dehors de ces frontières peuvent malgré tout rejoindre le réseau de synergies. Elles sont parfois implicitement ou explicitement fixées par l'acteur coordonnant la démarche, mais peuvent également apparaître dans des démarches auto-organisées du fait des dynamiques du système d'acteurs, soumis à de nombreux leviers et freins à des échelles collectives et individuelles (Tudor *et al.*, 2007). La description proposée ne prétend pas être exhaustive, et n'est que le reflet de la description bibliographique des cas d'étude sélectionnés. Les frontières ainsi identifiées correspondent moins aux limites réelles des symbioses qu'à la représentation de ces limites par leurs observateurs. D'autres limites moins explicites existent probablement. Dans les cas d'étude, quatre types de frontières ont été identifiées : spatiales, sociales, techniques et temporelles. Cette section présente la manière dont ces frontières interviennent dans les cas d'étude.

Catégorisation des frontières⁷⁸

Les **frontières spatiales** sont les plus explicites et les plus évidentes à déterminer. Lorsqu'elles sont présentes, elles peuvent correspondre à une délimitation foncière, ou à un périmètre administratif politique. Ces frontières peuvent être particulièrement rigides dans certains cas, notamment dans des contextes insulaires où l'espace est physiquement délimité (Sicily), ou encore dans un contexte de zonage foncier. Ce cas correspond par exemple aux symbioses industrielles présentes à l'échelle de zones d'activités (Kwinana, Gladstone, Ulsan, TEDA, Fort Devens, Porto Marghera, Relvao, NRIE, Santa Cruz, Paracambi), ou de zones administratives (HISP, WMISP, Kawasaki). Dans d'autres cas où les frontières sont plus souples, les synergies existantes au sein d'un certain site délimité s'établissent en parallèle d'un réseau d'échange à un échelle plus large, dépassant le site (SYIA, Campbell, Deux Synthe). Même si toutes les symbioses industrielles s'inscrivent dans un espace fini, la délimitation de frontières spatiales n'est pas systématique. C'est par exemple le cas pour des synergies se développant autour d'une industrie particulière (Jyväskylä, Nanjangud), ou de synergies dont l'ancrage géographique n'est pas défini de manière précise (Kalundborg, Stirya).

Les **frontières sociales** font référence aux groupes d'acteurs étant admis ou exclus des synergies. Dans les cas d'étude évalués, il est possible de distinguer une logique d'adhésion et une logique de sélection. Dans les frontières sociales liées à l'adhésion, les synergies sont uniquement possibles entre des entreprises adhérentes d'une même structure fédérative. Ce cas apparaît, par exemple, lorsque les symbioses industrielles sont coordonnées par des associations d'entreprises ou de parties prenantes (Kwinana, Rotterdam, Porto Marghera, Bazancourt). Dans une modalité rigide, les acteurs hors de ces structures ne peuvent faire partie du périmètre de synergie à moins d'en devenir membre, s'ils en ont la possibilité. Un autre type de frontière sociale s'établit par la sélection effectuée par un acteur coordinateur ou animateur. Dans le cas des symbioses facilitées, les acteurs invités à se joindre aux réflexions ou à entreprendre des synergies entre eux appartiennent au périmètre de sélection de l'acteur qui formule cette invitation (HISP, Relvao, NRIE, Paracambi, Kawasaki, Deux Synthe).

Certaines démarches sont délimitées par des **frontières techniques**, qui se matérialisent soit par la focalisation sur des projets, soit par la focalisation sur certains flux. De tels projets peuvent être déterminés à l'avance par une planification stratégique (Relvao, Rotterdam), ou être issus d'une étape de priorisation effectuée par les acteurs des symbioses industrielles (Kwinana, HISP, Kawasaki). La focalisation sur des projets entraîne un cadrage thématique sur ceux-ci, et diminue l'intérêt pour les synergies hors de ce cadre. Par ailleurs, la symbiose industrielle peut être orientée vers un secteur industriel, un flux ou un produit spécifique, ce qui tend à limiter la symbiose aux possibilités techniques liées à ce flux. (Bazancourt, Terneuzen).

Enfin, des **frontières temporelles** peuvent être identifiées, de nature économique ou politique. Les frontières temporelles économiques renvoient à la dépendance temporelle du système économique. Il s'agit par exemple de la durée définie dans des contrats bilatéraux (Kalundborg), ou du temps de retour sur investissement des technologies (Jyväskylä). Ces dépendances impliquent la stabilité des synergies durant une certaine période, et donc l'impossibilité durant ce laps de temps de créer d'autres synergies avec la matière déjà mobilisée.

⁷⁸ Les symbioses industrielles dont il est fait mention dans cette section sont celles qui ont été présentées dans l'article précédent, à la section 5.2 (voir Tableau 7).

Cela restreint donc les évolutions possibles du système ou la nature des acteurs pouvant être impliqués. Rarement mentionnées, de telles frontières peuvent supposément être présentes dans toutes les symbioses industrielles. Les frontières temporelles politiques sont liés aux programmes de soutiens politiques directement ou indirectement liés à la symbiose industrielle. Certains projets, par exemple, sont explicitement séquencés selon des phases politiques (Rotterdam, Ulsan), ou dépendent de subventions (NRIE, Santa Cruz) qui sont parfois subitement coupées (Paracambi).

Observation dans les cas d'étude

En se basant sur ces définitions, il est possible d'évaluer quelles frontières sont présentes dans les différents cas d'étude. La plupart présentent au moins une frontière (80%), la frontière spatiale étant la plus fréquente (57%). Les frontières temporelles et sociales apparaissent dans 33% des cas et les frontières techniques dans 23%. Il est plus fréquent d'observer des frontières rigides que des frontières souples. Ces résultats sont représentés par la Figure 39. La Figure 39-1 permet de constater que les BE-IS ont moins de frontières spatiales et temporelles, mais plus de frontières techniques que les autres symbioses. Cela suggère que l'absence de délimitation spatiale stricte est plus favorable à des synergies impliquant la matière organique. La fréquence accrue d'une délimitation technique va dans le sens des conclusions de l'article (voir 5.4), car elle suggère que la plupart des BE-IS ont fait l'objet d'une stratégie de développement dédiée. La Figure 39-2 représente le nombre de frontières listées en fonction de la typologie de symbioses industrielles établie. On y observe que plus les symbioses sont encadrées par des acteurs externes (émergence externe, facilitation, planification), plus il est possible d'identifier de frontières explicites. Cela illustre le fait que ces acteurs exercent un réel cadrage sur ces démarches, qui n'englobe d'ailleurs pas souvent les possibilités de valorisation des PRO, comme le montrait la section 5.3.

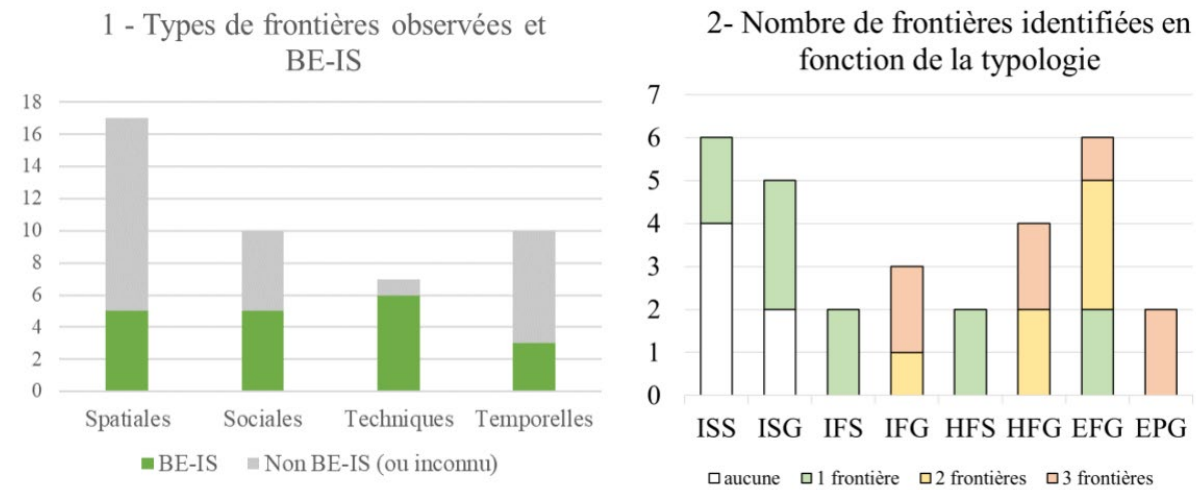


Figure 39 : Frontières identifiées dans les cas d'étude. (1) Représentation dans les BE-IS. (2) Représentation dans la typologie établie à la section 5.2.4.

5.5.2. Délimiter un système-territoire

En se basant sur les frontières identifiées au sein des cas d'étude, nous proposons à présent de formaliser une manière de les agencer pour définir le territoire d'une symbiose territoriale *ex ante*. La délimitation d'un tel territoire intègre à la fois des caractéristiques de son état actuel, mais également une projection du développement territorial entrepris au cours de la symbiose. Dans son état actuel, il comprend des acteurs de différents niveaux de proximité, pouvant être géographique, organisationnelle et institutionnelle (Beurain et Brullot, 2011) (voir Chapitre 1, section 1.2.3). Dans l'état futur projeté, le territoire d'une symbiose territoriale intègre des opportunités de synergies, qui se déroulent dans une dimension matérielle mais également organisationnelle et idéale (Cerceau *et al.*, 2014a) (voir Chapitre 1, section 1.2.3). Selon une lecture néo-institutionnelle, la réalisation de ces synergies nécessite à la fois des actions d'ordre 1 et des actions d'ordre 2 (Holm, 1999) (voir Chapitre 3, section 3.2, notamment Figure 26). Dans l'analyse de cas d'étude au sein de systèmes portuaires, Cerceau *et al.* (2018) distinguent différents types de territoires, selon leur niveau de projection stratégique et selon trois dimensions d'espaces. Cette analyse décrit trois niveaux spatiaux distincts : le port, la ville portuaire et le réseau d'interactions. Cette distinction entre **site** et **réseau** se révèle particulièrement pertinente pour lire le territoire des symbioses existantes. Elle se retrouve dans les cas d'étude, respectivement au travers des frontières spatiales et sociales. Ces deux modes de délimitation des symbioses industrielles ne s'opposent pas, mais correspondent à deux niveaux distincts associés à des types de proximités différents. Ils jouent un rôle complémentaire dans le développement d'une symbiose territoriale. Par ailleurs, les frontières techniques, souvent présentes dans les symbioses bioéconomiques, représentent un troisième niveau de proximité, qui relie les actions entreprises à des **enjeux**. Un enjeu lié à la problématique de thèse, par exemple, serait la résorption de la rupture métabolique territorialisée. Le fait d'associer un territoire à des enjeux spécifiques implique que sa définition est particulièrement dépendante de la personne qui formule ces enjeux. L'initiateur, ou observateur, en délimitant le territoire, délimite un système associé à la résolution de ces enjeux, ou plutôt un ensemble de composantes appelées à se constituer en système afin de répondre aux enjeux (Ison, 2008). C'est cette dualité entre système arbitraire défini pour répondre à des enjeux, et territoire multidimensionnel composé de plusieurs niveaux de proximité qui nous amène à proposer la terminologie de **système-territoire** pour définir *a priori* le territoire d'une symbiose industrielle⁷⁹. Les éléments d'un tel système sont schématiquement représentés sur la Figure 40.

⁷⁹ Notons que le mot « système », ici associé au territoire, ne signifie pas que le territoire *est* un système, fait qui peut être considéré comme un acquis de la littérature. Il signifie plutôt que, dans la conception d'une symbiose territoriale, le territoire *se délimite par* le système au sein duquel peuvent se résoudre les enjeux de l'acteur initiateur.

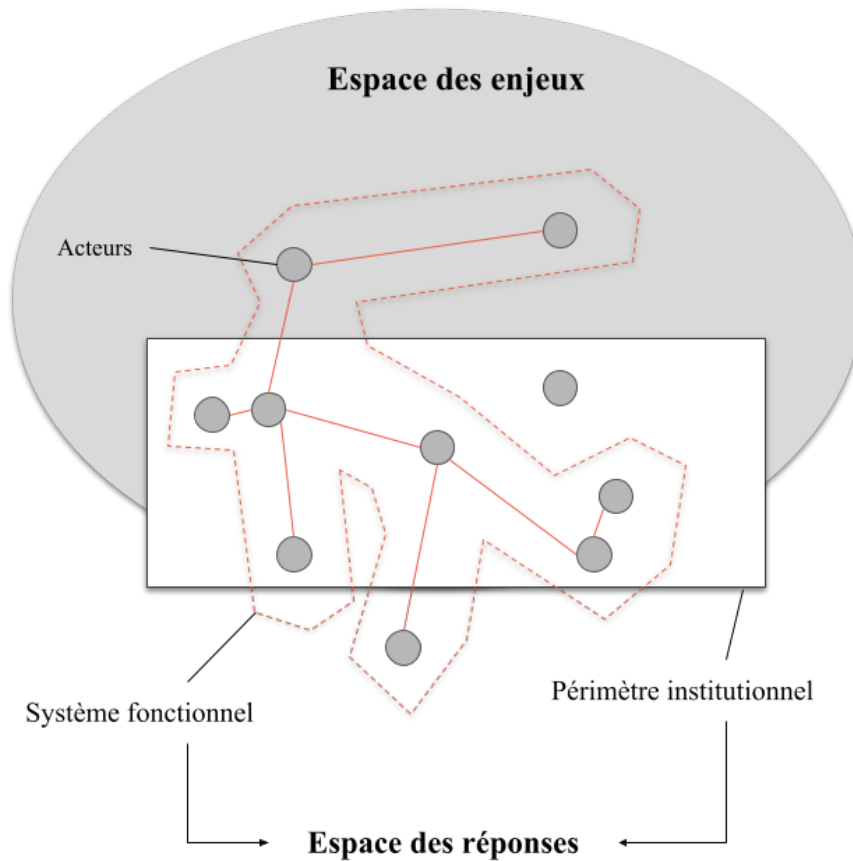


Figure 40 : Illustration des différents éléments constitutifs d'un système-territoire permettant de concevoir le territoire d'une symbiose industrielle.

Un périmètre délimité

L'association de la symbiose territoriale à un espace explicitement délimité peut sembler contre-intuitive. Comme évoqué précédemment, les actions à entreprendre peuvent rarement se restreindre à un tel périmètre, qui correspond avant tout à une proximité géographique. Il existe d'ailleurs de nombreux exemples de symbioses qui émergent et se développent sans se baser sur un tel élément. Pour autant, dans la conception *a priori* d'une symbiose territoriale, c'est-à-dire dans la situation où il existe un acteur tiers qui souhaite initier une démarche (cas d'une symbiose externe ou hybride : Hxx ou Exx⁸⁰), l'identification d'un périmètre est utile, voire nécessaire, à condition de ne pas s'y restreindre. Cela est souligné par deux arguments : le premier est d'ordre méthodologique dans la réalisation d'une étude du métabolisme territorial, et le second est d'ordre opérationnel dans la mise en œuvre concrète d'une action collective. Premièrement, afin d'étudier un métabolisme, il est nécessaire de tracer une frontière pour comptabiliser tous les flux qui franchissent cette frontière. (Deboutière et Georgeault, 2016). Dans les phases de diagnostic et d'études préalables souvent réalisées pour de tels projets, cet exercice permet d'évaluer le potentiel de symbiose sur des aspects quantitatifs. Il est donc d'usage de délimiter explicitement un tel espace. Dans les situations où les enjeux sont peu explicites, la réalisation d'une telle étude préalable pourrait permettre de mieux formaliser le potentiel, et donc favoriser la mobilisation

⁸⁰ Pour rappel, ces trigrammes sont introduits dans la section 5.2.4

des acteurs⁸¹. Cependant, l'utilité première d'un espace délimité provient plutôt de la nécessité de l'implication d'un acteur légitime et compétent sur une certaine unité spatiale pour la mise en œuvre d'un projet de symbiose territoriale. A ce sujet, Beurain et Brulot notent la chose suivante : « (...) *le choix du territoire le plus pertinent pour initialiser un projet d'écologie industrielle est intimement lié au périmètre juridico-administratif à l'échelle duquel l'acteur porteur ou initiateur de la démarche exerce son pouvoir politique ou économique, principalement pour des raisons d'efficacité de l'action.* » (Beurain et Brulot, 2011, p.336). Cette dimension est donc essentielle dans la coordination d'actions de second ordre, c'est-à-dire d'actions de structuration, définition et institutionnalisation d'un cadre d'action collective. Un espace délimité est pertinent lorsqu'il traduit une dimension organisationnelle, qui jouera potentiellement un rôle clé dans la symbiose territoriale. Notons cependant que cette idée prend pour hypothèse que l'initiateur est un acteur disposant d'un pouvoir à l'échelle d'un périmètre délimité. Elle est souvent vérifiée dans le cas des symbioses non auto-organisées, lorsque l'acteur public – par exemple, une communauté de communes – est moteur dans la mise en œuvre de projets, mais cette configuration n'est pas la seule possible. Dans une situation différente, rien n'indique qu'une telle délimitation reste pertinente, même si, du moment où la démarche est accompagnée par un acteur externe, la spatialité de cet acteur sera déterminante. La réduction d'un territoire à un seul espace délimité est dans tous les cas insuffisante pour définir un système-territoire.

Un réseau fonctionnel

Dans le même article, Beurain et Brulot complètent : « (...) *l'échelle la plus pertinente de l'action correspondra au territoire construit par les processus de coordination des acteurs du réseau. Celui-ci peut être défini comme un espace fonctionnel (...)* » (*ibid.*). Les auteurs illustrent ici de manière très parlante la distinction entre l'espace dans lequel est initiée l'action et l'espace dans lequel elle se déroule concrètement. La spatialité réelle d'une démarche est définie par l'ensemble des interactions entre les acteurs impliqués dans les actions d'ordre 1, avant tout guidées par un aspect fonctionnel (Nahrath et al., 2009, p.6). Ce réseau d'acteurs, liés par une proximité organisationnelle, traduit le fonctionnement matériel du territoire. Les synergies qui peuvent émerger au cours d'une symbiose industrielle correspondent à la réalisation d'un potentiel technique ou organisationnel préexistant au sein d'un tel réseau, qui ne se restreint pas à l'espace délimité fixé par l'initiateur. Dans ces démarches, le territoire constitue donc un paramètre évolutif qui est construit au cours du processus de SI (Cerceau *et al.*, 2018). Il peut s'appuyer initialement sur un périmètre juridico-administratif, mais représentera à terme un espace fonctionnel – le système-territoire – sans frontières strictes, reprenant l'idée du compromis territorial développé par Sterr et Ott (2004). Cependant, un tel réseau d'acteurs n'existe pas dans l'absolu et indépendamment du projet de symbiose territoriale. L'espace délimité et le réseau d'interactions restent donc insuffisants pour définir le territoire a priori d'une symbiose, tant que les enjeux de cette symbiose n'ont pas été spécifiés.

⁸¹ La partie expérimentale de la thèse a précisément pour objectif d'identifier l'importance de ce type de connaissance dans l'initiation d'une symbiose territoriale

Un espace d'enjeu

L'identification du réseau fonctionnel *ex ante* nécessite d'avoir déjà défini la fonction de ce réseau et, du moins partiellement, les évolutions qui peuvent y être entreprises. C'est pourquoi le territoire se définit nécessairement en tant que système accomplissant – ou pouvant potentiellement accomplir – une fonction. La détermination d'une telle fonction ne peut être qu'un choix effectué par l'initiateur/observateur : il y a un intérêt pour *un* système en particulier car, aux yeux de cet observateur, il représente un *enjeu*. Cet enjeu n'est pas nécessairement attaché à un périmètre délimité, ni même au réseau d'acteurs qui contribuent à le définir. Un exemple simple d'enjeu est celui de la criticité de la ressource en eau, pour reprendre le cas de Kalundborg (Valentine, 2016). Notons également que cet enjeu est spatialisé, de sorte que **l'espace des enjeux** ne coïncide pas nécessairement avec **l'espace des réponses** défini par le périmètre délimité et son réseau d'acteurs. Par exemple, la pollution d'un cours d'eau (espace d'enjeu) implique une action des acteurs situés en amont de ce cours d'eau (espace des réponses). Cette distinction est représentée sur la Figure 40. L'initiation d'une symbiose industrielle nécessite donc d'identifier un espace d'enjeu qui permette la réalisation de ce potentiel. Nous voyons ici le paradoxe et la complexité de définir cet espace *a priori*. Pour construire un projet autour d'un système-territoire, il faut que l'enjeu qu'il représente soit reconnu par les parties prenantes. Il s'agit d'un des objectifs majeurs de la promesse plausible. Cette reconnaissance nécessite de bâtir un espace de représentation commun, identitaire, qui peut se baser ou non sur une culture commune déjà préexistante. La construction d'une telle représentation correspond à la création de proximité institutionnelle, qui est essentielle dans une symbiose industrielle (Beaurain et Brulot, 2011).

Synthèse : trois dimensions clé à délimiter

Le système-territoire, outil nécessaire pour délimiter un projet de symbiose territoriale en amont de sa réalisation, repose sur trois dimensions clé synthétisées par le Tableau 9 et illustrées par la Figure 40 : un périmètre délimité, un réseau d'acteurs et un espace des enjeux. Déterminer un système-territoire requiert d'identifier un système correspondant à la fois à une réalité existante et à un état futur possible de la réalité. Le système-territoire matérialise le cadrage effectué par l'acteur initiateur en explicitant les frontières préétablies de la symbiose territoriale, qui seront véhiculées par la promesse plausible. Cet assemblage de frontières définit donc le système d'acteurs pertinent à qui il est pertinent de formuler cette promesse plausible. Etant donné le niveau d'incertitude inhérent à cet exercice, les frontières en question se doivent de rester souples, c'est-à-dire ouvertes à une redéfinition lors de la concertation.

Chapitre 5

Tableau 9 : Les trois dimensions du système-territoire proposées, sur base de la littérature et de l'analyse de cas d'étude

	<i>Périmètre délimité</i>	<i>Réseau d'acteurs</i>	<i>Espace des enjeux</i>
<i>Définition</i>	Périmètre délimité au travers duquel l'action peut être organisée. (exemple : communauté de communes)	Système technique fonctionnel au sein duquel sont mises en œuvre les synergies (réseau d'acteurs)	Espace des enjeux , autour desquels se mobilise l'action collective (exemple : rivière polluée)
<i>Type de proximité territoriale</i> (Beurain et Brulot, 2011)	Proximité géographique	Proximité organisationnelle	Proximité institutionnelle
<i>Frontières à délimiter</i>	Frontières spatiales	Frontières sociales	Frontières techniques
<i>Dimension clé pour la symbiose territoriale</i> (Cerceau et al., 2014a)	Dimension organisationnelle	Dimension matérielle	Dimension identitaire
<i>Niveau d'action dans la symbiose territoriale</i> (Holm, 1999)	Ordre 2	Ordre 1	Ordre 2
<i>Utilité de la délimitation</i>	Etude du métabolisme territorial ; Périmètre représentant un pouvoir d'action	Détermination d'acteurs pertinents impliqués dans le métabolisme, même en dehors du périmètre délimité	Définition d'un objectif commun comme point de focalisation
<i>Exemples de cas d'étude intégrant ce type de frontière</i>	Synergies centrées sur mais ne se limitant pas à une plateforme industrielle : Relvao SYIA	Identification d'acteurs pertinents par les animateurs : HISP NRIE	Symbiose thématique (Terneuzen) ou focalisée sur des projets (Rotterdam)

Chapitre 6. Formalisation et étude des promesses plausibles et mythes rationalisés dans des démarches d'écologie industrielle et territoriale

Résumé

Dans une symbiose industrielle, un acteur initiateur confronté à une situation agit pour engager d'autres acteurs dans une action – ou réponse – collective visant à traiter cette situation. La théorie des mythes rationalisés, développée dans le Chapitre 3, intègre ce couplage situation-réponse⁸². Nous avons également montré que ceux-ci se situaient au cœur des promesses plausibles, qui peuvent être considérées comme des discours performatifs. Cependant, ce cadre théorique n'a encore jamais été appliqué à l'action collective telle qu'elle se traduit dans les symbioses industrielles. Malgré leur place centrale dans les théories néo-institutionnelles et de l'innovation, ni la promesse plausible, ni les mythes rationalisés n'ont bénéficié d'une définition permettant de les étudier et de comparer leurs éventuelles différentes formes. L'objectif de ce chapitre est de formaliser ces théories en les appliquant à des situations réelles de symbioses industrielles, afin de vérifier leur pertinence et de mieux comprendre les dynamiques d'action collective au sein de ces symbioses. Pour cela, l'observation de symbioses industrielles au travers de la littérature telle que réalisée au Chapitre 5 est insuffisante. Des entretiens ont donc été réalisés avec des facilitateurs de telles démarches, afin d'analyser l'ensemble des discours qui les accompagnent. Ces analyses se basent sur 14 cas d'étude de démarches d'écologie industrielle et territoriale (EIT), considérées comme des objets se rapprochant des symbioses territoriales. Cette analyse permet de caractériser les différents mythes rationalisés selon deux dimensions : le niveau de prospective temporelle et la qualité de définition des enjeux. Elle montre que les mythes rationalisés évoluent au cours des démarches d'EIT, et qu'un nombre important de discours se rattache à des enjeux long terme et mal définis – que nous avons regroupés sous le terme d'idéographes – terme également évoqué au Chapitre 3, section 3.3.2. Elle montre de plus

⁸² Notons ici que nous nous écartons de la définition donnée par Queste (2016) en français, rappelée en Partie I, en remplaçant le mot « problème » par « situation » et « solution » par « réponse ». Nous avons déjà eu l'occasion d'aborder la pertinence de la première distinction au Chapitre 4, et plus d'éléments concernant la seconde seront donnés dans ce chapitre (section 6.3.2).

que la promesse plausible, telle que nous l'avons formalisée, n'intervient pas uniquement au démarrage d'une démarche, mais également tout au long de celle-ci, ce qui conduit à proposer une modification du cadre « follow-the-technology » de Douthwaite (voir Chapitre 1, section 1.4).

Structure

Le texte des sections 6.1 à 6.4 correspond au texte publié dans un article en anglais dans la revue *Resources, Conservation & Recycling Advances*⁸³ (Bijon *et al.*, 2022a). Cet article réalise une étude descriptive des démarches, et se consacre principalement à caractériser l'élément central des promesses plausibles : les mythes rationalisés. Il ne développe en revanche que peu les aspects dynamiques qui ont aussi été analysés et interprétés grâce aux données recueillies. Cette analyse est présentée dans la partie 6.5. Les résultats présentés à l'*international conference on resource sustainability (icRS)* sont synthétisés dans l'Encadré 6 en fin de chapitre.

6.1. Définition des promesses plausibles et mythes rationalisés dans le cadre des démarches d'EIT, et objectifs de l'étude

The development of industrial symbiosis initiatives (IS-Is) has attracted considerable academic attention (Chertow, 2000, 2007 ; Ehrenfeld et Gertler, 1997) and dissemination worldwide in recent decades (for a review, see Neves *et al.*, 2020). Beyond the local scope of such initiatives, such attention favors their contribution to global change (Brullot *et al.*, 2017). However, initiating and supporting these initiatives remains laborious and uncertain (Abitbol, 2012), and sometimes results in their decline (Mannino *et al.*, 2015). Industrial ecology studies have reported on the factors that limit or foster IS-Is (Henriques *et al.*, 2021 ; Tudor *et al.*, 2007) by focusing on organizational perspectives (Walls et Paquin, 2015) or enabling tools (Yeo *et al.*, 2019), but little attention has been paid to the mechanisms behind enrollment in these actions (Spekkink et Boons, 2016). Consequently, little is known about why actors are willing to engage with the initiators of IS-Is and remain involved. This knowledge is critical in situations where the actors do not initially share an explicit concern (Berthet, 2013), which is frequently the case in facilitated IS (Abitbol, 2012). What is more, some situations have significant potential of synergies, but implementation strategies remain to be conceived (Bijon *et al.*, 2022b).

In this paper, we explore how the concept of plausible promise (PP) (Douthwaite *et al.*, 2001) and more specifically the notion of rational myth (RM) (Queste, 2016) offer tools to analyze IS-Is and to improve the understanding of their initiation and development in France. We performed a qualitative analysis of 14 French IS-Is to explore the new theoretical and operational possibilities offered by these concepts. The knowledge we obtained should help practitioners and decision makers to facilitate the initiation of new IS-Is, or to maintain existing initiatives.

⁸³ Les verbatim de l'article, traduits en anglais et donnés en annexe pour la publication, ont été dans ce manuscrit insérés dans le corps de texte en version originale.

6.1.1. Symbioses industrielles

Implementation of IS worldwide brought about a wide range of different situations that are difficult to describe in an integrated framework (Boons *et al.*, 2016). To understand these practices, it is necessary to go beyond the classical picture of co-located pipe-connected industries like the well-known case of Kalundborg (Ehrenfeld et Gertler, 1997). IS-Is can indeed refer to all types of initiatives that aim to fostering regional cooperation among actors to improve the environmental and economic efficiency of their activities. This broadened definition stems from the incorporation of IS as a tool to achieve circular economy (CE) objectives (Kirchherr *et al.*, 2017), for instance through the development of eco-industrial parks (Saha *et al.*, 2021), in ore extraction (Vilaça *et al.*, 2022), or in construction (Yu *et al.*, 2021). While the general framework of CE is more aligned with political objectives than scientific advice (Korhonen *et al.*, 2018a) with little consideration for environmental efficiency (Harris *et al.*, 2021), CE is now an important reference to understand the recent development of industrial ecology (Saavedra *et al.*, 2018), specifically IS. Indeed, CE policies differ from one country to another (Feiferytė-Skirienė et Stasiškienė, 2021) and while some national strategies aim to create eco-industrial parks (Shi *et al.*, 2012a), others promote facilitated approaches, such as tools to increase mutual knowledge between actors (Paquin et Howard-Grenville, 2012). Some countries (including France) (Abitbol *et al.*, 2014) recognize a wide range of practices, such as sharing and pooling, as an integral part of an IS-building process. In this paper, we apply this broadened definition of IS-I, even for initiatives that do not describe themselves as IS-Is. In France, this is the case for the management of residual organic matter, through “bioeconomic initiatives”, listed in a recent publication by a public organization (Ademe, 2018), that we include in our set of case studies (see section 6.1.1).

6.1.2. Promesse plausible et Mythe rationalisé

Douthwaite et al. (2001) introduced the concept of plausible promise (PP) as an interface between scientific innovation and practical application in an agricultural context (Douthwaite et Gummert, 2010). As a response to the failure of the standard “technology transfer” pathway in which innovations are transferred at the end of the development process, leading to end-user inadequacy and rejection (Chambers et Jiggins, 1987), they propose an alternative “follow-the-technology” pathway in which innovations are co-constructed by researchers and end users. The authors argue that “*This partnership needs to be motivated by the belief amongst at least some of the key stakeholders that the prototype technology makes a plausible promise to benefit them*” (Douthwaite et al., 2002, p 126). The PP is thus an unfinished innovation, although sufficiently promising to interest the stakeholder for whom it is designed. Through the possibilities unlocked by this promise, stakeholders agree to contribute to the improvement of the technical solution in an adaptive learning cycle (Reed *et al.*, 2006). This discourse plays a functional role in the innovation process, i.e. enrolling new actors in a collective action. This property can be described as *performativity* (Austin, 1962) since the utterance of the PP influences human action without requiring its components are true or become so. This pathway still has important individual implications for the innovator (Mokyr, 1992), and the role of “champion” in promoting the innovation is played by a member of the scientific community.

Wassenaar et al. (2014) suggested that such dynamics could occur in the regional management of organic waste flows, which can be considered as local resources. Such practices

fall within the scope of IE since they enhance the sustainability of the “*metabolism of the Anthroposphere*” (Baccini et Brunner, 2012). By promoting collective learning, they actually share similarities with facilitated IS initiation and evolution, and resemble what Hoffecker (2021) suggested calling *inclusive innovations*. The main differences are the nature of the innovation, that in the case of IS, is organizational rather than technical, and the fact that the “champion”, hereafter “initiating actor”, is rarely a member of the scientific community. This may seem paradoxical as IS-Is is promoted by science as a way to change societal organization, thus increasing the need to understand the nature of PPs formulated in the context of IS.

Queste (2016) conducted studies of collective action in the context of waste recovery and established the importance of rational myths (RMs) that take their origin in the institutional change analysis provided by Holm (1999). A RM is defined as “*a discourse allowing actors to make sense of a given situation by providing a formulation of the problem and a presentation of the solutions able to solve it*” (Queste, 2016, p.66, authors' translation). A RM can be summarized as the statement of an issue and a collective response to this issue. It represents a shared understanding to which the actors refer while carrying out the responses related to the issue, as a collective justification to perform these actions.

6.1.3. Définitions opérationnelles de la promesse plausible et du mythe rationalisé, et fronts de recherche

Except for the references mentioned in the previous paragraph, the link between IS and collective innovations remains poorly developed in the literature. Most work on enablers and barriers to IS focus on external political, economic, technical, or social factors (Henriques *et al.*, 2021), but do not describe the strategy used by practitioners to initiate or maintain IS-Is, namely, how they turn these external factors into efficient enrollment discourses to get other actors involved. The theoretical approach to PPs and RMs is a promising framework to improve this understanding and to identify implementation and development strategies for IS-Is. However, no theoretical adaptation of such an approach to IS has been proposed to date, and no empirical examples of PPs and RMs – or similar objects – in existing initiatives have yet been illustrated. Before stating our objectives, we propose to adapt the definitions of PPs and RMs to IS based on the above literature review.

In IS-Is, a plausible promise can be defined as the discourse of an initiating actor (or group of actors) confronted with a specific situation, formulated in a way designed to enroll a group of target actors in a collective process to address this situation. This definition reveals the twofold dimension, discursive and performative, of the PP. In this context, a PP corresponds to an enrollment discourse that involves a rational myth (Figure 41) that the target actors help shape after becoming involved in the initiative.

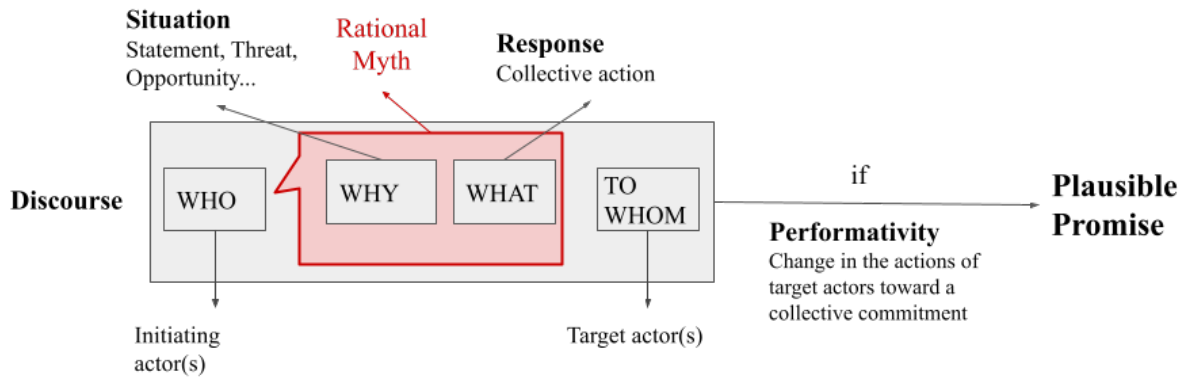


Figure 41 : Représentation schématique du mythe rationalisé et de la promesse plausible dans le contexte des symbioses industrielles.

Actions taken in the course of IS-Is can be translated into discourses that include a RM. These specific discourses can be identified through the elements that answer the following question:

(Q) *Who proposes What, To Whom and Why?*

In question (Q), “Who” describes the initiating actor, “To Whom” defines the target actors, “What” and “Why” are respectively the “situation” and the “response” dimensions of the RM. This makes it possible to tackle the embeddedness of events within their context, which is essential to understand how initiatives derive from local conditions (Boons et Howard-Grenville, 2009). It also makes it possible to differentiate PPs from other discourses. PPs have a *performative* dimension: they play a functional role in the development of innovation, i.e. to bring about a change in the system by convincing target actors to contribute to the collective response. Like the critical discourse analysis approach (Mogashoa, 2014), it recognizes that discourses not only represent the world but also help shape the world and help understand social configurations. These elements provide operational tools to identify how these discourses relate to and influence IS-Is, as summarized in Figure 41. The question (Q) makes it possible to identify discourses that include RMs, among which performative discourses may be considered as PPs. In this paper, **we focus on the characterization of RMs based on real examples that occurred in France**, a national context in which IS-Is are numerous, diversified and available.

The specific objectives of this work are to (1) implement a methodology to study these objects among IS-Is as situations of collective innovation based on our definitions of PPs and RMs, (2) use this approach to improve the knowledge on the initiation and development of IS-Is through a description of RMs in the French context and (3) assess the consistency of this novel approach in the field of industrial ecology to study, understand, implement or consolidate IS-Is.

6.2. Méthodologie de conduite et d’analyse d’entretien auprès de démarches d’EIT

6.2.1. Méthodologie générale

This study involved the qualitative analysis of case studies (Yin, 2018) that have already been used to analyze IS-Is (Cerceanu *et al.*, 2014b). Our methodological approach included six main

steps (Figure 42): (1) Selection of IS-Is in the study perimeter; (2) Design, implementation and transcription of interviews with key practitioners of these initiatives; (3) Analysis of each individual IS-I, including identification of discourses occurring within the IS-I using interview transcripts and documents; (4) Characterization of the RMs present in the discourses; (5) Description of other dimensions of the discourses; (6) Global analysis of discourses and their features. Detailed descriptions of the different steps are given in subsequent sections.

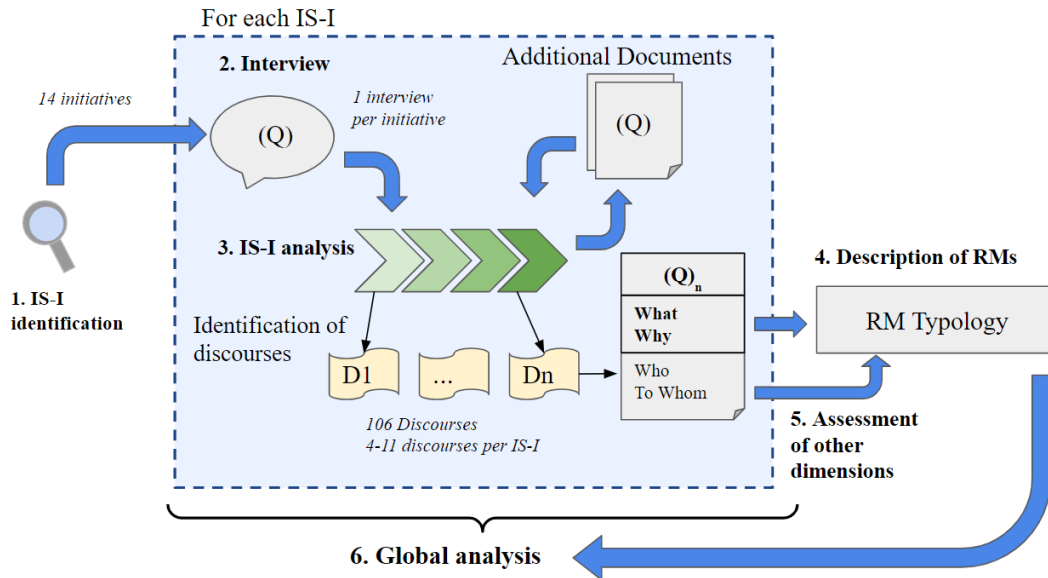


Figure 42 : General methodology of the study. (Q) refers to the question described in section 1.3.. IS-I Identification is explained in section 2.2, Interview methodology is explained in section 2.3. IS-I analysis is explained in section 2.4., the RMs is described in section 2.5, the other dimensions are assessed in section 2.6., and the global analysis is described in section 2.7.

6.2.2. Sélection des cas d'étude

French IS-Is benefit from national recognition and promotion, along with a broad community of practitioners (Orée, 2016, 2020), i.e. a suitable context to identify initiatives with available documents and people to interview. We used three repositories of initiatives (Ademe, 2018 ; Elipse, 2020 ; Orée, 2016), in which we identified 195 IS-Is that could possibly be investigated. The references included short descriptions of initiatives that we used to select a smaller number of IS-Is for time-intensive qualitative inquiries, while being sure we were covering the diversity of existing situations. As stated by Morse (2015), the case studies and people interviewed should not be selected using randomization methods, and are difficult to select definitively before initial inquiries have been made. In addition to cases in these repositories, some unreferenced cases were known by the co-authors, or suggested by interviewees.

Among all the referenced IS-Is, in all, we used three selection criteria (complexity, diversity and availability) to identify around 20 case studies to investigate. First, we used two criteria, complexity and diversity, to shortlist 30 case studies. Concerning complexity, we selected IS-Is that reportedly had a developed network of actors, or in which a large number of economic sectors were involved. Concerning the second criterion, we sought to maximize the diversity of initiatives with respect to their promoting actor, governance, method of facilitation, waste stream, type of synergies and lifespan. In addition, we made sure to include in the shortlist,

five emblematic French IS-Is (Abitbol *et al.*, 2014 ; Orée, 2016) with five more recent and contrasted “bioeconomic initiatives” (Ademe, 2018) (see section 6.1.1.). At this stage, IS-Is that were not described in sufficient detail in the repositories were discarded. We conducted additional research on the 30 shortlisted cases using the same two criteria. Some cases turned out to be less complex than their short description suggested and were consequently also discarded. Finally, we applied a third criterion to the remaining cases: the availability of an appropriate interlocutor with real knowledge of the IS-I, plus sufficient additional documentation to insure the rigor of the qualitative analysis. We discarded IS-Is with no proven recent external activity (website, press articles, recent description) and for which we were unable to find an active interlocutor.

This selection process left us with 14 case studies that we considered suitable for the purpose of qualitative analysis since they presented an accurate picture of the diverse situations that exist in the French context. They covered six out of the 12 French administrative regions, with diversified perimeters and coordinating structures, consistent with the latest observations of French initiatives (Orée, 2020). The features concerned are listed in Appendix B-2.1.

6.2.3. Acquisition de données : entretiens et documentation

We performed one semi-directive interview per selected case study to collect the discourses of the key actors concerning the development of IS-I. The guideline for each stage of the initiative was the question (Q).

Specific questions were not immediately asked in the interviews to avoid introducing a bias in the interlocutor’s discourse and also to keep the conversation moving naturally. The first questions were general, such as “Can you explain how the initiative emerged and developed?” To obtain all the available information, we encouraged the interviewees to give more details on any dimensions of (Q) they did not mention spontaneously. The interview guide is given in Appendix B-2.3.

To improve the quality of the analysis, we searched for additional documents for each case study, including documents mentioned by the interviewees, activity reports, applications for subsidized projects, articles published in the specialized and general press (see Appendix 0). Additional documents helped improve the accuracy of discourses identified in the interview, and sometimes led to the identification of new discourses that were not mentioned during the interview.

6.2.4. Identification des discours au travers de l’analyse des cas d’étude

Based on the interview transcript and additional documents, we identified a set of discourses in each IS-I. As defined in paragraph 1.3, a discourse corresponds to an action that takes place during the course of an IS-I in which we were able to identify the answers to question (Q) (Who, To Whom, What and Why). This method considers actions and the discourses that describe the actions to be equivalent. When the actors, situations or actions change within the same initiatives, so does the discourse. Starting from here, we constructed a chronological description of each IS-I as a succession of discourses. The four sub-questions we used to derive discourses are the

dimensions that need to be described. Two of them correspond to the RM (see section 6.2.1): the questions *What?* and *Why?* correspond to responses and situations, respectively.

6.2.5. Caractérisation des mythes rationalisés

We characterized RMs through a structured description of the “situation-response” pair. To build this description, we used references in the literature and selected elements we considered appropriate to interpret the discourses identified in the IS-Is. This is a hybrid approach that combines a deductive and inductive methodology (Paillé et Mucchielli, 2016). Only methodological elements are included in this section, while illustrations of the different categories from case studies are included in section 6.3.

Situations

The situation of the RM – The question *Why?* in (Q) – designates the collective justification for conducting an IS-I. An important dimension of a prospective analysis is the temporal perspective. The situation can either result from past actions and occur in the **immediate** term, or be the projection of a possible future state of a system, which corresponds to a **prospective** term. This distinction integrates a prospective strategy framework (Godet *et al.*, 2004) that has already been used for IS analysis (Cerceau *et al.*, 2014b). Another important distinction can be made between **explicit** and **equivocal** situations. Some situations are clearly framed by a motivated actor with specific objectives stemming from an individual strategy (Mermet *et al.*, 2005). In this case, the purpose of the collaboration is explicit, and enables a clear assessment of the success of the actions. However, in many cases, no clear shared objective existed prior to the collective action (Abitbol, 2012 ; Berthet, 2013) and the action may emerge from an equivocal objective (Bos *et al.*, 2014), an abstract concept (Hatchuel, 1999) or an ill-defined problem (Ison, 2008). As a result, unlike in explicit situations, equivocal situations are not conclusively determined, and leave room for interpretation by the target actors. Incidentally, the interpretation of the problem may well depend on the actor involved. This leads to situations in which the problematic situation needs to be collectively assessed (Funtowicz et Ravetz, 1993) as the first step of a participatory initiative (Trébuil *et al.*, 2018). McGee (1980) introduced the term *ideograph* to describe the fact that consensual collective objectives are embedded in ill-defined words, such as “progress” (Joly, 2010) or “sustainability” (Bos *et al.*, 2014). Ideographs correspond to institutionalized actions since they embed a shared RM among the actors that can be referred to without being specified. This concept is particularly appropriate to describe prospective and equivocal situations (for more details, see section 6.4.1).

Tableau 10 : Description des situations dans les mythes rationalisés.

	Immediate Term	Prospective Term
Explicit	Reaction (Specific actions)	Strategy (Strategic Actions)
Equivocal	Intricacy (Open actions)	Ideograph (Institutionalized Actions)

Situations of RMs can thus be distinguished by two dimensions, the time perspective, and the definition of the issue. Based on these two characteristics, we introduce four types of situations, listed in Tableau 10.

Réponses Collectives

Collective actions in IS-Is can be interpreted as facilitation actions within IS (Paquin et Howard-Grenville, 2012). We use the term *response* to emphasize that the course and result of the processes engaged remain uncertain.

The first important dimension of actions taken during the course of IS-Is is the involvement of actors in the governance of the initiatives. Actions can be designed either to **integrate** new actors in the governance of the whole initiative, or to **mobilize** participants for a specific stage of the initiative without explicitly allowing these participants to contribute to the design of further steps. In the field of public participation, these two levels of involvement can be related to the distinction between a closed and an open mode of response (Rowe et Frewer, 2005). They also directly refer to the learning selection process described by Douthwaite and Gummert (2010), in which the purpose is to have the actors shift from consultation (“mobilization”) to collaboration (“integration”) and lastly to “control” the initiative – which is the moment when actors shift from being the target of the RM to taking over the role of initiating actors. To link with the IS framework, it is necessary to consider the relation between the initiating actor and the target actor. This distinction can be summarized by “push” and “pull” strategies (Chauvet *et al.*, 2013) that are also related to the theory of groups and collective action (Olson, 1965). The action can be dedicated to **develop** existing activities, or to **attract** new ones. Developing activities entails focusing on the interests or needs of an existing formal or informal group irrespective of whether these interests are clearly expressed by the actors or not. In turn, attracting new activities implies justifying the interests the actors have in contributing, thereby creating a new need.

Combining these two aspects yields four types of collective actions (Tableau 11), which we named to match the context of IS. The actions are described in detail in the results section, Appendix D provides a graphical illustration of these categories.

Tableau 11 : Description des réponses collectives dans les mythes rationalisés.

	Develop	Attract
Integrate	Co-construction	Reinforcement
Mobilize	Territorial service	Participant mobilization

6.2.6. Evaluation d'autres dimensions des discours

To be consistent with qualitative approaches, we used an inductive method to describe the other dimensions of discourse (Morse et Mitcham, 2002 ; Paillé et Mucchielli, 2016): *Who*, and *To Whom*. We used the same categories for the two dimensions as they both inform on actors' quality.

Answers to the question *Who?* refer to the actor initiating a collective action translated into a discourse during an IS-I. It can correspond to a group of actors irrespective of whether the group is structured officially (for instance in an association) or not. We include the quality of all actors involved in such structures, which means that the quality of the actors is not exclusive. Answers to the question *To Whom?* refer to the actor or group of actors expected to contribute to the action or to benefit from it (target actors). The target actor is possibly partly or entirely similar to the initiating actor. Based on inductive analysis, the following typology of actors was used: (1) public

sector actors, including different levels of territorial administrative divisions such as municipalities or local waste management service providers, with, in addition, technical, economic, or legal state-driven structures; (2) private sector actors, including all type of enterprises, as well as individual economic actors, such as farmers; (3) Associative actors, including structures recognized as associations by French legislation but excluding business associations like cooperatives; (4) Academic actors, considered as a separate category from that of public actors; (5) Citizens, regardless of their commercial or associative activities; (6) Trade unions.

6.2.7. Analyse des discours

The analysis of discourses was divided into two stages: the first describes and illustrates all the dimensions separately to identify the diversity and richness of the elements within these dimensions; the second stage goes beyond a description of dimensions, by identifying most frequent RMs (combination of a situation and response) and describing their general features. The number and representativeness of our case studies and the qualitative approach do not correspond to a statistically-robust description. Indeed, no RM would probably fit perfectly to the descriptions given in section 3.3. However, these two stages enable identification of the of the most frequent tendencies in the discourses of RMs and the actions that they relate to.

6.2.8. Principales hypothèses et limites

This work assumes that each IS-I can be analyzed as a succession of actions described through discourses, which is consistent with qualitative analysis in social sciences (Paillé et Mucchielli, 2016), namely critical discourse analysis (Mogashoa, 2014).

The main limitation of this work is biased selection of the case studies, i.e. limited to the French national context. Other unreferenced initiatives may have been overlooked, for example, if self-organized initiatives exist outside the institutional framework. Finally, initiatives that did not last long enough to be available at the time of the study could not be included (see section 2.2.2). For these reasons, this article does not claim to assess the distribution of RMs in IS-Is in general. However, despite limited to this specific context, the resulting RM typology provides a sound theoretical basis, at least for preliminary studies of RMs in other contexts.

6.3. Quoi et Pour Quoi ? Caractérisation des mythes rationalisés

Coupling situations and collective responses yielded 16 different possible RMs (Tableau 12), arising from 106 identified discourses (4-11 discourses per case study). We observed multiple situation-response pairs across the different discourses in the IS-Is. “Ideograph” was the most frequently encountered type of situation (N=55) and was present in at least one discourse in each IS-I. Symmetrically, “co-construction” was the most frequent type of collective action (N=45), and was also present in all the initiatives. Some “situation-response” pairs appeared more frequently than others, (for further details see section 6.3.4). The absolute and relative frequencies of situation, responses and RMs are given in Appendix B-2.5. In the following

Partie II

sections, the different characteristics of RMs are illustrated with examples taken from the case studies, which are associated with the Roman numerals used in Appendix B-2.1.

*Tableau 12 : Les différents mythes rationalisés des démarches d'EIT associés avec des exemples issus des cas d'étude. Les discours cités ont été reformulés de manière à mettre en évidence leur mythe rationalisé. Les chiffres romains se réfèrent aux cas d'étude qui sont associés dans l'Annexe B-2.1. *éléments les plus fréquents, présents dans tous les cas d'étude ; **mythes rationalisés les plus fréquents.*

	Reaction (Immediate / Explicit)	Intricacy (Immediate / Equivocal)	Strategy (Prospective / Explicit)	*Ideograph (Prospective / Equivocal)
*Co-construction (Develop / Integrate)	Specific Co-construction Inquiry among members to understand why the initiative slowed down (III)	Open Co-construction Emergence of synergies due to a shared culture of cooperation (VII)	**Strategic Co-construction Collective feasibility study for a multi-flow recycling platform (V)	**Institutionalized co-construction Applied to a subsidized program to make use of local biomass (II)
Territorial service (develop / mobilize)	Specific service Creation of a water plant to cope with water pollution and water scarcity (I)	Open service Territorial diagnosis to face the lack of mutual knowledge (VIII)	Strategic service Develop tools to foster the emergence of new IS-Is (XIII)	**Institutionalized service Accompany private actors to help increase their contribution to sustainable development (XI)
Reinforcement (attract / integrate)	Specific reinforcement Creation of a river contract involving different stakeholders to reduce water pollution (IV)	Open reinforcement No example found.	Strategic reinforcement Creation of a circular economy cluster to support local waste management actors (X)	Institutionalized reinforcement Attract innovating projects to become an experimental territory in the environmental transition (XIV)
Mobilization of participants (Attract / Mobilize)	Specific mobilization Voluntary collection of waste oyster shells for local valuation (XII)	Open mobilization Change in leadership strategy to keep up the interest of actors (VI)	Strategic Mobilization Consolidation of a green waste management channel to reduce costs and obtain agronomic benefits (IX)	**Institutionalized Mobilization Flow studies and analysis of potential symbioses to achieve sustainable development (I)

6.3.1. *Pour Quoi* – Description des situations

“Reaction” situations entail sudden awareness of a pressing threat or the reverse, i.e. of an opportunity. In the case of a threat, the trigger could be linked to environmental pollution (I, IV), slowing down of an existing initiative (III), high waste management costs (IX) or economic difficulties (XIV). In “reaction” to opportunities, the response may be positive, for instance, to a subsidized project (I, V), or to a local potential synergy (XII). The following situation clearly illustrates a threat linked to pressure on water resource:

« Les industriels avaient un grand besoin d'eau (...) ça pompait tellement d'eau qu'il y avait des remontées d'eau salée. »

Interview with an IS-I animator, July 2020

“Intricacy” situations include discourses formulated in a context where several opposing interests are at stake, for instance in the case of local political inaction (V), or the willingness to preserve industrial activity in an urban context (XI). It can also refer to a general but elusive state of mind, such as rural common sense (VII), the lack of mutual knowledge (VIII), or the willingness of members (IX). In the following statement, the interviewee explains how a local cooperative state of mind could initiate actions:

« Les interactions entre les acteurs, elles se sont faites naturellement. (...) c'est assez pratique de dire, que c'est du bon sens paysan, c'est-à-dire que bon, bah deux entreprises colocalisées, elles cherchent à se parler, si y'a des choses qu'on peut mutualiser... »

Interview with an IS-I animator, July 2020

“Strategy” is a very diverse class. Some can be explicitly linked with an IS project, such as identifying and expanding synergies (I, VI), or implementing an IS-I (XIII, X). Strategy is also linked to organizational changes that may be directly linked to the IS-I to maintain the action (III, IX) or reinforcing coordination with members (XIII, IX). Some cases include strategies that are not explicitly designed to develop an IS-I, for instance in the early stages of an IS-I. Waste treatment syndicates may apply a variety of strategies related to waste, such as reducing the production of waste (X), reducing the cost of waste management (IX), or changing the inhabitants' perception of waste (XII). The strategies used by actors of the private sector are also an important driving force, for instance, a multi-flow treatment platform project (X), sharing research and innovation practices (VII), replying to farmers' need for compost (VIII), or increasing local production (XI). The following sentence shows the objective was a strategic reduction of costs:

« On a réduit les coûts, ils ont vraiment pris conscience que c'était une ressource pour eux et donc qu'ils devaient acheter moins d'intrants. »

“Ideographs” is the most frequent type of situation (present in 51% of all discourses), and all the IS-Is we analyzed used at least one ideograph during its lifespan. Some ideographs can be interpreted as “ill-defined strategies”. This category includes the following examples: willingness to become an experimentation territory (III, XI, XIV), to promote industrial ecology (III, I), to increase cooperation (II, X), to create local value (VII, XII), to turn waste into a resource (X, XI). Like strategies, these situations target a specific goal, but exactly what is expected by achieving the goal remains vague. More closely linked with the original meaning of ideograph, many initiatives refer at some point to ill-defined overarching goals such as local attractiveness and development (I, IV, V, XIV), sustainable development (IV, XI), the ecological transition (IV, VIII), the bioeconomy (IV, VII), innovation (VII), the circular economy (VIII, IX, XII), environmental exemplarity (IV, XI, XIII), green growth (XIII) or economic development (VIII, XI, XIV). This is illustrated in the following citation, where the mention of “industrial ecology” as a topic is sufficient to engage actions:

« Est-ce que on devrait pas aussi être dans l'innovation territoriale, avec ce sujet de l'écologie industrielle, (...) »

Interview with an IS-I facilitator, September 2020

6.3.2. *Quoi* – Description des réponses collectives

“Co-construction” is a mode of collective response used in all the IS-Is we analyzed. The first set of actions aims to obtain administrative and economic support for the initiative and often requires the active involvement of the stakeholders. For instance, initiatives frequently involve the creation of a structure (I, III, IV, V, VII, XI, XIII, XIV), and receive subsidies through calls for projects that require the involvement of local stakeholders (II, VI, VIII). The second set of actions corresponds to the core practice of IS, e.g. the organization of collective meetings aimed at increasing knowledge and building mutual trust among the stakeholders, and allowing them to participate in the IS-I governance (IV, VI, VIII, XIII, XIV). This category may include other collective technical actions such as the organization of participatory studies (V, VIII, X), or the implementation of concrete multi-stakeholder technical projects (VII, X, XII, XIV). This statement illustrates a very simple form of this action:

« (...) organiser l'engagement des parties prenantes dans le cadre d'une convention, et mise en place de groupe de travail thématiques (...) »

Interview with an IS-I facilitator, July 2020

“Territorial service” is another common action. The term “territorial” implies the potential beneficiaries are usually identified as belonging to the same geographic area. Incidentally, some actors use the term territorial to describe their actions. In its most obvious form, territorial service refers to a new service introduced by the initiating actor that targets other local actors who are not expected to be involved in the governance of the initiative. The service may be technical, e.g. the creation of an industrial water plant (I) or the diffusion of tools designed to help the IS-I (XIII) or the service may be institutional, e.g. a branding service (IV, XI), a subsidy for local initiatives through calls for projects (IV, IX) or action programs (III, VIII, X, XIII), studies (III, VIII), or more general support services to encourage and help actors achieve specific goals (IX, XI, XII XIII). Such services may also be explicitly dedicated to traditional IS actions, such as the organization of synergy identification workshops (X, VI) and territorial activities (VIII, XIII). In this example, the coordinating structure can provide support for other actors related to specific topics:

« On essaie d'encadrer notre démarche dans le cadre d'une démarche qu'on appelle, nous, démarche d'éco-exemplarité. »

Interview with an IS-I facilitator, July 2020

“Reinforcement”, which was less frequently represented in the case studies we analyzed, consists in the initiating actor building synergies with other actors. There are two main types of reinforcement: organizational reinforcement and technical reinforcement. Organizational reinforcement refers to actions taken to reinforce the legitimacy of the initiative by including key political actors in the governance (IV). Technical reinforcement aims to use the technical facilities and skills considered necessary for a synergy project, e.g. the capacity to process or give added value to waste biomass (II). In the following example, the initiative specifically seeks to attract innovative projects beyond the existing initiative:

“Aujourd’hui au niveau de [la démarche] on a environ un peu plus de 60 millions d’euros de projets innovants qui sont déjà accueillis sur la plateforme.”

Interview with an IS-I facilitator, september 2020

“Participant mobilization” includes the organization of workshops, meetings or studies targeting actors who were not previously involved in the IS-I, but who are nevertheless not included in the governance of subsequent actions. This type of action is common in initiatives that aim to extend their perimeters (I, III, VI, X, XI). These actions may also be information initiatives aimed at increasing the legitimacy of the IS-I among external actors (XII, XIV). Mobilization can also take the form of a tool designed to attract new actors within the range of actions taken by the initiating actor (I, II). An example of mobilization dedicated to local citizens:

« Donc en fait la réflexion est partie de là, on a créé une action toute simple qui était de collecter des coquilles d’huître... Enfin que les habitants du territoire pouvaient apporter des coquilles d’huître sur les différentes déchetteries (...) »

Interview with an IS-I facilitator, September 2020

6.3.3. *Qui et A Qui* – Analyse des acteurs initiateurs et des acteurs-cibles.

As could be expected in a national context where IS is mainly facilitated and promoted by public policies, initiating actors are mostly public actors (83% of discourses), and the most frequent target actors are private actors (88% of discourses). However, public-private partnerships are also common, as shown by the fact private actors are initiating actors in 58% of discourses. Symmetrically, public actors are also often the actors targeted by the discourse (in 42% of the cases), meaning they are not always the leading actors in IS-Is. Other types of actors are much less frequently present as initiating or target actors. One interesting observation was that initiating actors and targeted actors often vary from one discourse to another in the lifespan of the same IS-I due to changes in the actions undertaken within the IS-I concerned.

6.3.4. Description des mythes rationalisés les plus fréquents

In this section, we illustrate the features observed in the most frequent RMs: institutionalized co-construction (N=22), institutionalized service (N=18), strategic co-construction (N=14) and institutionalized mobilization (N=9). We first observed that these four out of a total of 16 RMs accounted for 61% of all discourses, and that each RM was present in at least 50% of the initiatives. Details on the features of these RMs discourses are given in Appendix B-2.7.

Institutionalized co-construction corresponds to the organization of concrete and participatory actions to achieve an abstract and ill-defined overarching goal. They largely target private actors. A typical example of this type of RM was found in an IS-I, in which the initiator

created a partnership with local actors to implement an “eco-industrial park” with the goal of testing IS principles:

« On a été lauréats au printemps, pour définir une démarche d'écologie industrielle sur un niveau beaucoup plus restreint, [...]. On va faire un partenariat du coup avec la communauté de communes qui gère cette ZAE avec la volonté d'expérimenter l'EIT sur une zone rurale. »

Interview with an IS-I facilitator, August 2020

Institutionalized services are actions taken by proactive actors that target local actors who are passive but need the service. In the following example, this RM is illustrated by a local business association, which had already been identified as a potential support structure before actions were taken to start an IS-I:

« La structure, juste, existe depuis quinze ans, un peu plus de quinze ans, elle s'est créée en 2004. Et créée par des dirigeants d'entreprise, avec une intuition qui est que le développement durable allait être un sujet prégnant pour les entreprises. »

Interview with an IS-I facilitator, September 2020

Although strategic co-construction could be considered as a slight variation on institutionalized co-construction, its logic appears to be quite different. Strategic co-construction actions target private rather than public actors. In the following example, the initiating actors organized concerted actions to answer a local need for compost.

« On aurait voulu travailler dans la gestion des déchets verts, qui était une grosse grosse grosse problématique territoriale, puisque rien n'était géré, et les collectivités elles ont dit “ça c'est notre problème.” donc voilà (rires). On aurait... on avait lancé une grosse dynamique auprès du compost, justement de trouver une manière de faire du compost pour les agriculteurs.»

Interview with an IS-I facilitator, July 2020

Institutional mobilization was slightly less frequently present in discourses than the three other RMs, but also contrasts with them, namely in the “Who/To Whom” pair. While the involvement of stakeholders in both the public and private sectors appears to be important in the main RMs, institutional mobilization is more unidirectional, starting from public actors with a moderate contribution of private sector actors, directed toward other private sector actors.

6.4. Discussion et conclusions

6.4.1. Rhétorique du développement durable dans l'EIT - L'importance et le paradoxe des idéographes

The analysis of IS-Is through discourses creates an interesting bridge to the field of rhetoric through the notion of ideographs. While ideographs are usually described as *words*, we extend the use of the term ideograph to include a *situation* involving justification of a collective action. Beyond umbrella words such as *progress* (Joly, 2010) or *sustainability* (Bos *et al.*, 2014), we

interpret ideographs as consensual objectives, broadly acknowledged by society, that are claimed to contribute to the common “good” while the demonstration of their contribution to this “good” is not deemed necessary. The absence of causal links leaves a lot of room for interpretation, while strategic objectives constantly need to be demonstrated and reevaluated. We do not consider that the possibility to formulate an ideograph in a simple word, - aside from the fact it would clearly reinforce its rhetoric - is a prerequisite to qualify a situation. Moreover, some ideographs can actually be interpreted as combinations of several ideographs. The best example is the *sustainable development* ideograph, which combines *environmental preservation*, *economic development*, and *social wellbeing*, which can also be considered as separate ideographs. However, despite the liberty we take in our interpretation of the term “ideograph”, section 6.3.1 illustrates how many IS-Is refer to keywords that correspond to one or more dimensions of *sustainable development*⁸⁴.

This study underlines the importance of ideographs in justifying collective action, as all the IS-Is cases we analyzed included at least one ideograph, and shows that ideographs were used to represent the situation in 55 out 106 discourses (see Appendix B-2.5). This suggests that the ill-definition of situations may not hinder the development of collective actions, on the contrary, we hypothesize that it could actually promote them. We indeed argue that an ill-definition carries a consensual message that all actors can endorse with their own viewpoint (Star et Griesemer, 1989). Moreover, ideographs are often relative notions: prospective goals for progress or sustainability implies the existence of a current situation that is unsatisfactory or unsustainable. This raises the question of the representation of this referential state by the actors that can vary considerably from one standpoint to another. Based on their own experience, not all actors will necessarily consider that the objectives of ideographs are equivocal.

However, the fact that, in the case studies we selected, such ambiguous objectives appear to be the norm rather than the exception questions the relevance of IS-Is as a normative tool to increase the sustainability of our societies. This involves answering the following questions: (1) How can ill-defined objectives guarantee an efficient change toward a reduction in resources consumption? (2) Would a more precise definition of the objectives reduce stakeholders’ willingness to participate? (3) As sustainability requirements are formulated by advances in different scientific fields, do scientists have a more important role in the formulation of ideographs, or in the translation of such ideographs into strategies to achieve sustainability in field initiatives? The present study remains limited in space and scope (see section 2.8). However, if the same predominance of ideographs is confirmed in other contexts, it raises important questions concerning the role of expert knowledge in accompanying collective action.

6.4.2. Au-delà de la facilitation de la symbiose industrielle

Différents niveaux d’action

The collective responses illustrated in section 6.3.2 can be linked with the two levels of actions described in problem solving (Watzlawick *et al.*, 2011) or institutional change (Holm, 1999) literature. The first level is the action within the IS-I (“first-order action”), and can be

⁸⁴ Afin d’approfondir ce lien, voir Encadré 6

considered as facilitation actions to develop IS in a specific area. The second level of action represents actions supporting existing initiatives, and allowing them to emerge and then develop (“second-order action”). Interestingly, our analysis framework easily incorporates both types of actions. Tableau 13 summarizes our observations of typical facilitation actions in IS-Is, e.g. workshops or meetings, studies, technical synergies, creation of structures, and IS support. The table shows that based on our description similar actions may actually take different forms of collective response. This suggests that the features of collective action are more important than the name given to a specific action, since these features entail different consequences for the future development of the IS-I.

Une large gamme d’actions collectives

According to previous classification frameworks (Chertow, 2007) most of the selected case studies would correspond to “facilitated” IS as opposed to “self-organized” IS where there is no external influence. However, Tableau 13 shows the wide range of existing facilitation processes we encountered, and that are illustrated in section 6.3.2. Moreover, as the IS-Is we studied took place in one geographical area and in a specific social-political context, the global diversity of IS-Is facilitation processes may well be even larger and remains largely unexplored.

We also observed that the initiating actor often varies from one discourse to another over the lifespan of one initiative, and that the target of one action can become the initiator of further actions (as described by the theoretical framework of Douthwaite and Gummert, 2010). Thus the adjective “facilitated” is not necessarily appropriate to qualify an IS-I as a whole, but may more appropriately qualify certain stages of the initiatives.

Tableau 13 : Exemples d’actions de facilitation dans les démarches d’EIT en fonction de la typologie de réponse collective. L’ordre d’action renvoie au cadre de (Holm, 1999) décrit au Chapitre 3. X signifie qu’aucun exemple n’a été identifié dans les cas d’étude, sans que cela n’exclue la possibilité qu’ils existent dans d’autres démarches.

Type of action	Action Order	Co-construction	Territory service	Reinforcement	Participant mobilization
Workshop / Meeting	1	Workshop organized by and for the initiating actors	Workshop organized for interested members within the IS-I boundaries	Workshop organized to get new members involved in IS-I governance	Workshop organized for interested actors beyond actual IS-I boundaries
Study	1	Study performed on and by the initiating actors	Study performed to answer a need felt by members within the IS-I boundaries	X	Study performed with external members not further involved in synergies
Technical synergy	1	Co-construction of synergies by and for the initiating actors	Initiating actors help other members of the IS-I build synergies	Initiating actors look for outside actors who have the technical capacity to build synergies	X
Creation of a structure	2	Meeting of actors interested in forming a governance structure	Creation of a brand	X	X
IS support	2	Joint involvement in a call for projects	Creation of tools to support IS, action programs, support provided by local actors	Involvement of key political actors	X

The framework resulting from our work provides clues that will be useful to analyze the different facilitation options in IS. We suggest two important facilitation dimensions: the willingness to enroll actors in governance, and the relative position of the target actors within the actual range of the IS. As a general observation, our analysis reveals the value of linking IS with collective and institutionalized action concepts, a link that to the best of our knowledge, has not been previously established.

6.4.3. Vers une analyse dynamique

We observed that RMs vary considerably within IS-Is, as illustrated with one initiative on Figure 43. This example involves three different situations (columns in Figure 43), three different collective responses (rows in Figure 43), through four different RMs. Similar and sometimes even more complex variations were observed in all the case studies. This observation raises new questions and paves the way to study the changing dynamics of discourses in IS-Is. Possible questions are: (1) Are there general patterns that explain the transition from one RM to another? (2) Do these RMs have functional roles in IS-Is, or are they rather explained by local contingencies? (3) Are there similarities across IS-Is?

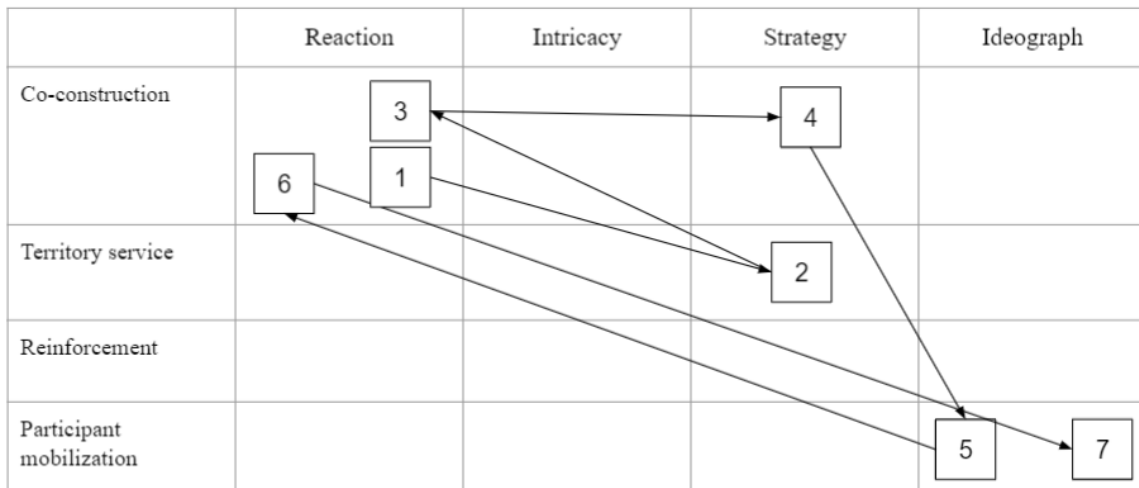


Figure 43 : Exemple de variation de mythe rationalisé dans un cas d'étude. Les nombres indiquent l'ordre chronologique des discours. La définition des situations (colonnes) et réponses (lignes) est donnée dans la section 6.3)

6.4.4. Conclusion et perspectives

This work shows the value of adapting the theoretical framework of collective innovation, including plausible promises and rational myths, to industrial symbiosis initiatives. This novel approach revealed precious information concerning the collective processes that occur in a whole range of industrial symbiosis initiatives. Considering these initiatives as a succession of discourses, we show that rational myths can be associated with concrete examples in case studies and propose a description of the typical features of the most frequent rational myths we observed in the French context. Through the diversity of collective responses observed, our description offers a glimpse of the different practices applied under the umbrella of “facilitated” industrial symbiosis. It is not surprising that co-construction, which can be considered as the core practice of industrial symbiosis, was found in all case studies and in many discourses. However,

surprisingly, we observed that the collective justification for these actions was often ambiguous and prospective, features that are well captured by the ideograph concept. These first results in France suggest that similar studies in different contexts would be useful to assess the range of validity of these observations. We also noted a succession of different rational myths in a dynamic pattern visible in the initiatives. Such patterns could also be further investigated to adapt the framework of the plausible promise to industrial symbioses thereby improving our understanding of engagement in collective processes.

These results also open operational perspectives to design discourses in contexts where the potential for synergy is high but in practice, few actions are taken. The next step in our study will be to test and improve the findings presented in this paper to build discourses based on the different features of rational myths (situation and responses) and to assess them experimentally on synergies between agriculture and organic waste.

6.5. Éléments d'analyse dynamique de l'action collective

L'article de ce chapitre ouvre en discussion (section 6.4.3) la piste d'une étude dynamique que la présente section entreprend de développer. L'étude des entretiens permet en effet d'aller au-delà de la caractérisation des mythes rationalisés et de mieux comprendre le rôle des promesses plausibles, élément central de la thèse. L'objectif de l'analyse présentée dans cette section est (1) de détailler le rôle des promesses plausibles dans les démarches d'EIT, (2) d'observer s'il existe des schémas communs d'une démarche à l'autre et (3) de comparer ces enseignements avec le cadre d'innovation « Follow-the-Technology » (FTT) formulé par Douthwaite (voir Chapitre 1 et Chapitre 3). En premier lieu, nous avons jusqu'ici supposé que les promesses plausibles intervenaient nécessairement au début des démarches de concertation, dans la première étape de mobilisation d'acteurs. L'analyse que nous avons effectuée des démarches d'EIT dans les sections 6.1 à 6.4 montre que celles-ci comportent en réalité de nombreux discours distincts tout au long de leur déroulement. Cela conduit à se demander lesquels de ces discours peuvent réellement être considérés comme des promesses plausibles, au sens de la définition donnée à la section 6.1. Après avoir défini les critères retenus pour distinguer les promesses plausibles des autres discours (qui seront également qualifiés), le premier objectif de l'analyse dynamique consistera à observer à quel moment celles-ci interviennent dans les démarches. Cette approche nécessite une normalisation temporelle des démarches, de manière à pouvoir les comparer les unes aux autres. Deuxièmement, un des intérêts de cette analyse est de prendre du recul sur les cas d'étude individuels, pour déterminer si des tendances générales se dégagent. Grâce à la typologie de mythes rationalisés établie précédemment, il sera possible d'évaluer si de tels schémas génériques apparaissent. Enfin, un apport central de l'analyse dynamique est de questionner la validité du schéma d'innovation par l'approche FTT, qu'il est possible d'associer plus généralement à l'innovation inclusive (Hoffecker, 2021) (voir section 1.4.3 du Chapitre 1). Les éléments identifiés permettent de comparer les schémas réels d'implication des différents acteurs, au cours du temps, avec la courbe théorique proposée (Pour rappel, voir figure Figure 12 au Chapitre 1).

6.5.1. Suppléments méthodologiques pour une analyse dynamique de l'action collective

L'analyse dynamique des discours demande de se doter d'outils méthodologiques supplémentaires qui n'ont pas été présentés dans l'article initial. Il est ainsi nécessaire (1) de normaliser les démarches sur l'aspect temporel, (2) de se doter d'un cadre pour distinguer les promesses plausibles des autres discours et (3) de proposer une transposition de l'évolution des démarches d'EIT dans l'approche FTT.

Normalisation temporelle : Phases des démarches

L'analyse des démarches sous l'angle des discours permet de mettre en évidence différentes phases récurrentes dans le déroulement d'une démarche. Cette normalisation est en ligne avec de nombreuses réflexions entreprises à ce sujet au sein de la communauté académique (Baas et Boons, 2004 ; Boons *et al.*, 2016 ; Spekkink et Boons, 2016) ou au sein de la communauté de praticiens (Orée, 2020). Dans cette analyse, les discours sont associés aux phases suivantes, classées par ordre chronologique :

- L'état antérieur de la situation
- Les **projets antérieurs** ayant et lieu **avant la démarche**, souvent à l'échelle d'une seule structure. Si ceux-ci ne peuvent réellement être considérés comme faisant partie de la démarche, le fait qu'ils soient mentionnés leur donne une importance particulière.
- La **préparation de la démarche** : Certaines démarches connaissent une phase préparatoire, visant à organiser une concertation ou implication plus large d'acteurs.
- **L'initiation**. Cette phase unique correspond à l'institutionnalisation de la démarche, c'est-à-dire le moment où elle devient un objet en tant que tel, ou celui où elle est portée à la connaissance des acteurs-cibles.
- **L'évolution**, qui intègre toutes les phases postérieures à celle d'initiation.
- **L'état actuel** de la démarche.
- Les **projets futurs**, en préparation mais non initiés, mentionnés lors de l'entretien.

Certaines de ces phases représentent un état statique (état antérieur, état actuel), tandis que les autres représentent une action en évolution. Comme détaillé dans le paragraphe suivant, les phases statiques seront écartées de l'analyse dynamique des discours.

Distinguer les promesses plausibles

Les différentes phases des démarches correspondent à ce que l'on peut appeler des **régimes** d'actions collectives, par analogie avec les travaux sur les régimes socio-écologiques (Krausmann *et al.*, 2008) ou sociotechniques (Geels et Schot, 2007). Dans le cas d'une innovation de niche telle qu'une démarche d'EIT, le régime d'action correspond simplement à un « assemblage stabilisé de règles et de routines » (Joly, 2010, p2) qui définissent les modalités d'action collective. Pour reprendre le cadre néo-institutionnel, le régime correspond aux règles qui s'appliquent aux actions de premier ordre (cf section 3.2 du Chapitre 3). Les discours identifiés sont donc des marqueurs de **changements de régime**. Sur la base de la définition que nous avons proposée pour la PP, celle-ci a un rôle particulier : elle vise à l'instauration d'un

régime d'innovation inclusive. Il apparaît que tous les discours observés ne conduisent pas nécessairement à ce type de régime, et ne correspondent donc pas strictement à des promesses plausibles. Il est nécessaire de distinguer, dans l'analyse dynamique, la fonction des différents discours tenus en termes d'évolution du régime d'action. Pour distinguer les promesses plausibles des autres discours, les propriétés suivantes sont mises en avant (1) une PP vise à une évolution de régime, (2) une PP vise à mobiliser de nouveaux acteurs et (3) une PP vise à initier une concertation avec les acteurs mobilisés. Dans la méthodologie utilisée, cela se traduit de la manière suivante :

- (1) **Evolution du régime** : Les discours portant sur le mode de fonctionnement de la démarche dans son état actuel – ou antérieur – ne correspondent pas à l'évolution du régime d'action, mais à une description d'un régime stabilisé. Ils seront simplement écartés de l'analyse.
- (2) **Mobiliser de nouveaux acteurs**. Dans certains discours, les acteurs-cibles sont identiques aux acteurs initiateurs. Ce type de discours témoigne de l'évolution de l'action collective institutionnalisée, en lien avec l'évolution de son environnement. Plus qu'une promesse plausible, il correspond en réalité à l'**évolution du mythe rationalisé (EMR)**.

Exemples d'évolutions de mythes rationalisés : modification de la gouvernance des actions (III, V, VII, XIV), démarrage de nouveaux projets destinés à ses membres (IV, VIII), élaboration d'une nouvelle stratégie (IX).

- (3) **Régime d'innovation inclusive**. Si certains discours visent à mobiliser de nouveaux acteurs, tous ne se destinent pas à mettre en place une concertation, amenant les acteurs mobilisés à interagir les uns avec les autres. D'autres discours correspondent à des actions entreprises de manière individuelle par certaines structures sans chercher à mobiliser autour d'un projet collectif. Ces deux types de discours seront regroupés comme des **actions non collectives ou non concertées (ANC)**.

Exemples d'action non collective : Projet individuel mené par une organisation (I, VII), évolution de la stratégie d'une organisation (VI).

Exemples d'actions non concertées : Actions de communication (XII), actions impliquant les acteurs avec des relations bipartites (XIV), étude du territoire (III).

La Figure 44 schématise et synthétise la normalisation temporelle et l'identification des promesses plausibles décrites dans les paragraphes ci-dessus.

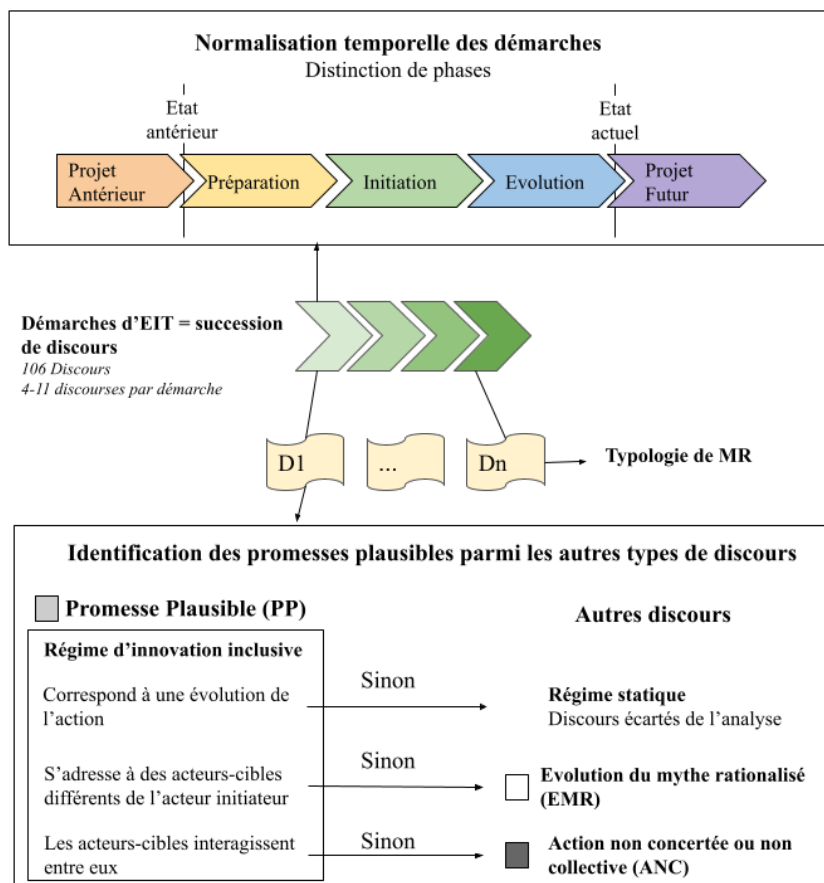


Figure 44 : Cadre méthodologique pour l'analyse dynamique des discours. Les codes couleurs proposés seront réutilisés dans les figures suivantes. La typologie de mythes rationalisés (MR) est définie dans la section 6.2.5.

Représentations de l'analyse dynamique

Deux principaux modes de représentation de l'étude dynamique des discours seront proposés : une **analyse matricielle** et une **analyse chronologique**. L'analyse matricielle correspond au placement des différents mythes rationalisés (MR) des démarches d'EIT dans la matrice de description des mythes rationalisés (Tableau 12 de la section 6.3), avec une indication sur leur ordre d'apparition. Cette analyse permet d'observer l'évolution des MR au fur et à mesure des démarches, comme cela a été proposé sur la Figure 43 de la section 6.4.3. Ce type de représentation permet de chercher une cohérence dans les enchaînements de MR. L'analyse chronologique consiste à reconstituer une courbe permettant de comparer les démarches au cadre théorique FTT. En abscisse, les démarches seront comparées grâce à la normalisation de leurs phases d'évolution temporelle proposée ci-dessus (voir Figure 44). La position sur l'axe des ordonnées sera déterminée par l'analyse des acteurs-initiateurs et des acteurs-cibles de chaque discours, effectuée dans la section 6.3.3, de la manière suivante :

- (1) L'acteur (ou le groupe d'acteur) initiateur est l'acteur qui a le **contrôle** de la démarche
- (2) Comme nous l'avons établi dans la caractérisation des réponses collectives (voir section 6.3.2 et Tableau 11), les acteurs-cibles peuvent être actifs dans la gouvernance de la démarche (co-construction / renforcement), ou passifs (service territorial / mobilisation de participants). Dans le premier cas, les acteurs-cibles sont dans une situation de

collaboration qui correspond à leur implication à un palier intermédiaire, et dans le deuxième cas ils ne sont impliqués qu'à titre de **consultation**.

(3) Par ailleurs, nous avons vu que dans les démarches d'EIT, les acteurs initiateurs et cibles avaient des profils très diversifiés (voir section 6.3.3). Cette catégorisation est utilisée pour distinguer les différents acteurs au sein d'une démarche, et ainsi représenter leurs trajectoires d'implication.

Le type de représentation obtenu est représenté sur la Figure 45, qui montre explicitement la transposition du modèle FTT.

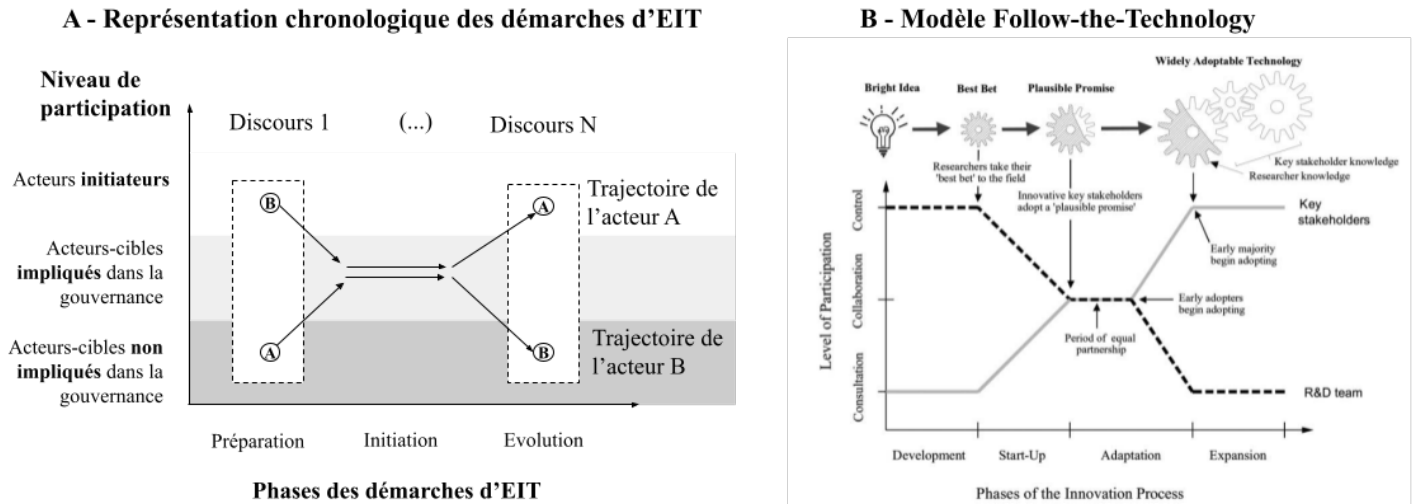


Figure 45 : A- Méthodologie de représentation chronologique des démarches d'EIT permettant la comparaison avec B- le modèle Follow-the-Technology de Douthwaite (2002).

6.5.2. Caractéristiques dynamiques des discours

Sur les 106 discours identifiés, 95 correspondent à une phase dynamique des démarches, parmi lesquels 46 correspondent à des promesses plausibles (28 correspondant à des EMR, et 21 à des ANC). Leurs caractéristiques sont présentées sur la Figure 46.

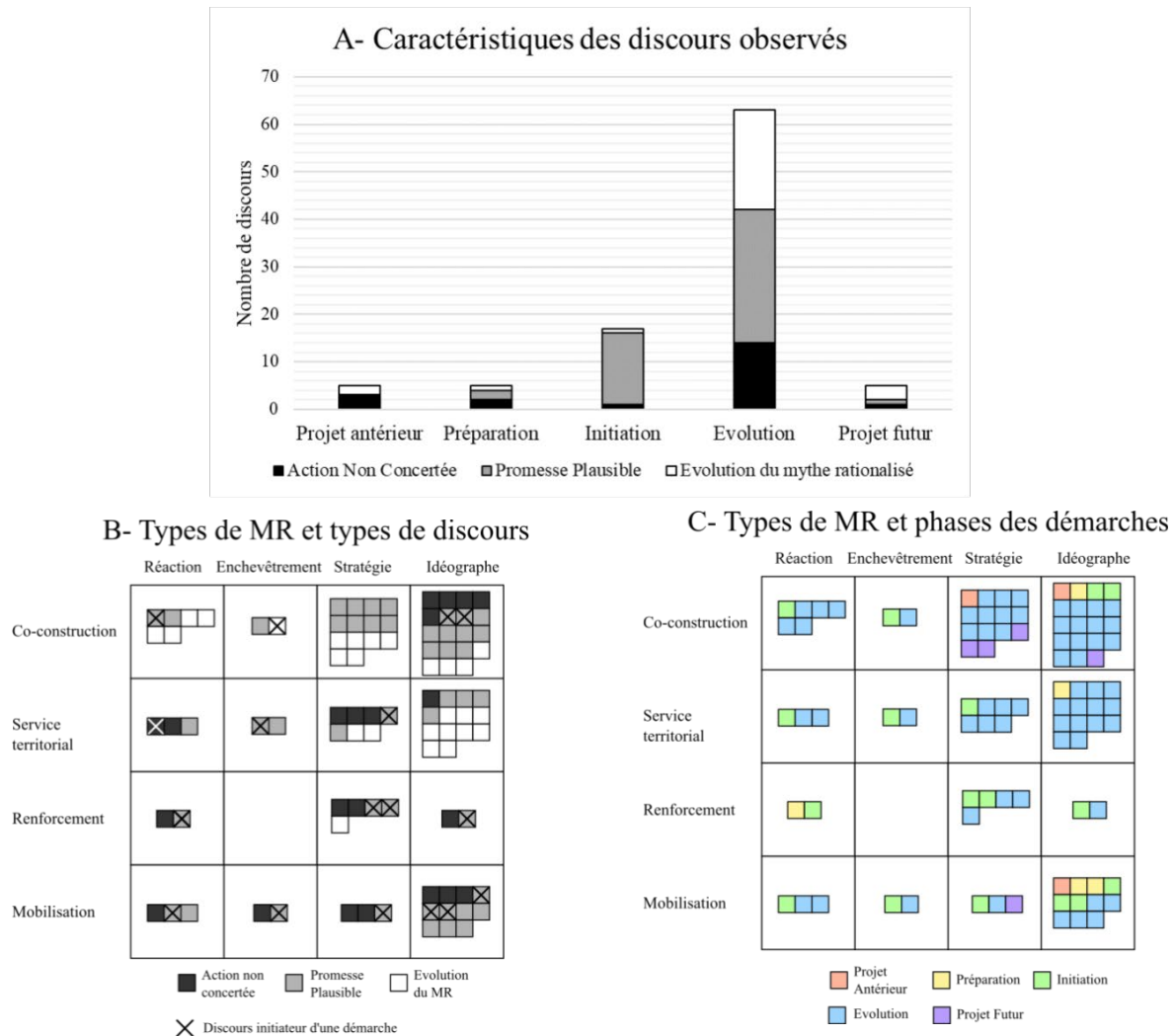


Figure 46 : Caractéristiques dynamiques des discours. A- Nombre et type de discours observé à chaque phase des démarches, B- Nombre de MR observés en fonction du type de discours, C- Nombre de MR observés en fonction des phases des démarches.

Dans les discours identifiés, 17 correspondent à des phases d’initiation de démarche⁸⁵, et 63 correspondent à des phases d’évolution de ces démarches. Si les discours dont les propriétés répondent à celles d’une promesse plausible sont bien présents à l’initiation (15/17), ils sont également largement présents lors de cette évolution (28/63) (Figure 46-A). Par ailleurs, des démarches peuvent être initiées autrement que par des promesses plausibles, même si ces cas restent l’exception. Dans la moitié des promesses plausibles (23/46), la situation du MR est de

⁸⁵ Note : une des démarches correspondait en réalité à une initiative régionale au sein de laquelle trois démarches d’EIT ont émergé, d’où la présence de 17 discours d’initiation malgré le fait que seulement 14 entretiens aient été réalisés.

type « idéographe » (voir section 6.3.1) (Figure 46-B). Hormis cela, les PP montrent des MR variés couvrant la totalité de la typologie observée dans les entretiens. La Figure 46-C montre également que l'initiation des démarches peut impliquer presque tout type de MR. Cette lecture globale suggère que les différents MR ne sont généralement pas associés à des phases particulières des démarches, ni au type de régime d'action collective.

6.5.3. Représentation dynamique matricielle

La représentation matricielle de l'évolution des mythes rationalisés au cours des démarches d'EIT est donnée par la Figure 47. Cette figure met en évidence le fait que les évolutions sont très variées en fonction des démarches, et qu'elles s'inscrivent chacune dans 3 à 6 MR différents. Une démarche ne peut donc pas se définir de par un seul type de MR. La quasi-totalité (une exception) comporte au moins deux promesses plausibles. Hormis le fait que toutes les démarches intègrent au moins un idéographe et une phase de co-construction (ce qui avait déjà pu être observé au dans l'analyse statique, voir 6.3), les différents parcours ne montrent aucun point commun évident. Il n'est ainsi pas possible, avec ces données, d'extrapoler des généralités sur la succession des MR au cours d'une démarche. Cela complète utilement la Figure 46-C. Dans ces diagrammes, une évolution verticale correspond à une évolution des modalités d'action (co-construction, service territorial, renforcement, mobilisation) tandis qu'une évolution horizontale correspond à une évolution des représentations collectives (réaction, enchevêtrement, stratégie, idéographe). Certaines démarches évoluent plutôt sur un seul de ces deux axes (I, VII, X, XIII) tandis que d'autres foisonnent dans plusieurs directions (V, IX, XII). On observe également que certains MR peuvent apparaître plusieurs fois dans une démarche, éventuellement à plusieurs moments distincts (IV, VII, X, XI). De plus, si la PP est souvent un discours initiateur, il est possible qu'elle intervienne dans les phases en amont des démarches (VIII, XI). Dans ces cas d'étude, les démarches de symbiose industrielle se basent en réalité sur la constitution d'un collectif préexistant, dont l'objectif initial était légèrement différent.

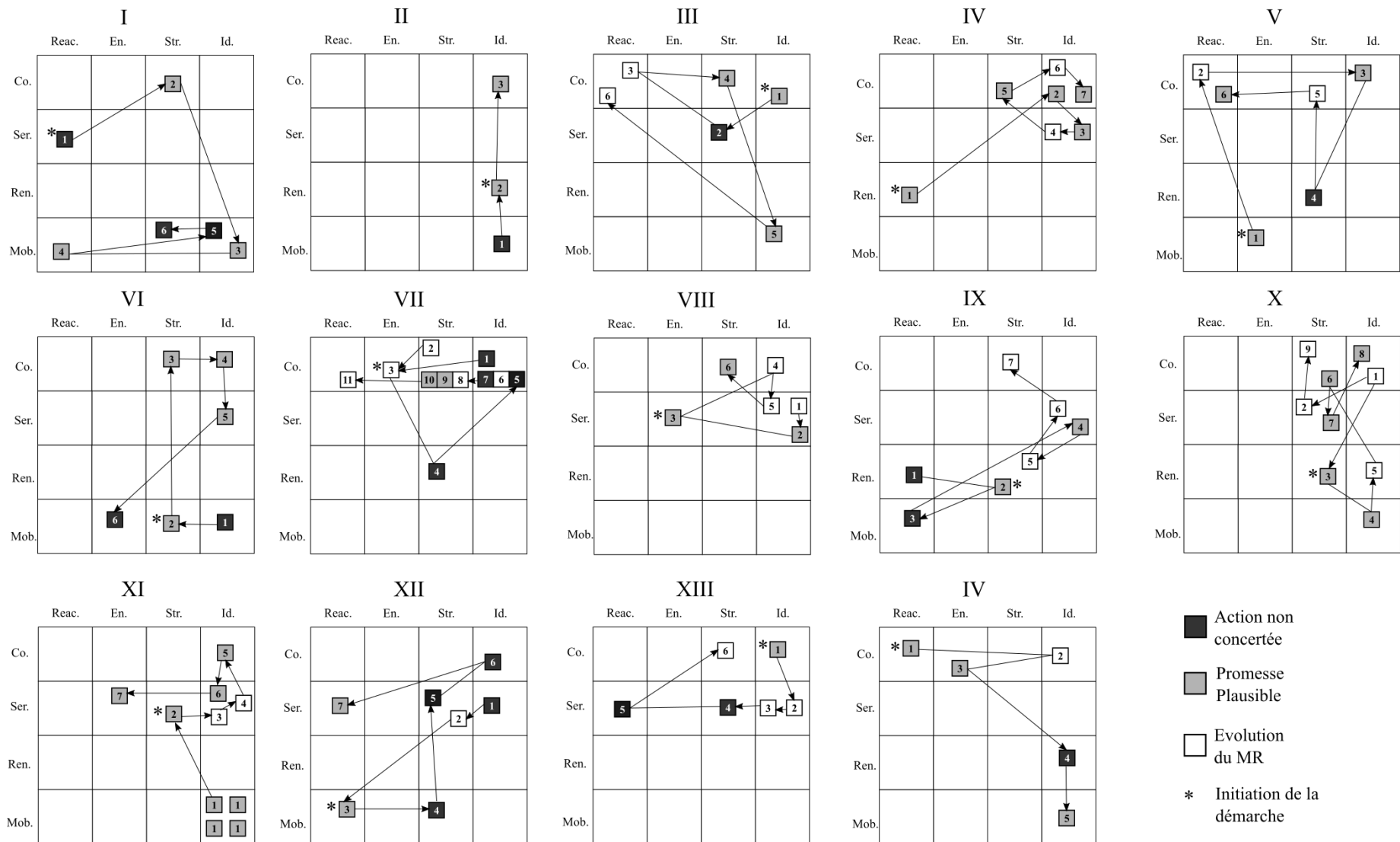


Figure 47 : Evolution des mythes rationalisés dans les démarches d'EIT observées, et types de discours associés à ces évolutions. Les numéros correspondent à l'ordre chronologique des discours identifiés dans les démarches. Les chiffres romains correspondent aux démarches présentées en Annexe B-2.1

6.5.4. Représentation dynamique chronologique

La représentation chronologique des démarches est donnée par la Figure 48. Cette figure permet de montrer la grande variabilité entre démarches, en termes de nombre de discours d'acteurs impliqués et de constitution de collectifs. Nous y observons que l'intégration d'acteurs ne se fait pas uniquement au début de la démarche. De nouveaux acteurs sont progressivement impliqués, nécessitant de formuler de nouvelles promesses plausibles. Par ailleurs, certains acteurs interviennent seulement ponctuellement. Dans la plupart des démarches, il se constitue plus ou moins rapidement un collectif d'acteurs qui initie les nouvelles actions. Dans les cas observés, le groupe de contrôle ainsi constitué reste impliqué de manière centrale, y compris après la formulation de promesses plausibles. Par ailleurs, malgré leur dimension performative, les promesses plausibles ne parviennent pas toujours à mobiliser des acteurs, qui restent alors dans une position consultative. De plus, la mobilisation d'acteurs dans la démarche est un processus réversible : dans plusieurs situations (VI, IX, X, XIII), des acteurs sont actifs dans la gouvernance à une phase, puis redeviennent passifs à la phase suivante.

Modèles d'évolution de l'action collective

Les similarités d'une démarche à l'autre permettent de proposer à ce stade des schémas de développement typiques.

Modèle impulsé (I, VI, XII) : Certaines démarches correspondent à de nombreuses sollicitations unidirectionnelles. Le porteur garde le contrôle et les acteurs à qui se destinent les actions sont peu mobilisés dans la gouvernance. L'évolution de la démarche se fait par le renouvellement des sollicitations, mais n'intègre pas ou peu de phases d'évolution du mythe rationalisé.

Modèle inclusif bilatéral (I, III, XI, XIV) : Ce type de démarche s'approche le plus du schéma FTT, dans le sens où la gouvernance de la démarche se consolide progressivement en intégrant les acteurs-cibles. Ces démarches intègrent parfois des étapes d'évolution du MR. Le nombre d'acteurs de nature différente reste cependant assez faible : l'acteur initiateur cherche à interagir avec un seul type d'acteur-cible. C'est le cas de démarches qui se focalisent essentiellement sur l'implication des entreprises.

Modèle inclusif territorial (IV, V, VIII, XIII) : Ce modèle est une extension du modèle inclusif, dans le sens où les acteurs-cibles sont de nature plus diversifiée, et où les échanges sont moins focalisés sur un seul secteur d'activité. La dynamique est similaire à ce premier, intégrant progressivement les acteurs dans la gouvernance (ou avec un rôle actif). On observe que ces démarches comportent plus d'étapes d'évolution du MR. Ce modèle correspond à ce qui serait recherché dans une symbiose territoriale.

Modèle en sous-projets (VII, IX, X) : la structuration de certaines démarches ne se fait pas autour d'un centre unique, mais de plusieurs projets, plus ou moins indépendants, conduits par des acteurs plus ou moins similaires. L'institutionnalisation de la démarche se fait alors autour de l'assemblage de ces projets.

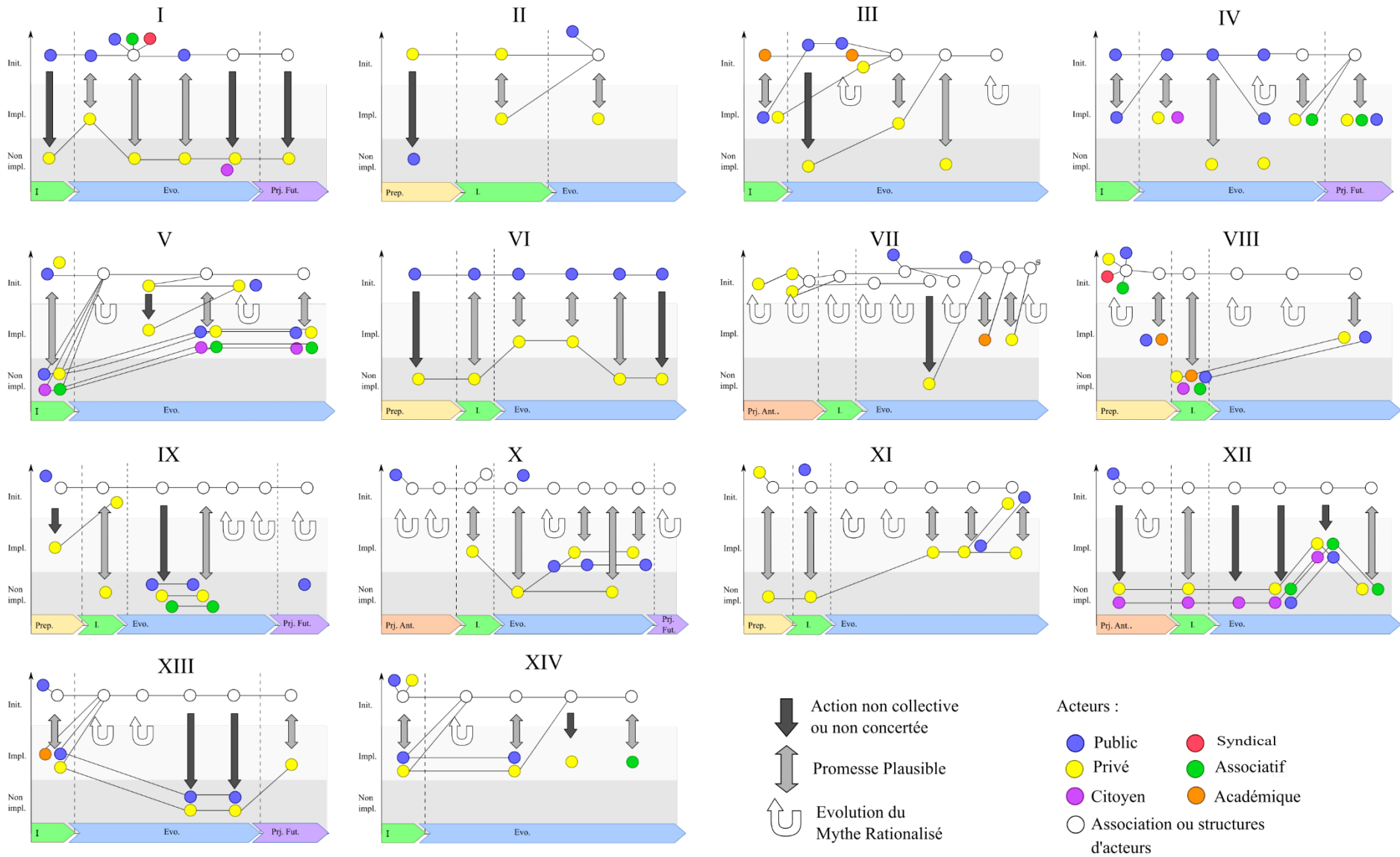


Figure 48 : Analyse chronologique des démarches d'EIT étudiées. Ces diagrammes sont construits par analogie avec la Figure 45-A, selon la méthodologie décrite par la section 6.5.1.

6.5.5. Discussion sur l'analyse dynamique

En se basant sur l'évolution de l'implication des acteurs au sein de ces cas d'étude, il est possible de remettre en perspective le schémas FTT dans le cas des démarches d'EIT. Cette différence ne se situe pas uniquement dans le fait que la réalité s'écarterait d'un idéal, mais témoigne plutôt que celle-ci est bien plus complexe et beaucoup moins linéaire que ce que ne prévoit le modèle. Une partie de l'explication tient au fait que la nature de l'innovation est différente de celles considérées par l'approche FTT. En effet, l'instauration d'un processus de gestion concertée s'établit dans une temporalité longue, recomposant au fil du temps les différents collectifs d'acteurs impliqués. Beuret utilise ainsi la métaphore d'un arbre pour décrire la concertation (Beuret, 2006) : les nombreuses racines (acteurs) se rejoignent dans un tronc (démarche) duquel partent différentes branches (projets). L'alternance entre des promesses plausibles et les autres types de discours peut être vue comme l'enchaînement des étapes lors d'un cycle adaptatif. L'évolution du mythe rationalisé, qui intervient généralement après la formation d'un groupe de contrôle, peut en réalité être interprétée comme la conséquence de la mise en œuvre de la concertation. Elle correspond à l'adaptation de la démarche à la fois à son environnement, mais aussi à l'évolution des intérêts des parties prenantes qui la composent, soit du fait d'éléments extérieurs, soit du fait de la mobilisation de nouveaux participants. Par ailleurs, les démarches observées sont pour la plupart toujours en cours, tandis que la baisse d'implication de l'acteur initiateur est supposée intervenir une fois le processus terminé. Il est donc possible que le schéma observé dans cette étude ne corresponde que de manière incomplète au processus FTT. Cependant, le fait qu'un processus de concertation tel qu'une démarche d'EIT puisse avoir une « fin » peut être remis en question. D'après les dynamiques observées dans les cas d'étude, le rôle de la promesse plausible est assez différent de celui proposé dans FTT, ce qui est représenté par la Figure 49. Celle-ci, plus qu'un élément initiateur, est un élément cyclique qui intervient dans une série d'actions itératives en deux temps : (1) La constitution ou recomposition d'un groupe et (2) l'augmentation de la capacité du groupe. La première phase est effectuée par une promesse plausible, et vise à renforcer le noyau de concertation existant avec de nouvelles parties prenantes jugées intéressantes, légitimes ou indispensables. Ce nouveau collectif est alors en mesure d'effectuer des actions et éventuellement de restructurer sa légitimité autour de nouveaux mythes rationalisés. Ce processus conduit à l'augmentation de la capacité du groupe en lui permettant de réaliser des actions, de manière collective ou non. Suite à ces actions ou du fait de l'évolution de l'institution, le groupe de contrôle peut souhaiter l'implication de nouveaux acteurs dans la démarche. Cette extension et évolution de l'action collective se traduit par le renouvellement de la promesse plausible et, fréquemment, du mythe rationalisé. Il se peut également que certains acteurs se désengagent du collectif, soit par essoufflement de la dynamique, soit parce qu'ils n'avaient initialement pas vocation à y contribuer sur le long terme.

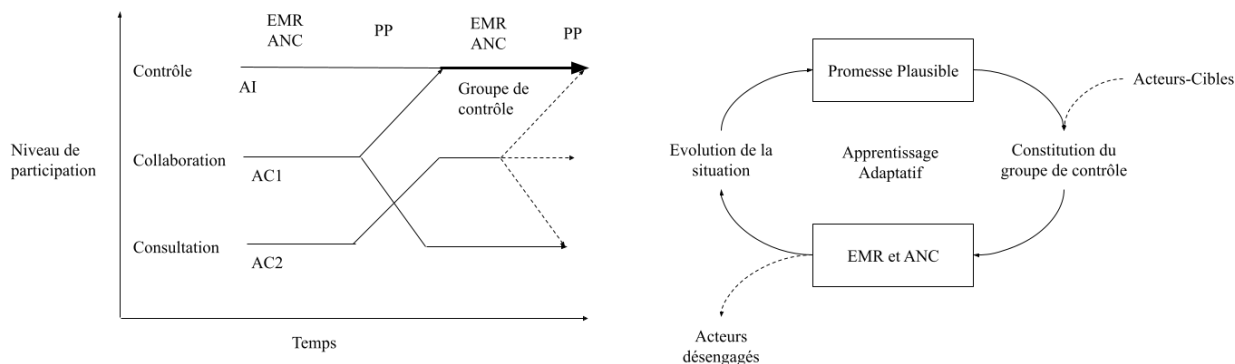


Figure 49 : Enrichissement théorique de la théorie Follow-the-Technology dans le cadre des démarches d'EIT. Dynamique d'implication des acteurs et d'évolution des démarches. AI : Acteur initiateur ; AC : Acteur-cible.

La promesse plausible initiale

Ces résultats fournissent de précieuses indications dans l'initiation d'une symbiose territoriale. Premièrement, ils permettent de confirmer l'hypothèse qu'une promesse plausible intervient presque toujours à l'initiation d'une démarche d'EIT, avec seulement deux exceptions observées. Dans le premier cas (I), les synergies découlent d'une action non concertée imposée par un régulateur pour préserver la ressource en eau. La mutualisation « forcée » a ensuite permis aux acteurs d'intensifier les liens qu'ils entretenaient entre eux. Dans cette situation, explicite, les acteurs ont donc déjà conscience du problème. Le deuxième cas (VII) est une démarche conduite par une structure ayant un rôle d'animation historique issue de politiques publiques (un comité de bassin d'emploi), et dont les actions ont évolué avec le contexte institutionnel. Dans cette situation, qui n'est pas aussi explicite que la première, le rôle de l'acteur initiateur était déjà reconnu au moment où il s'est intéressé à l'EIT. Dans l'initiation d'une symbiose territoriale, en l'absence de tels éléments historiques, cela montre bien qu'il est nécessaire de formuler une promesse plausible, et donc de la concevoir. Les résultats montrent cependant l'importance relative de la *première* promesse plausible sur le déroulement de la démarche. Le cadre FTT pourrait suggérer que la totalité des acteurs pertinents doivent être mobilisés dès le début de la concertation, qui se déroule ensuite en vase clos jusqu'à son aboutissement. Les cas d'étude nous montrent que le cycle d'apprentissage adaptatif est ouvert à l'intégration d'autres acteurs. Dans le cas où tous les acteurs ne sont pas mobilisés d'entrée de jeu, cela pose une question clé à l'acteur initiateur : quels acteurs faut-il prioriser lors de la formulation de la première promesse plausible ? S'il est impossible de répondre à cette question de manière tranchée, nous pouvons cependant observer que, dans le modèle « inclusif territorial », celui s'apparentant le plus à la symbiose territoriale, une diversité large d'acteurs est plus souvent incluse dès la promesse initiale (V, VIII, XIII), même si cette diversité peut être amenée par la suite (IV). Nous observons également qu'intégrer une large diversité d'acteurs n'est pas une condition suffisante pour les mobiliser dans la co-construction, et peut rester sous format « impulsé » (XII). La diversité de MR présents dans les PP suggère qu'il n'y a pas de règles générales dans leur formulation. Notons que les PP initiatrices de démarches comportent, en proportion, moins d'idéogrammes que les autres PP (5/15). Si ces idéogrammes apparaissent bien comme des clés importantes de l'action collective, leur rôle pourrait être plus restreint à leur initiation.

6.5.6. Conclusions de l'analyse dynamique

Cette analyse a principalement mis en évidence que le schéma FTT s'avèrait trop simpliste pour représenter la complexité et la diversité des actions possibles lors d'une démarche concertée, et a fortiori une symbiose industrielle. Dans ce type de démarche, si la promesse plausible est effectivement – la plupart du temps – l'élément initiateur permettant d'institutionnaliser la démarche, d'autres promesses plausibles sont également formulées tout au long des démarches. Nous avons pu voir en quoi, plutôt qu'un transfert de contrôle de la démarche entre l'initiateur et les cibles, elle relevait dans les cas analysés plutôt de la constitution et la consolidation d'un groupe de contrôle. Cela conduit à proposer un enrichissement du cadre FTT dans la situation où plusieurs types d'acteurs sont mobilisés et peuvent être amenés à participer à la gouvernance de la démarche d'innovation inclusive. Les mythes rationalisés apparaissent dans cette étude comme des éléments extrêmement contingents aux démarches, car elle ne met en évidence aucun schéma d'évolution récurrent. Cela exclut donc l'idée d'identifier un *meilleur* MR pour accomplir les démarches d'EIT : toutes montrent la nécessité de changer à la fois les modes d'action et la représentation des situations qui justifient l'action. Comme le montre le travail réalisé dans l'Encadré 6, les idéographes identifiés comme fréquents dans les MR (voir section 6.3) interviennent, eux aussi, de manière diversifiée et tout au long du processus. Les éléments d'analyse dynamique présentés dans cette partie répondent aux questions clés de la thèse concernant le rôle de la promesse plausible, mais ouvrent également un large champ de questions. Premièrement, l'observation d'une forte variabilité des MR au cours des démarches questionne sur la raison de ces variations et leurs conséquences dans le cours de l'action. S'agit-il plutôt de réactions face à des circonstances extérieures, ou alors de stratégies délibérément mises en place par les porteurs ? Deuxièmement, il est possible de se demander si la réussite des démarches, et notamment le succès de l'implication d'autres acteurs, a un lien avec le MR utilisé. La réponse à de telles questions dépasse cependant l'objectif de ces travaux.

Encadré 6 : Idéographes et développement durable.

Idéographes et développement durable

Ces résultats, présentés au congrès icRS 2021, avaient pour but d'explorer plus en profondeur les idéographes observés dans les démarches étudiées dans ce chapitre. Nous en proposons un résumé en français, car ils alimentent des aspects de discussion générale de cette thèse.

Description des idéographes

Sur les 106 discours identifiés, 55 ont une *situation* (voir 6.3) qui correspond à un idéographe soit un peu plus de la moitié. Du fait de la place importante occupée par les idéographes dans l'initiation et l'évolution des démarches d'EIT, nous proposons d'approfondir leur description sur la manière dont ils interviennent, en mobilisant l'analyse des discours proposée par ce chapitre. Les idéographes mobilisés rentrent dans la logique générale du développement durable tel que proposé par Brundtland (Brundtland, 1987), c'est-à-dire incluant trois conditions : le développement économique,

la préservation de l'environnement et l'amélioration des conditions sociales⁸⁶. Aussi, tous les idéogrammes identifiés dans les discours présents au sein des démarches d'EIT peuvent être décomposés selon ce cadre. Par exemple, un objectif « d'éco-efficacité » intègre à la fois la dimension environnementale et économique, mais pas la dimension sociale. La Figure 50 représente les différents idéogrammes rencontrés dans les discours décomposés de la sorte. S'il apparaît un certain déséquilibre en faveur de la dimension économique (seulement un type d'idéogramme n'y fait pas référence), de nombreux idéogrammes intègrent les trois dimensions du développement durable.

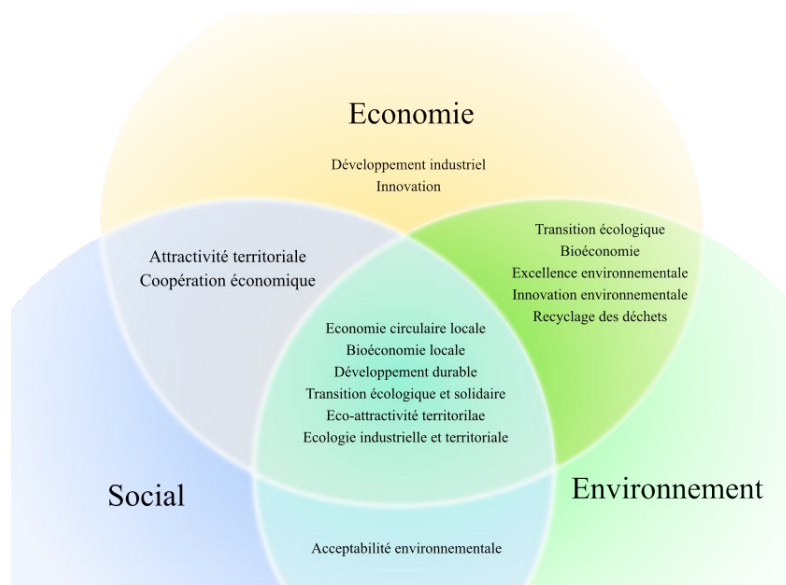


Figure 50 : Idéogrammes identifiés dans les discours décomposés dans les trois dimensions du développement durable.

Analyse dynamique des idéogrammes

Parmi les 55 idéogrammes identifiés, 52 intègrent le développement économique, 45 intègrent la préservation de l'environnement et 31 l'amélioration des conditions sociales. Cependant, respectivement, 14, 12 et 13 démarches sur les 14 étudiées intègrent au moins un idéogramme lié à l'économie, l'environnement et le social. Cela signifie qu'en combinant les différents idéogrammes apparaissant au fil du temps au sein des démarches, la plupart de celles-ci intègrent les trois dimensions du développement durable. Il est également possible d'analyser de manière dynamique l'apparition de ces différents idéogrammes au cours des démarches (cf section 6.5). Cette analyse est proposée par la Figure 51-A. Il apparaît que les différentes dimensions du développement durable ne sont pas associées à une phase particulière des démarches, contrairement à ce qui aurait pu être supposé – par exemple, que celles-ci se focalisent sur l'économie dans un premier

⁸⁶ Cette représentation du développement durable est aujourd'hui dépassée au niveau institutionnel par l'existence de 17 objectifs de développement durable (ODD). Elle a également été vivement critiquée du fait qu'elle présente l'économie et la société comme des sphères qui peuvent s'extraire de l'environnement ((Williams et Millington, 2004)). Malgré cela, cette représentation est très adaptée pour illustrer le propos et démontrer le rattachement des idéogrammes au développement durable.

temps, avant de s'intéresser aux aspects sociaux et environnementaux. Par ailleurs, il apparaît que le type d'idéographe mobilisé dépend également peu de l'acteur initiateur, comme le montre la Figure 51-B. Ici encore, il serait faux d'avoir une approche réductrice supposant que les acteurs publics mobilisent plus les aspects environnementaux et sociaux que les acteurs privés.

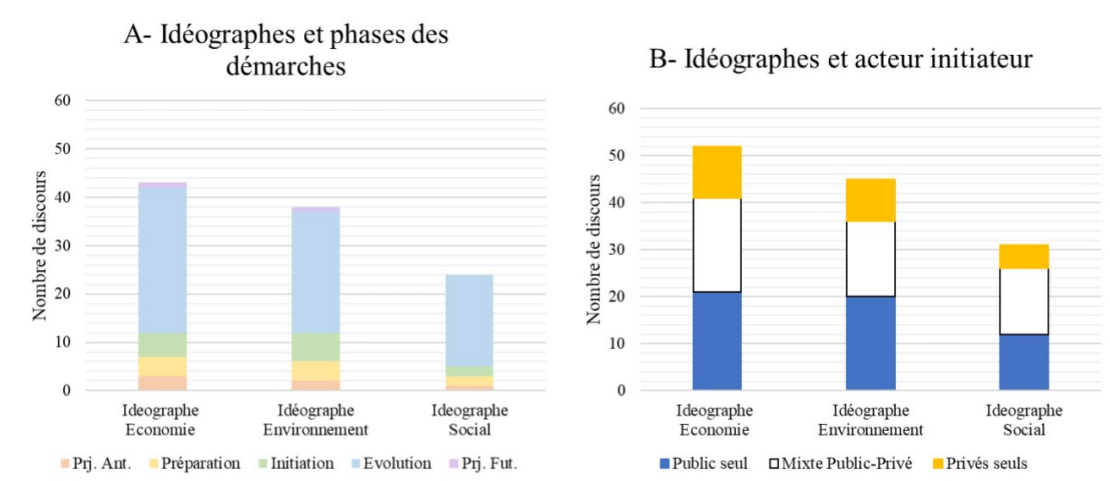


Figure 51 : Analyse de la nature des idéographes en fonction des phases des démarches et des acteurs initiateurs

Conclusion sur les idéographes

Cette analyse complémentaire informe de la diversité des idéographes mobilisés dans les démarches d'EIT, et du fait que leur qualité n'a pas de lien évident avec les caractéristiques temporelles de la démarche, ni avec les acteurs qui les formulent. Cela permet d'écarter les interprétations simplistes quant à la fréquence des idéographes dans les mythes rationalisés, et souligne l'importance de s'intéresser à leur construction et à leur évolution.

Conclusion de la partie II

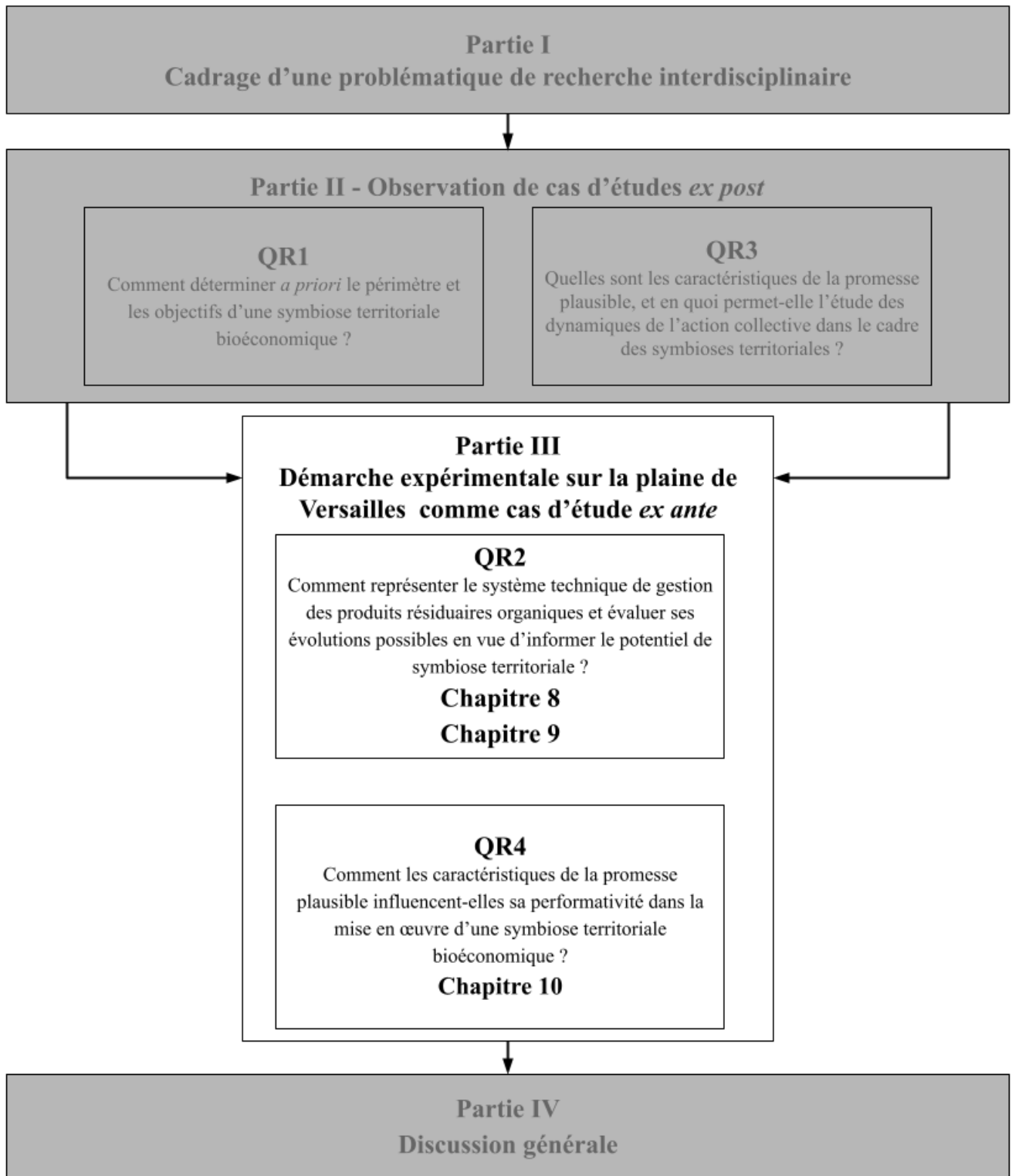
Les enseignements issus de ces études de cas fournissent une base théorique solide pour comprendre à la fois la manière de concevoir un projet de symbiose territoriale bioéconomique, et la manière formaliser ce projet au travers de promesses plausibles. Ces outils théoriques, développés en lien avec une large diversité de situations, permettent de prétendre à une certaine robustesse et généralité. Elles fournissent en revanche peu d'informations quant à la situation spécifique de cette thèse qui n'y est pas réellement représentée. Aucun des cas étudiés ne représente parfaitement la symbiose territoriale bioéconomique telle qu'elle a été proposée dans le Chapitre 1. Si la bioéconomie n'est pas absente des symbioses industrielles étudiées et décrites par la littérature (Chapitre 5), celles-ci ne s'inscrivent que peu dans le schéma de bioraffinerie métabolique correspondant aux ambitions de la symbiose territoriale. Focalisées sur le secteur secondaire, l'agriculture n'y est que peu intégrée dans le réseau de synergies. Dans l'analyse des démarches d'EIT françaises (Chapitre 6), nous avons pu observer que l'initiateur était très rarement un acteur scientifique. De plus, si toutes les démarches d'EIT comportent des promesses plausibles, celles-ci ne conduisent pas toutes à une réelle dynamique d'apprentissage adaptatif et d'innovation inclusive. Pour étudier l'initiation d'une symbiose territoriale bioéconomique à partir d'une promesse plausible construite sur une base scientifique, ces analyses de cas d'étude sont donc insuffisantes. Pour aller plus loin, il est nécessaire de conduire une expérimentation dans un cadre idéal, fictif, représentant cas d'étude de symbiose territoriale *ex ante*. Ce cadre correspond à une situation de rupture métabolique territorialisée dans laquelle il *serait* pertinent d'entreprendre une concertation, sans qu'il n'y ait de réelle dynamique collective à l'heure actuelle. Les acquis théoriques de cette partie permettent de construire une base méthodologique pour la conception et la mise à l'épreuve de promesses plausibles dans le cadre expérimental de la plaine de Versailles, qui seront mis en application dans la Partie III.

Partie II

Partie III

Conception et mise à l'épreuve de promesses plausibles sur la plaine de Versailles

L'objectif de cette partie est de mettre en action les modèles théoriques établis dans la Partie II afin d'observer de manière expérimentale l'influence de la promesse plausible sur le succès de l'initiation d'une démarche de concertation. Elle répond de ce fait aux questions de recherche QR 2 et QR 4. Le Chapitre 7 détaille la méthodologie générale de cette partie, qui nécessite à la fois de comprendre le fonctionnement actuel du système sociotechnique de gestion des produits résiduels organiques (Chapitre 8), d'élaborer des scénarios de transformation de ce système (Chapitre 9) et de les mettre en scène au travers de promesses plausibles construites à des fins expérimentales (Chapitre 10). Bien que cette partie forme un tout cohérent, chacun de ces chapitres peut être considéré comme indépendant.



Chapitre 7. Définition d'une stratégie de recherche pour l'étude interdisciplinaire du système de gestion des produits résiduaux organiques et l'évaluation de promesses plausibles sur la plaine de Versailles

Ce chapitre constitue une charnière articulant les deux grandes parties de résultats de la thèse. Il montre comment les résultats théoriques obtenus dans la Partie II sont mobilisés pour concevoir une méthodologie originale et interdisciplinaire pour répondre aux questions de recherche QR 2 et QR 4 dans la Partie III. Il présente de manière détaillée la stratégie de recherche adoptée et la démarche expérimentale entreprise dans ce but sur la plaine de Versailles. Cette étude structurante dans le travail de thèse s'est déroulée en plusieurs phases distinctes, relativement indépendantes dans leur réalisation, mais connectées les unes aux autres dans leur finalité. Le présent chapitre détaille la stratégie de recherche⁸⁷ générale et explicite notamment les questions et hypothèses de recherche centrales (7.1), la traduction des acquis théoriques de la Partie II en éléments méthodologiques (7.2) et les modalités générales d'acquisition des données (7.3). Il se conclut sur une feuille de route de la Partie III, présentant la contribution des différents chapitres aux objectifs de recherche.

⁸⁷ A l'instar des éléments présentés dans le Chapitre 4, la méthodologie précisément utilisée pour chaque partie de l'étude ne sera développée que lorsque les résultats de ces études seront présentés.

7.1. Objectifs et hypothèses pour une étude de cas en amont d'une potentielle concertation

7.1.1. Objectifs de recherche

L'objectif de cette phase de recherche est de construire et mettre à l'épreuve⁸⁸ un ensemble de promesses plausibles au sein du système sociotechnique de gestion des produits résiduels organiques (SGPRO) de la plaine de Versailles. Une promesse plausible correspond, selon la formalisation proposée dans le Chapitre 6, au discours d'un acteur initiateur confronté à une situation et visant à engager des acteurs-cibles dans un processus collectif répondant à cette situation. Comme détaillé dans le Chapitre 1, elle correspond à une promesse technique suffisamment mature pour intéresser les acteurs-cibles⁸⁹, mais ne se prononce pas sur la forme exacte des actions à entreprendre. La littérature est lacunaire sur l'initiation de démarches collectives (*cf.* Chapitre 1) et aucuns travaux, à notre connaissance, ne s'y sont intéressés avec une approche expérimentale. Une méthodologie permettant de concevoir et d'évaluer ces promesses plausibles reste ainsi à développer, *a fortiori* dans une situation où la concertation n'est pas encore initiée. Cette partie se propose d'entreprendre une expérimentation grandeur nature, sur un territoire où pourrait effectivement se dérouler une symbiose territoriale. Elle se base sur le cas d'étude de la plaine de Versailles, pré-identifié en tant que territoire présentant une rupture métabolique territorialisée et sur lequel il n'existe à ce jour pas de démarche de gestion concertée. Dans la Partie II, l'analyse portait sur l'intégralité des démarches, et nous avons montré en quoi cela était pertinent, notamment pour comprendre la diversité des mythes rationalisés et l'aspect dynamique de la promesse plausible – celle-ci ne se limitant pas à la phase d'initiation. Dans cette partie, la question posée se resserrera sur la phase précise d'initiation et donc la **promesse plausible initiale**. Il ne s'agit pas pour autant de chercher à initier *réellement* une telle symbiose – dans le cadre de la recherche, du moins. Ce qu'il adviendrait *après* l'initiation de la symbiose est également hors des limites de cette analyse. L'objectif principal de cette partie est d'évaluer la performativité de promesses plausibles initiales, c'est-à-dire leur capacité à mobiliser les acteurs-cibles dans une action collective n'existant pas encore (*cf.* Chapitre 3). Conduire cette analyse requiert de donner corps, sur la plaine de Versailles, aux deux aspects de la promesse plausible développés au Chapitre 1 : sa **mise en formule** et sa **formalisation**. D'une part, le **contenu technique** d'une promesse plausible doit être conçu, en se basant sur une compréhension poussée du territoire, ou plus exactement d'un système-territoire dont il faudra d'ailleurs explicitement délimiter les contours. Dans une perspective expérimentale, ce sont en réalité *plusieurs* contenus techniques différents et contrastés qui devront être conçus, de manière à pouvoir tester le lien entre ces contenus et la performativité des différents discours qui les mettent en scène. L'élaboration de ces éléments techniques requiert un travail préalable important, impliquant notamment de déterminer et quantifier les flux de matières dans la situation actuelle, mais également de comprendre les facteurs d'influence, rôles des acteurs et leviers d'évolution du SGPRO. Ces

⁸⁸ Notons qu'ici, l'épreuve dont il est question est tout à fait en phase avec *l'épreuve* de la sociologie pragmatique (Barthe *et al.*, 2013) : elle correspond à une situation d'action et de choix, dont nous chercherons à comprendre les leviers.

⁸⁹ Pour rappel, terme défini au Chapitre 6, Section 6.1.

éléments constituent une base essentielle pour concevoir les projets de symbiose territoriale mis en avant dans les différentes promesses plausibles. Ils permettront également d'identifier l'ensemble des acteurs-cibles qui seraient potentiellement parties prenantes dans une démarche de concertation et donc à qui il est pertinent de présenter des promesses plausibles. Au-delà du contenu technique, il faut également déterminer les différentes **modalités de formalisation**, c'est-à-dire les caractéristiques qui seront intentionnellement modifiées d'une promesse plausible à l'autre, afin d'en tirer des enseignements sur leur conception. Au vu de cette feuille de route, trois objectifs à accomplir successivement se distinguent au sein de cette partie :

- (A) **Comprendre** le fonctionnement actuel du SGPRO de la plaine de Versailles, les mécanismes qui expliquent ce fonctionnement, ses possibilités d'évolution et le rôle de ses acteurs dans cette évolution (QR 2) ;
- (B) **Elaborer** le contenu technique de promesses plausibles en concevant et en analysant des scénarios de symbiose territoriale, de manière à prévoir les conséquences qui en résulteraient pour le territoire (QR 2) ;
- (C) **Mettre à l'épreuve** ces promesses plausibles afin d'évaluer le lien entre leurs caractéristiques et leur performativité, en recueillant l'avis d'acteurs-cibles pertinents du territoire (QR 4).

La réponse à ces différents objectifs nécessitera de puiser dans des méthodologies et des champs d'expertise et de connaissances diversifiés, dans une approche globale interdisciplinaire. De même qu'au Chapitre 4, il est impossible d'établir dès le départ une méthodologie précise pour répondre à ces questions, car cela nécessite de se baser sur des résultats intermédiaires préalables. Ce chapitre présente donc la stratégie de recherche générale pour atteindre ces trois objectifs, et des éléments méthodologiques plus spécifiques seront introduits dans les chapitres suivants.

7.1.2. Hypothèses méthodologiques centrales pour la conception et l'évaluation de promesses plausibles

La stratégie de recherche se base sur des hypothèses importantes et structurantes dont il faut faire état. La principale hypothèse est que le cadre théorique de la promesse plausible est effectivement un angle d'approche pertinent pour étudier l'initiation de démarches de gestion concertées de symbiose territoriale. Plus exactement, cette partie considère les résultats obtenus précédemment dans la thèse aux Chapitre 5 et Chapitre 6 comme des acquis suffisamment robustes à partir desquels une méthodologie expérimentale peut être construite. Cela suppose donc qu'il existe bien, dans une symbiose territoriale bioéconomique, un discours initiateur, fédérateur, qui constitue ce que nous avons étudié comme des promesses plausibles. Outre ce parti pris, cette partie de la thèse repose sur trois hypothèses principales :

- (H1) Le contenu d'une promesse plausible a effectivement une influence sur l'intérêt des acteurs-cibles pour participer à la concertation.

La promesse plausible s'adresse à des acteurs-cibles (cf. Chapitre 6) dont les modes d'action et de décision quant à la participation à une concertation restent relativement flous. A ce titre, il pourrait tout à fait être envisagé que des éléments extérieurs au discours aient un poids beaucoup plus important dans la volonté de participer des acteurs-cibles plutôt que la manière dont la promesse plausible est construite. Par exemple, le poids du contexte territorial,

contingent à la situation d'étude, est essentiel à évaluer. Le contexte socio-politique du territoire et le contexte économique et technologique au sein desquels s'insère un acteur-cible pourraient représenter des freins ou leviers déterminants, rendant insignifiants les détails spécifiques mis en avant au sein des promesses plausibles. L'hypothèse (H1) est étudiée au travers des objectifs proposés. L'étude descriptive et qualitative du SGPRO (Objectif (A)) permet de mieux comprendre la nature exacte de ces éléments sociotechniques contingents, que nous appellerons *facteurs d'influence*. Dans la mise à l'épreuve des promesses plausibles (Objectif (C)), nous pourrions ainsi observer le poids et la manière dont interviennent ces facteurs d'influence dans le jugement des acteurs-cibles relativement aux caractéristiques intrinsèques du discours.

(H2) Le cas échéant, l'intérêt se base, au moins en partie, sur le partage du constat d'une situation issue d'une connaissance scientifique du territoire.

Si le contenu du discours se révèle effectivement important pour expliquer l'intérêt des acteurs, il est possible que cet intérêt ne soit pas directement lié aux éléments de connaissance scientifique insérés dans ces discours. Vérifier cette hypothèse implique premièrement de construire un contenu technique fiable du point de vue scientifique en se basant sur la connaissance du territoire et les enjeux de la rupture métabolique (Objectif (B)). Ensuite, il faut estimer si l'intérêt des acteurs est lié ou non à ces éléments techniques. Pour cela, comme présenté dans le Chapitre 3, il faut évaluer à la fois la plausibilité et la crédibilité des promesses plausibles présentées aux acteurs-cibles et analyser leurs réponses de manière qualitative (Objectif (C)). L'hypothèse serait appuyée par une corrélation marquée entre la plausibilité – la volonté de participer à une démarche – et la crédibilité – la confiance dans le fait que les informations véhiculées par la promesse sont véridiques. Elle serait au contraire infirmée par une forte indépendance entre ces deux variables.

(H3) Les facteurs psychologiques des individus affectent marginalement l'évaluation des promesses plausibles et l'analyse du SGPRO

Les facteurs psychologiques propres à chaque individu sont potentiellement des éléments explicatifs importants dans l'évaluation qu'ils proposeront pour les promesses plausibles. Cette vision ramenant la décision à des facteurs individuels doit cependant être dépassée dans l'analyse d'un système d'interactions complexes (Russell et Lux, 2009). De ce fait, les différents entretiens conduits au cours de cette étude ne cherchent pas à mettre de tels phénomènes en évidence, ce qui nécessiterait une approche quantitative inadaptée à l'étude du SGPRO (comme nous le développons au Chapitre 10). L'objectif (C) ne consiste pas à déterminer des leviers psychologiques inconscients, comme cela pourrait être réalisé en économie comportementale (Tversky et Kahneman, 1974), mais à identifier les logiques stratégiques des acteurs dans leur considération des démarches de concertation, ce qui s'ancre plutôt dans l'analyse de jeux d'acteurs et de parties prenantes (dos Muchangos *et al.*, 2017 ; Mermet *et al.*, 2005). Les répondants seront donc explicitement appelés à s'exprimer au nom de la structure qu'ils représentent (le cas échéant), et non selon leur sensibilité individuelle. S'il n'est pas garanti que cette consigne suffise à écarter tous biais liés à la sensibilité individuelle de ces acteurs, nous négligerons ceux-ci dans l'analyse des entretiens, en considérant que la parole donnée par le répondant est représentative de la vision portée par la structure dont il fait partie. Afin de s'assurer qu'ils disposent d'une telle vision, une attention particulière sera donnée à la sélection des répondants selon leur position dans leur structure. Pour la compréhension du SGPRO (objectif (A)), les répondants devront être des experts référents sur

les questions abordées (la gestion des PRO) au sein des différentes structures – ou les décisionnaires en la matière, en l’absence d’une expertise dédiée. Pour la mise à l’épreuve des promesses plausibles (objectif (C)), ils doivent disposer soit d’un pouvoir de décision, soit d’une vision stratégique des activités conduites sur la plaine de Versailles (de manière à pouvoir répondre comme s’ils avaient un pouvoir de décision).

7.2. Conception d’une méthodologie d’expérimentation s’appuyant sur les apports théoriques

Les enseignements issus de la partie II peuvent prétendre à une certaine généralité qui les rend mobilisables pour la démarche expérimentale. Bien qu’aucun des cas d’étude ne corresponde exactement à une symbiose territoriale bioéconomique, ils fournissent une base théorique solide pour identifier à la fois les différentes modalités de contenu technique qui peuvent être testées auprès d’acteurs-cibles et la façon de le formaliser. Cette section détaille comment est effectuée cette transposition dans la situation expérimentale sur la plaine de Versailles. La première étape est de spécifier les contours de l’objet d’étude, c’est-à-dire du système-territoire (7.2.1). La seconde étape est de spécifier les questions de recherche selon la formalisation du cadre théorique de la promesse plausible et du mythe rationalisé (7.2.2). La troisième étape est d’établir une méthodologie d’évaluation à partir de ces éléments de manière à fixer des objectifs précis à chaque étape de l’étude (7.2.3).

7.2.1. Délimitation du SGPRO de la plaine de Versailles comme un système-territoire

Tableau 14 : Délimitation des frontières du système-territoire étudié. Voir le texte pour la définition des sigles et des explications plus détaillées.

	<i>Périmètre délimité</i>	<i>Réseau d’acteurs</i>	<i>Espace d’enjeux</i>
<i>Frontière de l’objet d’étude</i>	APPVPA	SGPRO	Résorption de la rupture métabolique dans un territoire agri-urbain.
<i>Conséquence pour l’étude</i>	Périmètre organisationnel et permettant de comptabiliser des flux de matière. L’analyse est centrée sur ce périmètre, vu comme représentatif, mais ne s’y limite pas.	Acteurs et éléments sociotechniques intervenant de manière directe ou indirecte dans la production, transformation et l’utilisation des PRO.	Focalisation sur le recyclage des nutriments en agriculture.

L’objet central de cette étude est le système sociotechnique de gestion des PRO (SGPRO) de la plaine de Versailles, dont la définition et les frontières doivent être explicitées. Il devient en effet à ce stade peu adapté de parler du « territoire », ou même de la « plaine de

Versailles », termes trop génériques et flous. Comme nous l’avons développé dans le Chapitre 4, un système-territoire consiste à fixer des frontières de trois natures : un périmètre délimité, un système d’acteurs et un espace d’enjeux. La forme que prennent ces trois éléments dans l’analyse qui sera conduite tout au long de cette partie est présentée dans le Tableau 14. L’ancrage spatial de ce système est matérialisé par le **périmètre délimité** de l’association patrimoniale de la plaine de Versailles et du plateau des Alluets (APPVPA), dont un bref historique est présenté par l’Encadré 7. Par la suite, nous appellerons **périmètre** (ou « APPVPA ») la référence à cette délimitation arbitraire seule. Deux raisons justifient l’utilisation d’un tel périmètre pour caractériser le système-territoire étudié. La première, d’ordre méthodologique, est que cette unité spatiale est celle utilisée pour les études quantitatives et qualitatives précédentes effectuées (voir 7.3.1). La seconde, d’ordre théorique, est que l’APPVPA représente une structure d’animation territoriale qui pourrait être pertinente et légitime dans l’entreprise d’une démarche de symbiose territoriale, car elle fédère déjà des acteurs issus de monde différents – même si ceux-ci ne représentent pas, en l’état actuel, la diversité d’acteurs qui serait concernée par une telle symbiose. Il s’agit donc d’un périmètre organisationnel pertinent, critère que nous avons identifié comme justifiant l’intérêt d’introduire des limites spatiales arbitraires dans le Chapitre 5. Le réseau d’acteurs associé à ce périmètre délimité correspond à ce que nous avons appelé au Chapitre 2 le système sociotechnique de gestion des PRO (SGPRO). Il est composé de l’ensemble des producteurs de PRO (entreprises ou particuliers), transformateurs (entreprises de compostages, d’épuration, de méthanisation), utilisateurs (essentiellement les agriculteurs) et de tous les autres acteurs qui interviennent de près ou de loin dans ces échanges (par exemple, les collecteurs de déchets, entreprises de conseil, associations environnementales, collectifs de compostage de quartier, administrations, agences techniques...). Ces acteurs sont souvent représentés par des structures (entreprises, collectivités, agences, chambres consulaires, exploitation agricole...), de tailles variées – éventuellement limitée à un seul individu⁹⁰. Ce réseau peut également être étendu, sous l’angle de la théorie de l’acteur-réseau (Callon, 2006) à un ensemble d’éléments non humains. Il intègre alors les infrastructures (plateformes de traitement, routes,...), les équipements (composteurs, séparateurs de phase, épandeurs, camions de transport), les institutions (réglementations, normes professionnelles...), et autres états de fait socioéconomique⁹¹ (rapports interpersonnels, réputations, parts de marché...), permettant d’accomplir ces différentes fonctions. Enfin, l’**enjeu** du système-territoire, c’est-à-dire l’objectif de l’observateur, est de résorber la rupture métabolique territorialisée au travers d’une symbiose territoriale. Les études et analyses entreprises sur le système-territoire porteront une attention particulière au recyclage des PRO dans les systèmes agricoles. Ce cadrage peut amener à négliger d’autres aspects du système de gestion de déchets ou des questions bioéconomiques plus larges (voir Chapitre 4).

⁹⁰ Lorsque nous intégrons par exemple “les agriculteurs” dans cette analyse, il n’est ainsi pas question d’étudier le comportement précis d’individus en particulier (cf. l’hypothèse H3 du 7.1.2), mais plutôt les logiques qui régissent les actions de l’acteur “exploitation agricole”.

⁹¹ Ces aspects seront clairement illustrés par les résultats de la première phase de cette étude (Chapitre 8).

Bref historique de l'APPVPA

L'APPVPA a été créée en 2004 dans le but de coordonner le développement agricole de son périmètre, en impliquant les élus, les agriculteurs et les représentants de la société civile au travers de trois collèges. Elle a émergé à la suite de la classification, en 2000, de 2600 ha agricoles de la plaine comme étant inconstructibles, afin de préserver la perspective du château de Versailles. Une structuration du monde agricole sous forme de démarche patrimoniale (Pupin *et al.*, 2008) a donc été engagée afin de garantir le maintien de l'activité agricole malgré la pression croissante du monde urbain. En 2009, l'APPVPA est lauréate du programme de développement national LEADER (Liaison Entre Actions de Développement de l'Économie Rurale), qui redistribue les subventions du Fond Européen Agricole de Développement Rural (FEADER). Cette période charnière a alors permis à l'association d'affirmer son action fédératrice (APPVPA, 2015). La dynamique engagée a alors fait naître de nombreux projets de valorisation du patrimoine naturel, de développement et de diversification des activités agricoles, de développement du tourisme et d'actions environnementales. Des partenariats avec le monde universitaire et académique ont également vu le jour, qui sont notamment à l'origine de certains travaux sur lesquels nous nous sommes basés (notamment Dhaouadi, 2014 et Joncoux, 2014). Cette émulation a permis de construire la légitimité de l'APPVPA en termes d'animation territoriale, qui est encore d'actualité aujourd'hui. Après 2014, l'APPVPA ne disposait plus de subventions, qui ont été attribuées à des territoires voisins. C'est d'ailleurs un moment où le périmètre de l'association se recompose, certains membres quittant l'association pour se rattacher aux territoires voisins bénéficiaires de subventions, tandis que de nouveaux membres l'ont rejointe, partageant les inquiétudes liées au développement rural. Malgré une diminution de l'activité liée à la fin des subventions, l'APPVPA continue son activité de renforcement des liens entre les milieux urbains et ruraux, en organisant des animations entre les acteurs des collèges et en promouvant le territoire et ses activités. Elle s'implique dans de nouveaux projets territoriaux, comme un plan alimentaire territorial, en association avec d'autres associations patrimoniales, ou une étude concernant le potentiel d'implantation de nouvelles unités de méthanisation en partenariat avec GRDF.

Insistons une nouvelle fois sur le fait que l'objet d'étude ne se limite donc pas au périmètre de L'APPVPA. Il est ici considéré comme une zone représentative d'un système territorial régional plus large, témoignant d'une rupture métabolique territorialisée, du fait de sa proximité avec des zones urbaines denses et de son activité agricole intensive. Ainsi, dans les représentations cartographiques et schématiques présentées au cours de cette partie, la matérialisation du périmètre ne signifie pas que l'analyse se limite aux éléments présents à l'intérieur de ses limites. Son périmètre permet de comptabiliser un ensemble de flux entrants et sortants qui donnent un ordre de grandeur du potentiel existant, et distingue un ensemble d'acteurs à l'intérieur de ceux à l'extérieur. Le potentiel de résorption de la rupture métabolique ne s'y restreint cependant pas.

7.2.2. Caractérisation de la promesse plausible de la situation d'étude

Les questions et objectifs de recherche présentés ne sont pas encore suffisamment détaillés pour définir concrètement un plan d'expérimentation. Le formalisme théorique développé dans le Chapitre 6 conduit à définir la promesse plausible comme un discours que l'on peut représenter au travers des questions « Qui ? », « A Qui ? », « Pour Quoi ? » et « Quoi ? », correspondant respectivement à un acteur initiateur, des acteurs-cibles, une situation et une réponse collective. Ces deux derniers éléments constituent un mythe rationalisé, élément central de la promesse plausible. La transposition de la situation d'étude selon ces éléments, présentée dans le Tableau 15, rend les questions de recherche plus tangibles et peut servir de base pour la démarche expérimentale. Ce cadre théorique permet en effet de distinguer les éléments correspondant à des données de cadrage, issus de la problématique de recherche, et donc d'identifier les éléments modulables lors de l'expérimentation.

Tableau 15 : Décomposition de la situation d'étude selon la formalisation théorique de la promesse plausible.

	<i>Acteur Initiateur (Qui ?)</i>	<i>Acteurs-cibles (A Qui ?)</i>	<i>Situation (Pour Quoi ?)</i>	<i>Réponse collective (Quoi ?)</i>
<i>Situation d'étude</i>	Acteur scientifique	Parties prenantes potentielles lors d'une symbiose territoriale	Contenu technique de la promesse plausible orienté sur la rupture métabolique	Symbiose territoriale (Co-construction)
<i>Moyen de détermination</i>	Donnée de cadrage	A identifier par la compréhension du SGPRO	A déterminer à partir de la connaissance du système-territoire	Donnée de cadrage
<i>Traduction dans les objectifs de recherche</i>		Objectif A : Identifier les acteurs-cibles pertinents	Objectif B : Construire des contenus techniques ayant une situation contrastée Objectif C : Construire une gamme de promesses plausibles basée sur une variation maîtrisée de la situation	

Dans les Chapitre 1 et Chapitre 3, nous avons identifié **l'acteur initiateur** comme une donnée de cadrage de la recherche. Pour rappel, une interrogation principale de cette thèse est la manière d'effectuer un transfert de connaissances scientifiques et techniques sur une situation, par la promesse plausible, pour qu'il en résulte des actions dans la société. Cela implique, dans ce cas, que l'acteur initiateur est **issu du milieu scientifique**. Il s'agit d'un expert ayant étudié la situation de rupture métabolique dans le système-territoire. Rappelons que cette figure universitaire, si elle n'est pas totalement absente, fait figure d'exception dans l'initiation des démarches d'EIT (Chapitre 6). Celles-ci sont plus généralement initiées et animées par des acteurs publics disposant d'un certain pouvoir représentatif, ou par des acteurs privés. En ce qui concerne la **réponse collective**, les mêmes Chapitre 1 et Chapitre 3 définissent de manière assez précise les conditions de réalisation d'une symbiose territoriale et donc les modalités qu'elle implique. Il s'agit d'une démarche de gestion concertée et d'un apprentissage adaptatif, ayant pour objectif que les acteurs prennent un rôle actif dans l'évolution du SGPRO et déterminent

collectivement de nouvelles orientations cohérentes avec leur besoin. Dans la catégorisation des mythes rationalisés proposée au Chapitre 6, cette modalité correspond à **une action de co-construction**. Par ailleurs, les frontières de cette étude ont explicitement été positionnées en *amont* de la démarche de concertation. Son objectif n'est donc pas d'évaluer les performances des promesses plausibles en fonction de différents types de réponses collectives. Pour ces raisons, nous pouvons également considérer que la réponse collective est une donnée de cadrage et ne constitue pas une variable expérimentale dans l'évaluation des promesses plausibles.

La question des **acteurs-cibles** est intrinsèquement liée à celle de la définition du système-territoire, dont les contours ont été précisés dans la section précédente (7.2.1). Les acteurs-cibles à qui se destinent la promesse plausible correspondent en effet aux acteurs du système-territoire, défini en cohérence avec les objectifs de la démarche de concertation. Malgré ce cadrage, il est à ce stade impossible de déterminer quels acteurs identifiés au sein du SGPRO sont des acteurs-cibles (ou parties prenantes) pertinents pour participer à une telle concertation. L'étude du système-territoire (objectif A) doit être conduite de manière à permettre l'identification des acteurs qui pourraient réellement être amenés à participer à une symbiose territoriale. La **situation**, en tant que justification collective, correspond au contenu technique de la promesse qui est partiellement défini par le cadrage de la problématique. Si, de manière générale, la promesse plausible dont il est question prend pour point de départ la rupture métabolique territorialisée (Chapitre 1), la manière exacte de formaliser cette situation est une inconnue centrale du travail de recherche. L'objectif de recherche devient donc, connaissant la nature de l'acteur initiateur et la réponse collective envisagée, de déterminer la situation à incorporer dans une promesse plausible pour qu'elle soit performative. Cela a des conséquences importantes pour les objectifs (B) et (C) : les situations mises en scène par les promesses plausibles construites pour l'expérimentation doivent être amenées à varier de manière contrastée et maîtrisée.

7.2.3. Variation de la situation des promesses plausibles et objectifs de conception

Suivant le résultat obtenu au Chapitre 6, deux éléments caractérisent une situation : leur temporalité et leur niveau de définition. Ces deux caractéristiques correspondent à des variables à tester lors de la mise à l'épreuve des promesses plausibles. La gamme présentée aux acteurs-cibles devra donc être conçue de manière à moduler, « toutes choses égales par ailleurs », l'horizon temporel des promesses plausibles et la qualité de leur définition. Dans l'idée où il existerait un « optimum » d'élaboration (voir section 1.5 du Chapitre 1), cela implique de tester au moins trois valeurs dans chacune de ces dimensions : deux valeurs « extrêmes » et une valeur intermédiaire. La différence de temporalité des situations correspond à la représentation de différents **scénarios d'évolution du SGPRO**: un scénario court terme (S1), moyen terme (S2) et long terme (S3). Par ailleurs, chacun de ces scénarios peut être formalisé selon différents niveaux de détail, un niveau mal défini (D1), un niveau intermédiaire⁹² (D2) et un niveau explicite (D3). Le Tableau 16 présente cette gamme de 9 promesses plausibles.

⁹² Ce niveau de définition intermédiaire est plus difficile à concevoir conceptuellement que le niveau temporel intermédiaire. Sa formalisation est proposée au Chapitre 10.

Tableau 16 : Gamme de promesses plausibles à concevoir pour la démarche expérimentale de la plaine de Versailles/

	S1 <i>Court terme</i>	S2 <i>Moyen terme</i>	S3 <i>Long terme</i>
D1 <i>Mal définie</i>	S1 – D1	S2 – D1	S3 – D1
D2 <i>Niveau intermédiaire</i>	S1 – D2	S2 – D2	S3 – D2
D3 <i>Explicite</i>	S1 – D3	S2 – D3	S3 – D3

Conception du contenu technique

Dans une situation qui se présente à court terme, la justification de l’action collective se base sur la connaissance de l’état actuel du système – état qui témoigne donc de l’intérêt d’une telle action. Elle n’intègre donc aucune indication sur les modifications à entreprendre pour modifier le SGPRO, laissant aux acteurs-cibles une grande marge de manœuvre sur le déroulement de la concertation. Cette modalité constitue la forme la plus ouverte de concertation possible. Le contenu technique sur lequel elle se base est simplement constitué d’un **diagnostic technique** du système-territoire, et de l’identification de menaces ou d’opportunités au travers de ce diagnostic. L’accomplissement de l’objectif (A) permettra d’obtenir de tels éléments de diagnostic et donc le contenu technique du scénario S1.

Une situation à moyen ou long terme implique en revanche de passer d’une approche descriptive à une approche prescriptive. Au-delà du contraste temporel, les résultats du Chapitre 5, permettent d’appuyer la conception de ces scénarios d’évolution du SGPRO. Ils informent sur différents schémas de synergies bioéconomiques au sein des symbioses industrielles, contribuant de manière plus ou moins évidente à la durabilité. Parmi ces schémas, deux intègrent la vision bio-écologique de la bioéconomie, qui porte les ambitions d’une durabilité forte – ressource métabolique et bioraffinerie métabolique, cf. section 5.3. Les synergies s’inscrivant dans le schéma de **ressources métaboliques** demandent peu d’aménagement et s’inscrivent dans une vision à moyen terme. Dans cette optique, le scénario S2 sera avant tout focalisé sur une mobilisation accrue des ressources du système-territoire. Cela implique de réduire au maximum la quantité de PRO actuellement non valorisés, et traduit donc un objectif centré sur la circularité-sortant (voir section 2.3.3 du Chapitre 2). Comme le montre le Chapitre 5, c’est un schéma très courant dans les symbioses industrielles classiques, mais dont les gains rapides se font parfois au détriment de la durabilité. Les synergies s’inscrivant dans le schéma de **bioraffinerie métabolique** nécessitent le développement d’infrastructures appropriées au métabolisme du système-territoire, dans une vision à plus long terme. En suivant cette logique, le scénario S3 se donnera pour objectif de substituer des engrais de synthèse dans les exploitations agricoles grâce aux PRO du système-territoire. Cela implique la mise en place de procédés de transformation spécifiquement conçus pour subvenir aux besoins agricoles, y compris s’ils ne sont pas encore tout à fait matures à l’heure actuelle. En visant explicitement à résorber la rupture métabolique dans une logique de circularité-intrant, ce scénario s’inspire plus de la bioéconomie⁹³ et s’éloigne des pratiques observées classiquement en symbiose

⁹³ Dans sa vision « bio-écologique », cf. Chapitre 5.

industrielle. Les différences conceptuelles entre les trois scénarios envisagés – ou contenus techniques – sont présentées et synthétisées dans le Tableau 17.

Tableau 17 : Caractéristiques des trois scénarios contrastés à déterminer.

Scénarios	S1	S2	S3
<i>Horizon temporel</i>	Court terme (l'action se base dans l'immédiat, à partir de la connaissance existante)	Moyen terme	Long terme
<i>Définition</i>	Diagnostic de la rupture métabolique territorialisée	Intensification des dynamiques d'évolution améliorant le recyclage des PRO	Rupture et changement de régime sociotechnique axé sur la stratégie bioéconomique
<i>Schéma de synergie privilégié</i>	Non prescriptif	Ressources métaboliques	Bioraffinerie métabolique
<i>Objectif privilégié des synergies</i>	Non prescriptif	Recyclage (output circularity)	Substitution (input circularity)
<i>Mode de pensée privilégié</i>		Symbiose industrielle	Bioéconomie

L'objectif (B) devra donc se baser sur ces principes, afin de s'insérer dans la stratégie générale de recherche de cette partie. Pour les besoins de conception et d'étude des scénarios S2 et S3, il sera nécessaire d'arrêter un nombre important de choix et d'hypothèse quant aux évolutions du SGPRO mises en place dans une symbiose territoriale. Cependant, les promesses plausibles incorporant ces contenus techniques ne changent pas le type de réponse collective envisagée : celle-ci reste tout autant ouverte à la contribution de chaque acteur. L'aspect prescriptif sert à ce que l'initiateur puisse s'engager sur des aspects précis de scénarios prospectifs, mais n'implique pas que la concertation doive exactement suivre la trajectoire prescrite. Il permet de mettre en lumière le potentiel de symbiose sous un autre jour précisant, au-delà de la situation telle qu'elle est (S1), la situation telle qu'elle *pourrait être*.

Différents niveaux de détail

Le deuxième paramètre à faire varier concerne la *formalisation* à proprement parler des promesses plausibles, telle que nous l'avons définie dans le Chapitre 1, se traduisant par différentes modalités de présentation. Ces modalités doivent représenter trois niveaux de détail différents, du moins bien défini au mieux défini. Un niveau mal défini signifie que le contenu peut être interprété de manière différente par différents acteurs, tandis qu'un niveau explicite laisse peu de place à une telle interprétation. L'étude approfondie du système-territoire et l'élaboration du contenu technique permettront d'obtenir des informations très spécifiques sur chacun des scénarios. Pour l'expérimentation, ce niveau d'information est nécessaire afin d'alimenter le niveau le mieux défini. Les niveaux moins bien définis seront construits en simplifiant ces informations. Une des questions fondamentales que pose la thèse à cet égard est l'importance de disposer d'outils de modélisation en amont de l'initiation (cf. Chapitre 3). Dans ces niveaux de détail, il est donc important non seulement d'introduire des prédictions ayant la prétention d'être issues de tels outils, mais également de mettre en avant le fait que l'outil de modélisation *fait partie* de la promesse plausible. Cela implique de mentionner, dans un des niveaux de détail, qu'un tel outil est disponible pour alimenter le processus de concertation. La déclinaison exacte de ces modalités sera présentée dans le Chapitre 10.

7.3. Acquisition des données et principes généraux d'analyse

Cette section présente de manière synoptique la nature et l'utilisation des données mobilisées pour répondre aux trois objectifs de recherche (A), (B), et (C) (section 7.1.1). Les détails méthodologiques complets seront donnés dans les parties correspondantes (Chapitre 8, Chapitre 9 et Chapitre 10 respectivement). Elle présente notamment les différentes phases d'entretiens qui interviennent de manière transversale entre les objectifs (A) et (C).

7.3.1. Données techniques et données territoriales

Une partie du diagnostic (objectif (A)) s'est basée sur des travaux d'ordre quantitatif et qualitatifs existants sur des périmètres concordant avec le système-territoire (soit directement celui de l'APPVPA, soit un périmètre plus large comme le département ou la région, permettant l'extrapolation de données). Ces données ont été complétées, au besoin, par une recherche documentaire ciblée sur des informations techniques précises nécessaires pour répondre aux objectifs de l'étude. Par ailleurs, toute la phase de conception de scénarios (objectif (B)) a bénéficié d'un large soutien de la part de différents experts techniques issus des structures partenariales de la thèse. La nature exacte et la manière dont ces données sont utilisées sont présentées dans les chapitres Chapitre 8 et Chapitre 9.

Tableau 18 : Données utilisées pour établir le diagnostic et les scénarios d'évolution du SGPRO.

Type de donnée	Sources	Objectif de recherche	Type d'analyse
Données de flux	- Travaux antérieurs	(A)	Quantitative
Caractéristiques techniques	- Travaux antérieurs, - Recherches documentaires, - Dires d'experts	(A) et (B)	Quantitative
Informations qualitatives	- Travaux antérieurs	(A)	Qualitative

Précédentes études sur la plaine de Versailles

Différentes études scientifiques ont porté sur l'unité spatiale appelée "plaine de Versailles", en particulier dans le cadre de travaux encadrés par l'unité Ecosys de l'INRAE. Dans sa thèse liée au projet de recherche ISARD⁹⁴, Karim Dhaouadi (2014) étudie le potentiel agronomique des PRO de la plaine de Versailles et les modalités selon lesquelles ceux-ci pourraient s'insérer dans les systèmes de culture existants. Il propose notamment une quantification et une caractérisation des PRO existants au sein du périmètre de l'APPVPA ainsi qu'une description des systèmes de culture, puis simule des scénarios de substitution en tenant

⁹⁴ Intensification écologique des Systèmes de production Agricoles par le Recyclage des Déchets.

compte des différents itinéraires techniques. Les travaux de Steve Joncoux (2014), également liés au projet ISARD, identifient les éléments sociologiques liés à l'insertion des PRO dans les pratiques agricoles, entre autres dans le contexte de la plaine de Versailles. Ils détaillent notamment les différents *formats* que peuvent prendre les PRO pour les agriculteurs. Les travaux de stage de Lucie Lefèvre (2015) sur l'innovation dans les systèmes de culture de la plaine de Versailles apportent une connaissance détaillée de ces systèmes. Paul-Emile Noirot-Cosson (2016) étudie dans sa thèse l'effet de l'insertion des PRO dans les systèmes de culture de la Plaine de Versailles. Grâce aux modèles d'évolution du carbone et de l'azote dans les sols (NCSOIL), il modélise l'évolution à long terme de la composition des sols dans des scénarios de substitution, et calcule le moyen d'optimiser les impacts positifs (stockage de carbone, substitution d'azote, évitement des fuites d'azote). Oriane Cormier (2018) propose un diagnostic agricole de la plaine de Versailles qui décrit les trajectoires d'évolution historique des pratiques agricoles, en particulier de la grande culture céréalière. Ces informations permettent de comprendre les différents types d'exploitations existantes et leurs pratiques. L'inventaire des PRO effectué par Dhaouadi est actualisé et complété par Victor Moinard (2018), qui formalise la quantification des flux de PRO sur la plaine de Versailles au travers d'un rapport de stage de M2, puis d'un article publié lors de sa thèse (Moinard *et al.*, 2021b). Les enquêtes réalisées dans le cadre de ces travaux ont pu être consultées et alimenter la partie qualitative de la description du système. Mentionnons également des travaux qui se sont déroulés en parallèle de la présente thèse. Housseine Madi Arithi (2021) a effectué son stage de M2 dans le cadre du projet de l'INRAE PeriUrbanWasteEng, et a complété le diagnostic des PRO à l'échelle du périmètre de l'APPVPA en spécifiant la qualité et la quantité de certains flux, notamment issus d'établissements publics. En 2021, l'APPVPA et GRDF ont co-encadré un nouveau stage, dans l'optique de définir le potentiel d'implantation d'une unité de méthanisation sur la plaine de Versailles, en ajoutant notamment le potentiel des CIVE (Feuerbach et Homezi, 2021). Enfin, le stage de Léa Boros (Boros, 2021), co-encadré dans le cadre de la thèse en partenariat avec les unités Ecosys et SADAPT de l'INRAE, en lien avec le projet Flux Local, a complété les connaissances sur l'utilisation actuelle et potentielle des PRO dans les systèmes agricoles non céréalières (maraîchers et arboricoles), jusqu'alors très peu étudiés. Ce stage a conduit à une communication orale et une publication acceptée (Boros *et al.*, s. d.).

Bilans quantitatifs sur un périmètre délimité

Un certain nombre de ces travaux ont dressé des bilans quantitatifs sur des ensembles géographiques qui ne sont pas nécessairement homogènes d'une étude à l'autre. Avec la perspective du système-territoire, la discordance entre le périmètre établi par les différentes sources d'informations a peu d'importance. Le bilan le plus exhaustif est celui de Moinard (2021a), dont les données ont été utilisées de manière privilégiée. Une approche quantitative nécessite de se baser sur un périmètre clairement défini pour déterminer ce qui est ou non comptabilisé, ce qui implique une distinction entre un « intérieur » et un « extérieur ». Dans les analyses quantitatives, les flux qui sont « importés », c'est-à-dire provenant hors des limites du périmètre délimité sur lequel est fait le bilan, sont constitutifs du système-territoire au même titre que ceux produits à l'intérieur des limites. Il est de même envisageable qu'une partie des matières « exportées » fassent partie de ce système. Le vocabulaire d'import et d'export est utilisé pour l'analyse, car il permet de mesurer la part endogène de la production de PRO, c'est-à-dire celle conscrée dans la limite du périmètre délimité représentatif du système-territoire.

Cela permet de comprendre la dépendance des activités situées au sein de ce périmètre au fonctionnement d'un système de gestion plus large. Certaines données concernant la production agricole ou la gestion des déchets existent à des échelles plus larges que celle du périmètre, comme celle du département des Yvelines ou de la région Ile-de-France. Dans ce cas, des prorata de la SAU ou de la population ont été utilisés pour ramener ces valeurs à l'échelle du système-territoire (en utilisant les ratios présentés en annexe C-2.1).

Conventions de représentation

La manière de représenter les flux a une importance non négligeable sur leur interprétation. En ce qui concerne les flux de matière, deux principales conventions existent : la quantification en matière brute (MB), ou en matière sèche (MS). La représentation en matière brute est plus rigoureuse, et représentative du système. D'une part, elle correspond aux valeurs observées directement : les valeurs en matières sèches nécessitent en effet de connaître le taux de siccité du flux brut, qui n'est souvent qu'une estimation. D'autre part, elle permet de rendre compte des contraintes logistiques associées aux flux de matière – autrement dit, de la quantité de matière à déplacer pour les gérer. Pour cette raison, l'utilisation des données en matière brute est privilégiée dans l'analyse du SGPRO. En ce qui concerne les flux de nutriments, le raisonnement agronomique conduit souvent à utiliser des « équivalents » en molécule, P_2O_5 pour le P ou K_2O pour le K dans les tables de données. Cette convention est source d'erreurs d'interprétation, car les flux d'éléments ne correspondent pas à ces molécules. Dans les représentations, et conformément aux principes d'analyse de flux de substance, les flux d'éléments bruts (C, N, P et K) sont donc présentés. Les données obtenues dans les tables de la littérature ont été, au besoin, converties pour se conformer à cette représentation⁹⁵. Afin de tenir compte de ces conventions de représentation, les flux de matières ont été recalculés dans la phase de diagnostic (section 8.1) à partir des flux de matière brute connus (Moinard *et al.*, 2021a).

7.3.2. Réalisation de deux phases d'entretiens

Cette étude se base en partie sur une enquête à visée qualitative (Paugam, 2012) auprès des acteurs du système-territoire, pour laquelle deux phases peuvent être distinguées. Ces entretiens conduits entre septembre 2021 et février 2022 sont utilisés de manière transversale pour répondre aux objectifs (A) et (C). La première phase, que l'on peut qualifier de **phase de compréhension** (Phase 1), a une double portée. Elle alimente d'une part l'objectif (A), en apportant une compréhension fine du SGPRO de la plaine de Versailles et des acteurs qui le composent. Elle permet d'autre part d'identifier les acteurs pertinents pour participer à de nouveaux entretiens dans le cadre de l'une ou l'autre des phases, et notamment les acteurs-cibles des promesses plausibles. La seconde phase est la **phase de mise à l'épreuve** des promesses plausibles (Phase 2) à proprement parler. Elle vise à réaliser l'objectif (C) et constitue le point d'aboutissement de l'expérimentation. Le principe de ces entretiens vise à rencontrer spécifiquement des acteurs qui seraient légitimes pour participer à une démarche de concertation concernant la gestion des PRO sur la plaine de Versailles, afin de leur présenter les promesses plausibles conçues spécifiquement pour l'étude. Les conditions de réalisation de ces deux phases sont synthétisées dans le Tableau 19.

⁹⁵ Pour ce faire, les ratios suivants ont été utilisés : $M(P) = 0,4364 M(P_2O_5)$ et $M(K) = 0,8301 M(K_2O)$.

Partie III

Tableau 19 : Présentation des caractéristiques générales des deux phases d'enquêtes conduites sur la plaine de Versailles, et section associée afin d'approfondir les éléments méthodologiques.

	Phase de compréhension (Phase 1)	Phase de mise à l'épreuve (Phase 2)
<i>Objectifs de recherche traité</i>	(A)	(A)et (C)
<i>Objectifs de la phase d'entretien</i>	Compréhension du SGPRO Identification d'acteurs pour les Phases 1 et 2	Evaluation par les répondants d'une gamme de promesses plausibles spécifiquement conçue
<i>Participants</i>	Acteurs du système-territoire (services de l'Etat, entreprises, agriculteurs, collectivités, gestionnaires de déchets...)	Acteurs-cibles des promesses plausibles : participants potentiels à une symbiose territoriale
<i>Effectif</i>	50 entretiens 40 structures	20 entretiens 20 structures
<i>Modalité d'entretien</i>	Entretiens téléphoniques (10-60 min) Questions semi-directives	Entretiens en face à face (60-180 min) Questions semi-directives et directives
<i>Utilisation principale</i>	Analyse qualitative du SGPRO (section 8.2) Analyse de réseaux sociaux (section 8.3)	Evaluation des promesses plausibles (Chapitre 10)
<i>Utilisation complémentaire</i>	Diagnostic (section 8.1)	Analyse qualitative du SGPRO (section 8.2)

Principes de sélection des répondants

La méthodologie générale de sélection des acteurs de la Phase 1 est dite en « boule de neige » (*snowball sampling*) (David, 2008), fréquemment utilisée dans le cadre de l'analyse de réseaux d'acteurs régionaux comme pour l'étude des symbioses industrielles (Bain *et al.*, 2010) ou du système de gestion de déchets (Alemu, 2017). Pour initier ce processus, des premiers acteurs ont été identifiés, soit dans le contexte proche de la thèse et ayant des connaissances sur le système-territoire d'étude (notamment, différents acteurs du groupe Veolia), soit sur la base d'une connaissance préalable du système-territoire développée dans la section 8.1. Durant les entretiens, chacun des acteurs a été amené à s'exprimer sur les autres acteurs qui seraient pertinents pour la conduite de futurs entretiens. Chaque entretien permet ainsi d'identifier de nouveaux acteurs pertinents à contacter, et ainsi de suite. Cette méthode, recommandée pour étudier l'encastrement social des systèmes d'acteurs (Ashton et Bain, 2012), est également imposée par l'objectif opérationnel de cette première phase, c'est-à-dire l'identification des acteurs à interroger au sein du SGPRO. Dans le cas de cette étude, l'arrêt du processus se fait selon trois logiques : (1) les entretiens effectués ne révèlent plus de nouvel acteur pertinent ; (2) un acteur pertinent identifié n'est pas disponible pour la conduite d'un entretien ; (3) un acteur pertinent n'est pas contacté, car jugé moins central dans le système-territoire, ou car son activité est moins ciblée sur la thématique de la gestion des résidus organiques. Un arbitrage a ainsi été

fait sur la poursuite ou non du processus de sélection, jusqu'à aboutir à une situation où la plupart des acteurs jugés les plus pertinents ont été contactés. La sélection des répondants de la Phase 2 se base sur des données et des résultats acquis au cours des différentes étapes de recherche de cette partie. Les acteurs sélectionnés sont ceux ayant été identifiés comme des acteurs-cibles pertinents pour évaluer les promesses plausibles, grâce à l'analyse des entretiens de la Phase 1 proposée au Chapitre 8. La méthode exacte de sélection est décrite en détail au Chapitre 10.

Déroulement des entretiens

Les entretiens sont principalement basés sur une approche semi-directive (Romelaer, 2005), qui prévoit un ensemble de thèmes à aborder au cours des échanges tout en laissant une discussion relativement ouverte avec le répondant. Les entretiens de la Phase 1 ont été conduits à distance, avec une prise de note mise au propre par la suite. Les thèmes prédéfinis abordés au cours de cette phase, qui représentent le **guide d'entretien** utilisé, sont les suivants : (1) Rôle de la structure, notamment concernant la gestion de la matière organique ; (2) Rôle de la structure dans des démarches actuelles ou potentielles de concertation ; (3) Interaction de la structure avec d'autres acteurs sur la question de la matière organique ; (4) Connaissance d'autres acteurs pertinents à contacter. Ces thèmes ont été adaptés en amont de chaque entretien de manière à ce qu'ils soient pertinents vis-à-vis de la structure enquêtée. Dans la Phase 2, les entretiens ont été conduits en face-à-face, dans un lieu proposé par les répondants – le plus généralement, leur lieu de travail –, enregistrés et retranscrits. L'entretien était composé d'une première partie semi-directive semblable à celle de la Phase 1, d'une deuxième partie visant à évaluer les promesses plausibles, et d'une troisième partie, facultative, de retours et conclusion. Le détail de ces guides d'entretien est donné au Chapitre 10 et en annexe C-4.3.

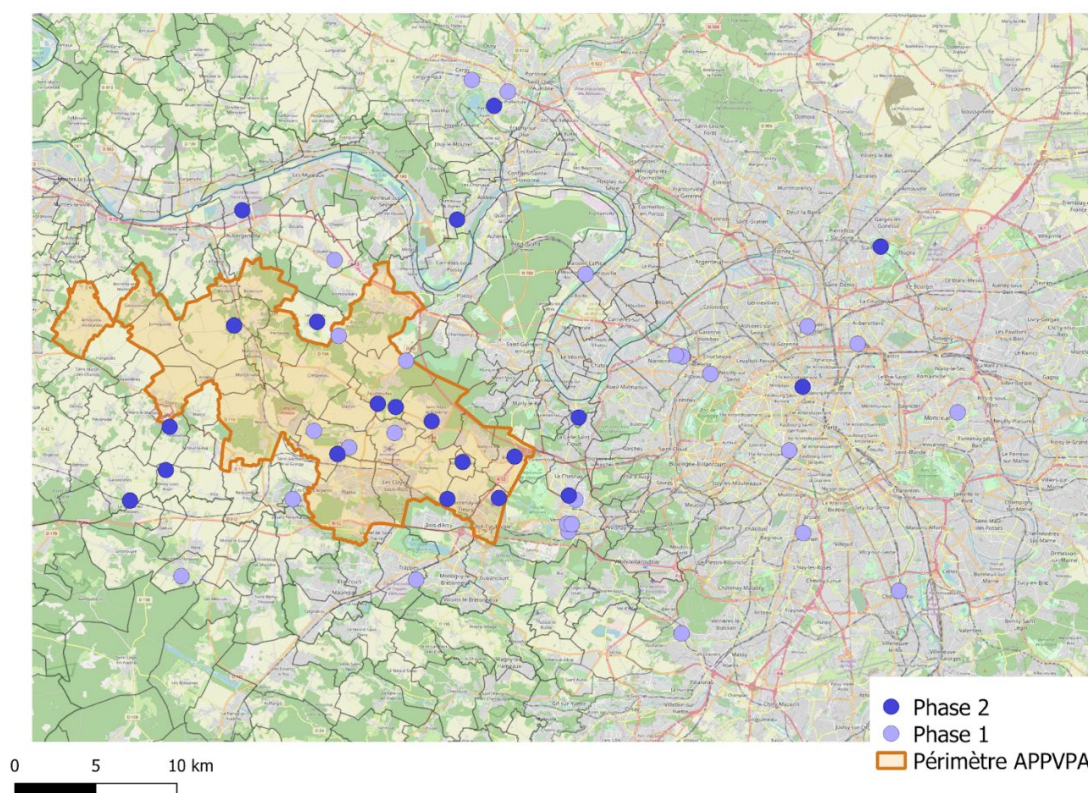


Figure 52 : Localisation des structures répondantes par rapport au périmètre de l'APPVPA. Fond de carte Open Street Map.

Description des répondants

Au total, 70 entretiens ont été réalisés, auprès de 51 structures différentes, représentées par 57 interlocuteurs différents. Pour la Phase 1, 50 entretiens ont été réalisés auprès de 40 structures et 44 interlocuteurs. Pour la Phase 2, 20 entretiens ont été réalisés auprès de 20 structures et interlocuteurs différents. Comme détaillé dans le paragraphe précédent, certaines structures – au nombre de 9 – sont communes à la Phase 1 et à la Phase 2. Le Tableau 20 présente la liste des structures répondantes, et la Figure 52 indique leur localisation par rapport au périmètre de l'APPVPA. Notons que cette carte illustre bien le concept de système-territoire, car le réseau d'acteurs qu'elle montre n'est pas uniquement contenu dans le périmètre délimité défini comme point d'ancrage géographique de l'étude.

Tableau 20 : Liste des structures ayant participé aux entretiens Les deuxièmes et troisièmes colonnes indiquent respectivement le nombre d'entretiens réalisés lors des phases 1 et 2.

<i>Structure</i>	<i>Nb. Ent. Phase 1</i>	<i>Nb. Ent. Phase 2</i>	<i>Type de structure</i>	<i>Description complémentaire</i>
<i>Ademe Ile-de-France</i>	2		Etablissement Public	
<i>Agence de l'eau</i>	1		Etablissement Public	
<i>Association « La Vitrine du Développement Durable »</i>	1	1	Association	Association citoyenne visant à promouvoir les enjeux du développement durable à l'échelle de la communauté de commune de Gally-Mauldre.
<i>Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets Autre</i>	1	1	Association	Association patrimoniale
	1		Autre	Entretien avec l'étudiant ayant réalisé une étude de gisements méthanisables sur la PV
<i>Centre équestre 1</i>	1		Entreprise	
<i>Centre équestre 2</i>		1	Entreprise	
<i>Centre équestre 3</i>	1		Entreprise	
<i>Chambre consulaire d'Agriculture</i>	1	1	Etablissement Public	
<i>Chambre consulaire de commerce et d'industrie des Yvelines</i>	2		Etablissement Public	
<i>Cluster eau, milieu et sol</i>	2		Association	Réseau professionnel centré sur la prise en charge des problématiques environnementales par les entreprises de la région d'Ile-de-France
<i>Collecteur de fumiers</i>	1	1	Entreprise	
<i>Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines</i>	2		EPCI	12 communes, 230 000 hab.
<i>Communauté d'agglomération de Versailles-Grand-Parc</i>	1	1	EPCI	18 communes, 270 000 hab.
<i>Communauté de Communes de Cœur d'Yvelines</i>	1		EPCI	31 communes, 50 000 hab.

Chapitre 7

<i>Communauté de Communes de Gally-Mauldre</i>	1		EPCI	11 communes, 22 000 hab.
<i>Conseil Régional</i>	3		Collectivité territoriale	
<i>Coopérative céréalière Axéreal</i>	1		Entreprise	
<i>CUMA céréalière</i>	1		Entreprise	
<i>CUMA maraîchère</i>	1		Entreprise	
<i>Direction régionale de l'agriculture et de la forêt</i>	1		Services Etat / Pouvoir public	
<i>Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports d'Ile-de-France</i>	1		Services Etat / Pouvoir public	
<i>Ecopur</i>	1		Entreprise	Traitement d'effluents liquides.
<i>Entreprise de restauration collective</i>		1	Entreprise	
<i>Exploitation agricole céréalière (1)</i>		1	Entreprise	
<i>Exploitation agricole céréalière (2)</i>		1	Entreprise	
<i>Exploitation agricole céréalière (3)</i>		1	Entreprise	
<i>Exploitation agricole d'élevage</i>	2		Entreprise	
<i>Exploitation agricole maraîchère</i>		1	Entreprise	
<i>Exploitation agricole maraîchère et céréalière</i>		1	Entreprise	
<i>Gaz Réseau Distribution France</i>	1		Entreprise	Entreprise de distribution de gaz.
<i>Hydreaulys</i>	1		EPCI	Syndicat d'assainissement
<i>Ici La Terre</i>	2		Autre	Réseau professionnel d'agriculteurs visant à sensibiliser et informer les consommateurs sur les pratiques agricoles
<i>Moulinot</i>	1	1	Entreprise	Gestion des biodéchets de restaurateurs, professionnels et particuliers. Activités de collecte et de déconditionnement / hygiénisation.
<i>Observatoire régional des déchets d'île de France</i>	1		Etablissement Public	Observatoire régional sur les déchets

Partie III

<i>Organeo</i>	1	1	Entreprise	Accompagnement à la gestion des biodéchets (notamment par la réduction du gaspillage et des solutions de proximité)
<i>Prometha</i>	1		Association	Réseau professionnel animé par l'institut Paris Région (Institut d'aménagement et d'urbanisme) visant à accompagner le développement de la filière méthanisation en Ile de France.
<i>Réseau Compost Citoyen</i>	1		Association	Réseau professionnel visant à promouvoir et accompagner les pratiques de compostage de proximité.
<i>Sepur</i>		1	Entreprise	Activités multiples de gestion de déchets : collecte, centre de tri, plateforme de compostage de déchets verts (45 kt)
<i>SIDOMPE</i>	3		EPCI	Syndicat de traitement de déchets disposant d'une usine d'incinération
<i>SIEED</i>	1	1	EPCI	Syndicat de collecte de déchets
<i>SPI</i>	1		Association	Réseau professionnel centré sur les industries de la vallée de Seine
<i>Station de compostage Bio Yvelines Services</i>		1	Entreprise	Station de compostage de déchets verts (40 kt / an)
<i>Station d'épuration Carré de Réunion</i>		1	Entreprise	Station d'épuration 340 000 équivalents habitants
<i>Terre et Cité</i>	1		Association	Association patrimoniale
<i>ThiFeuCha</i>	1		EPCI	Syndicat d'assainissement
<i>Thoiry Bioénergie</i>		1	Entreprise	Plateforme de méthanisation (env. 11 kt / an)
<i>UpCycle</i>		1	Entreprise	Accompagnement à la gestion de biodéchets et à l'installation de composteurs électro-mécaniques.
<i>Veolia</i>	4		Entreprise	Groupe industriel. Activités multiples liées à la gestion des déchets, de l'eau et de l'énergie.

Principes généraux d'analyse thématique par encodage

L'usage d'outils informatiques dans l'analyse qualitative permet d'exploiter des comptes rendus et transcriptions d'entretiens de manière approfondie et adaptée pour une approche inductive comme déductive (Mackensen et Wille, 1999). Ils permettent notamment une analyse par encodage thématique (Depover *et al.*, 2018), qui a été réalisée avec l'aide du logiciel NVivo© (Leech et Onwuegbuzie, 2011). Ce type d'analyse implique d'effectuer une étape de thématisation des entretiens, c'est-à-dire « *la transposition d'un corpus donné en un certain nombre de thèmes représentatifs du contenu analysé et ce, en rapport avec l'orientation de recherche* » (Paillé and Mucchielli, 2016, p.267). Suivant les standards de cette méthode (Peters et Wester, 2007), les étapes générales sont les suivantes : (1) Définition du périmètre d'analyse, c'est-à-dire l'angle de lecture initial par lequel est abordé la question de recherche ; (2) Encodage des entretiens, correspondant à l'association de phrases à des thèmes ; (3) Lecture, analyse et réorganisation des codes (i.e. les thèmes identifiés) ; (4) Rectification de l'encodage et (5) Stabilisation de l'analyse et interprétation des résultats. Le détail de ces étapes est décrit

dans l'annexe C-1.1. L'analyse est stabilisée lorsque chaque code est hiérarchisé et cohérent. Un moyen de vérifier cette stabilité est le principe de **saturation** : à partir d'un certain nombre d'entretiens, les éléments encodés dans ces entretiens ne modifient plus fondamentalement la hiérarchie de codes établie (Morse, 2015). Dans la présentation des résultats, les éléments issus des analyses qualitatives seront présentés et illustrés à partir de verbatim issus des entretiens. Certaines parties de l'analyse sont inductives tandis que d'autres sont déductives, avec une approche générale qui se situe à mi-chemin entre ces deux pratiques (Morse et Mitcham, 2002).

7.4. Synthèse de la stratégie de recherche et structure de la partie III

Ce chapitre a permis de détailler la stratégie de recherche, qui se décline en trois objectifs (spécifiés à la section 7.4) définissant trois grands axes de recherche : (A) comprendre le SGPRO, (B) Concevoir les promesses plausibles et (C) les mettre à l'épreuve. Ils correspondent à trois étapes successives, représentées par la Figure 53, auxquelles contribueront les différents chapitres de la Partie III. Chacune de ces parties comporte donc des éléments méthodologiques spécifiques permettant d'obtenir, analyser et interpréter des résultats, qui peuvent être présentés et discutés de manière indépendante. Les prochains chapitres sont ainsi construits comme un ensemble de briques autoportantes. Comme le montre la Figure 53, ces différentes étapes sont néanmoins interconnectées les unes avec les autres au travers de résultats intermédiaires, et de l'objectif final de mise à l'épreuve des promesses plausibles. Le Chapitre 8 s'intéresse à l'objectif (A), c'est-à-dire l'analyse du fonctionnement actuel SGPRO, sur des aspects quantitatifs, mais également qualitatifs et théoriques. A partir des travaux antérieurs, il dresse un diagnostic à l'échelle du système-territoire. Par ailleurs, une étude approfondie du SGPRO est conduite au travers d'une première phase d'entretiens visant à comprendre le fonctionnement du système. Le Chapitre 9 traite la question (B), c'est-à-dire l'élaboration d'un contenu technique destiné à alimenter les promesses plausibles qui seront mobilisées lors des entretiens. En partant des données acquises par le diagnostic et des objectifs expérimentaux fixés par la stratégie de recherche, il permet de concevoir, représenter et quantifier l'impact des modifications du SGPRO qui pourraient intervenir lors d'une symbiose territoriale. Le Chapitre 10 traite la question (C), c'est-à-dire la mise à l'épreuve des promesses plausibles. A partir des éléments méthodologiques introduits à la section 7.2, un ensemble de promesses plausibles est formé sur la base des résultats du Chapitre 9. Celles-ci sont présentées et évaluées lors de la deuxième phase d'entretiens aux acteurs-cibles pertinents identifiés lors de la première phase.

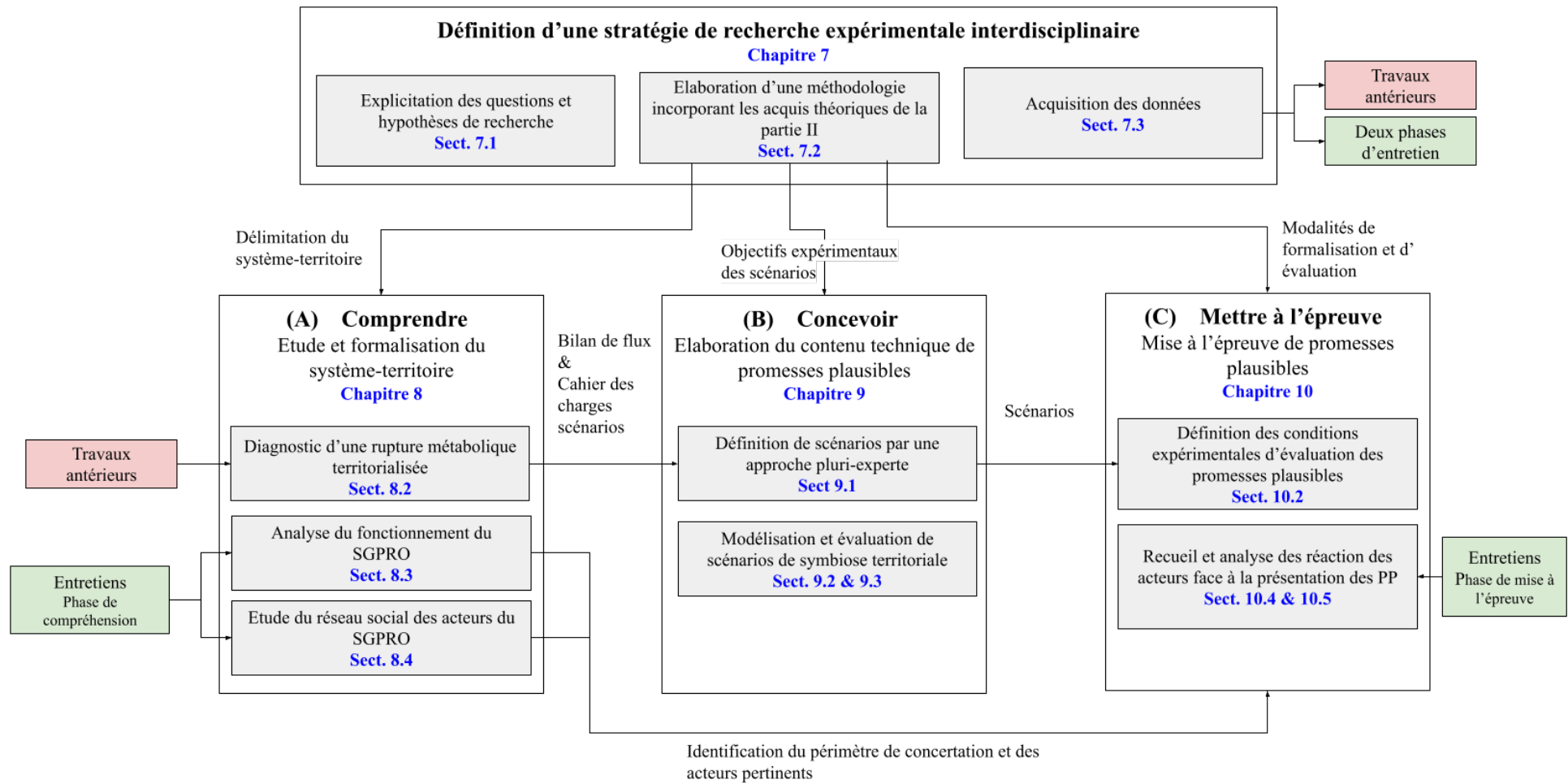


Figure 53 : Stratégie de recherche sur le système sociotechnique de gestion des produits résiduels organiques de la plaine de Versailles. Les objectifs (A), (B) et (C) sont présentés à la section 7.1.

Chapitre 8. Etude compréhensive du système sociotechnique de gestion des produits résiduaires organiques sur la plaine de Versailles

Ce chapitre présente le fonctionnement du SGPRO actuel sur la plaine de Versailles sur des aspects quantitatifs, qualitatifs et théoriques, selon l'objectif (A) défini au Chapitre 7. La première étape (section 8.1) consiste à établir un diagnostic technique détaillé des flux de PRO et de leur valorisation dans les systèmes agricoles, en se basant principalement sur les études précédentes réalisées sur le périmètre de l'APPVPA. Ce diagnostic aborde également des aspects qualitatifs des besoins agricoles, ce qui permet de définir un cahier des charges pour l'évolution du SGPRO. La seconde étape (section 8.2) permet de détailler qualitativement le fonctionnement du SGPRO, au travers de l'analyse d'entretiens semi-directifs réalisés auprès des acteurs du système-territoire. Elle propose une formalisation et une conceptualisation des rôles des acteurs, des facteurs d'influence. Elle s'intéresse également aux pratiques actuelles et potentielles de concertation. Ce travail permet l'identification des acteurs du système-territoire et des acteurs-cibles pertinents pour évaluer des promesses plausibles. La troisième étape (section 8.3) propose une analyse de réseaux sociaux, basée sur les mêmes entretiens. Elle permet de comprendre la structure des interactions, l'importance des différents acteurs et rôles dans le SGPRO, et ainsi de mieux cerner les enjeux liés à l'identification des acteurs-cibles.

8.1. Diagnostic d'une rupture métabolique territorialisée sur la plaine de Versailles.

Une étape clé dans la compréhension du système-territoire est la quantification et la qualification du potentiel de synergie qui serait exploité lors d'une symbiose territoriale. Ce diagnostic vise à comprendre les pratiques actuelles de recyclage des PRO résultant du système de gestion et à identifier les leviers d'amélioration. Cela nécessite d'une part de déterminer les PRO qui sont valorisés au sein du périmètre, en tenant compte de leur efficacité agronomique, et d'autre part de déterminer le besoin en intrants agricoles en étudiant les systèmes de culture (Icare & Consult, 2020). Dans une première étape (8.1.1), les éléments connus des filières existantes au sein du périmètre sont présentés, afin de représenter les flux de matières et de connaître la quantité de nutriments retournant au sol. Dans un deuxième temps (8.1.2), le besoin en engrais est estimé de manière quantitative et qualitative, à partir des pratiques agricoles connues au sein du périmètre. Les conséquences de l'utilisation des PRO dans ces pratiques sont exposées en détail. Dans un troisième temps (8.1.3), des leviers d'évolution du SGPRO sont proposés. Ces leviers permettent de déterminer une liste de filières identifiées à ce stade comme potentiellement pertinentes dans des scénarios de symbiose territoriale. La méthodologie correspond à une synthèse documentaire, enrichie et formalisée selon la question d'étude. Elle se base principalement sur la littérature (cf. section 7.3.1), consolidée par une recherche d'information ciblée. Les données issues de cette littérature et des recherches complémentaires sont synthétisées, utilisées et agencées de manière à mettre en évidence la rupture métabolique territorialisée sur la plaine de Versailles. Elles sont notamment traduites sous la forme d'une analyse de flux de matière et de substance, selon les conventions présentées à la section 7.3.1.

8.1.1. Description des filières et quantification des PRO sur la plaine de Versailles

Dans cette section, le SGPRO actuel est présenté sous forme de filières. Celles-ci, représentées sur la Figure 54 et la Figure 55, correspondent à des grandes voies techniques associées à la gestion de certains flux de déchets. Cinq filières sont identifiées : le compostage et broyage des déchets verts, l'épuration des eaux usées, l'incinération des ordures ménagères, la gestion des PRO agricoles et la méthanisation territoriale. Les voies alternatives minoritaires, en marge de ces filières, seront également évoquées. Ces quantités sont données en MB, et proviennent, sauf mention contraire, de Moinard et al., 2021b.

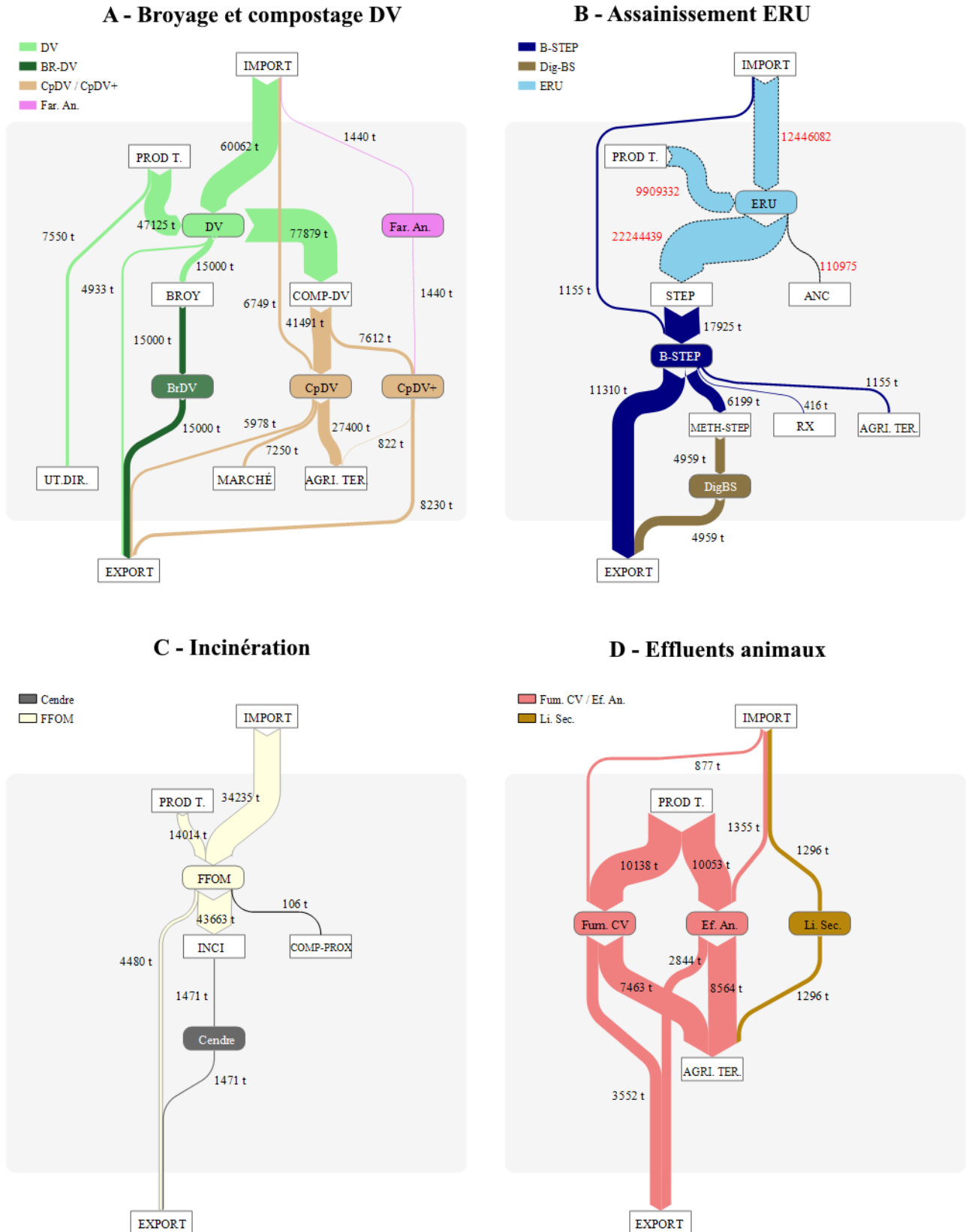


Figure 54 : Diagrammes de flux des principales filières de gestion des PRO dans le SGPRO de la plaine de Versailles. Les quantités sont indiquées en MB. Le carré gris symbolise le périmètre délimité de l'APPVPA. Données issues de Moinard et al., 2021b et Dhaouadi, 2014

Compostage et broyage des Déchets Verts

Les principales modalités de gestion des déchets verts (DV) sont représentés sur la Figure 54-A. La proximité de la ville de Paris et de grands espaces verts (jardins du château de Versailles par exemple) induit un flux important de DV, et notamment de flux importés, qui représentent 60 kt/an, pour les flux urbains et commerciaux confondus. A cela s'ajoutent les matières provenant de l'intérieur du périmètre, qui représentent 34 kt/an. Certains acteurs privés, comme les golfs, compostent eux-mêmes leurs DV mais leur volume est négligeable⁹⁶. Au sein du périmètre d'étude, les DV sont traités majoritairement par trois plateformes de compostage, qui produisent un flux de 30 kt/an de compost de DV, auxquels s'ajoutent 5 kt de compost importés. Une partie de ce compost (7,6 kt) est enrichie avec de la farine animale importée⁹⁷ (Dhaouadi, 2014). Selon les dernières estimations, 91% de ce compost enrichi est exporté. Le compost non enrichi est principalement utilisé en agriculture dans le périmètre (62 %), mais est aussi vendu en jardinerie ou auprès de paysagistes (26%), le reste étant exporté. Les plateformes de compostage produisent également des produits autres que du compost, comme des broyats pour le paillage ou de la plaquette forestière, dont la demande est moindre. Une partie importante des déchets verts (15 kt/an) est apportée en plateforme de compostage uniquement pour être broyée, puis exportée hors du périmètre. Tous les déchets verts ne sont pas compostés : certains sont exportés hors du périmètre avant d'être traités (5 kt), tandis que d'autres sont réutilisés directement par les producteurs en paillage, ou combustion, par exemple (7,5 kt).

Epuration des eaux usées

La gestion des eaux résiduaires urbaines (ERU) est représentée sur la Figure 54-B. Les ERU sont un flux provenant de l'évacuation des eaux sanitaires des ménages et des commerces. A l'échelle du système-territoire, elles représentent 70 000 m³ par jour, soit environ 22 millions de m³ par an⁹⁸. Les stations d'épuration au sein du périmètre traitent un volume d'eaux usées conséquent, dont une grande partie (56%) provient de villes situées hors de ce périmètre. La quasi-totalité des ERU du système-territoire sont traitées dans des stations d'épuration (STEP) – l'assainissement non collectif représentant 0,5% du volume. Les STEP produisent environ 20 kt/an de boues dont une partie (31%) est digérée en station. La gestion des boues de STEP est fluctuante d'une année sur l'autre et les observations des différents rapports ne sont pas toujours concordantes⁹⁹. Une partie des boues est traitée par lits de roseaux, ce qui réduit la production de boues (le flux produit n'est pas encore connu et est négligé dans ce diagnostic). Il est estimé que 1,2 kt/an sont épandues sur le périmètre, le reste étant majoritairement exporté pour être épandu ou composté. Les boues épandues correspondent en réalité à des boues importées, qui sont également chaulées.

⁹⁶ Ce flux est estimé à 9t (Moinard, 2018).

⁹⁷ La quantité de farine ajouté est de 1,4 kt, ce qui produit un flux annuel de 9 kt de compost enrichi.

⁹⁸ Par simplification, nous considérerons que la masse volumique des ERU est égale à 1, soit 1 m³ = 1 t.

⁹⁹ Notons que les informations gouvernementales sur l'épuration (<https://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/PortailAC/>) ne sont pas non plus fiables concernant la gestion des boues. Il est en effet observé que les bilans de masses ne sont pas toujours équilibrés, et que les informations ne correspondent pas à ce qui est observé sur le territoire.

Incinération des ordures ménagères

La filière d'incinération est représentée sur la Figure 54-C. Les Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) correspondent à la fraction non triée des déchets des ménages et des activités économiques collectés par les services publics. D'après les données les plus récentes (ORDIF, 2019), la production de déchets ménagers dans les Yvelines correspond à 253 kg/habitant/an, et la fraction de biodéchets dans ce flux est de 25,7%. La quantité de fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM)¹⁰⁰ produite par les habitants au sein du périmètre est donc de 14 kt/an. Une faible partie est gérée en compostage de proximité (env. 1%), mais l'essentiel est incinéré. L'incinérateur, présent au sein du périmètre, importe également les OMR d'un territoire beaucoup plus large, incluant 34 kt de FFOM supplémentaire. Les sous-produits issus de l'incinération sont des cendres, qui correspondent à environ 1,4 kt attribuables à la FFOM¹⁰¹ et sont exportées dans un département voisin pour y être enfouies.

Utilisation des PRO agricoles

La gestion des effluents animaux est représentée sur la Figure 54-D. Ceux produits dans le périmètre ne sont pas transformés avant d'être réutilisés. Le système de gestion de ces résidus réside principalement dans un bilan entre importations et exportations de ces matières. Les pensions et élevages pour chevaux sont nombreux et producteurs d'environ 11,1 kt/an de fumier, dont 62% est utilisé localement. Les autres effluents animaux comprenant fumiers bovins, caprins et ovins, lisiers bovins et fientes de volailles¹⁰², comptent pour 10 kt par an et sont utilisés à 75% au sein du périmètre. Environ 1,3 kt/an de lisier porcin séché est importé de Bretagne. Une partie des effluents produits au sein du périmètre est exportée, correspondant à 29% des fumiers de chevaux et 25% des autres effluents animaux. Il peut être peu pertinent de parler d'export pour certaines de ces matières, car des utilisations locales proches du périmètre délimité peuvent être faites. En revanche, une partie des flux est réellement transportée sur de plus grandes distances, comme c'est le cas de fumiers de chevaux qui sont traités en Belgique. La répartition exacte entre utilisation proche et export lointain n'est pas connue.

Méthanisation territoriale

Il existe deux unités de méthanisation au sein du périmètre, dont les flux sont représentés par la Figure 55. La première est une installation en voie liquide (VL) de petite taille, qui accepte 2,2 kt de biodéchets d'activités économiques (BDAE) par an et produit 1,6 kt de digestat. Le digestat est mélangé au compost de déchets verts d'une plateforme de compostage située à proximité, sans que cela n'en change les caractéristiques de manière importante. La deuxième

¹⁰⁰ Lorsque les biodéchets sont mélangés aux OMR, on parle de fraction fermentescibles des ordures ménagères (FFOM). En revanche, lorsque l'on parle de déchets organiques triés à la source, on parle plutôt de biodéchets. Cette distinction a une importance dans la gestion opérationnelle, car les deux flux ont des propriétés très différentes. Elle a en revanche peu d'importance dans ces travaux, car ils s'intéressent à la source de production, qui est identique.

¹⁰¹ Taux de cendre calculé d'après le rapport d'activité de l'incinérateur (Sidompe, 2020)

¹⁰² Pour simplifier l'analyse, ces flux ont été assimilés à un seul flux d'effluents animaux, dont les caractéristiques ont été moyennées proportionnellement à leur quantité d'après Dhaouadi, 2014. Par hypothèse, ces mêmes caractéristiques ont par la suite été utilisées pour représenter les effluents de zoo.

unité de méthanisation est une voie sèche territoriale, dimensionnée pour accepter 10 950 tonnes de déchets par an. Elle a notamment été construite dans l'objectif d'accepter les effluents animaux et les déchets verts issus de l'entretien d'un parc zoologique, qui représentent environ 1 000 tonnes par an. Pour compléter le volume restant, l'unité accepte une quantité importante de déchets verts produits hors du parc zoologique (environ 7 kt), des fumiers animaux (environ 2 kt), des déchets végétaux d'activités économiques comme des issues de céréales et invendus de fruits et légumes (environ 250 tonnes)¹⁰³. Le digestat produit est séparé en une phase solide et une phase liquide. Les deux sont valorisées localement en agriculture.

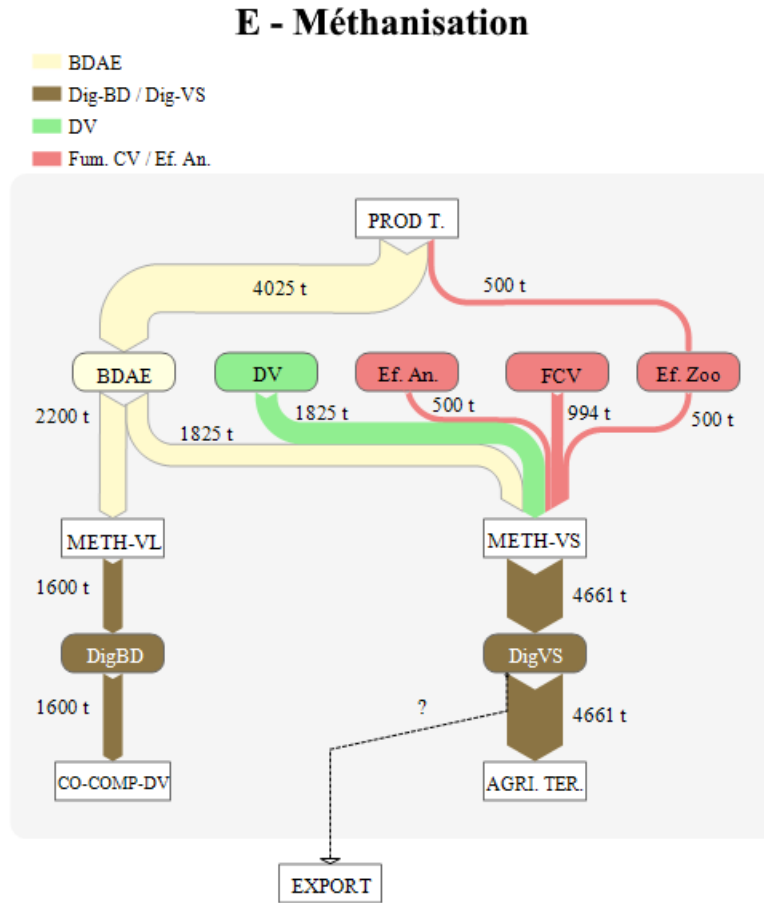


Figure 55 : Diagramme de flux des filières de méthanisation territoriale au sein du SGPRO.

¹⁰³ Données issues de l'entretien avec Thoiry Bioénergie.

Bilan quantitatif : Estimation des éléments apportés par les PRO

Les quantités de PRO ainsi mobilisées sont résumées dans le Tableau 21 (les valeurs utilisées pour les caractéristiques sont données en annexe C-2.1).

Tableau 21 : Bilan quantitatif de valorisation efficace de nutriments dans le SGPRO d'après les données disponibles sur le système-territoire. *Le total des nutriments disponibles dans les PRO transformés correspond uniquement à la part d'import liée à ces PRO.

PRO	Flux SGPRO (tMB)	Importé	Valorisé Périmètre	Nutriments disponibles*			Valorisation efficace		
				N _{tot} (t)	P _{tot} (t)	K _{tot} (t)	N _{eff} (t)	P _{eff} (t)	K _{eff} (t)
PRO Bruts									
Effluents animaux	11408	12%	8564	88	21	83	7	14	62
Fumiers Chevaux	11015	8%	7463	60	15	81	0	10	55
DV	107187	56%	7550	696	131	596	0	0	0
FFOM	48249	71%	0	221	130	38	0	0	0
ERU	22355414	56%	0	1341	488	705	0	0	0
PRO transformés.									
Lisier séché	1296	100%	1296	59	21	10	34	18	10
Farine animale	1440	100%	0	158	8	5	0	0	0
Broyat DV	15000	0%	0	0	0	0	0	0	0
Compost DV	46640	14%	17112	74	12	55	0	31	139
Compost DV enrichi	9052	0%	822	0	0	0	0	2	2
Boues STEP	19080	6%	1155	16	10	4	8	9	4
Boues STEP digérées	4959	0%	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL				2715	836	1576	50	83	272

Ce premier bilan permet d'estimer la quantité de nutriments qui sont restitués à l'agriculture par le SGPRO¹⁰⁴. Pour estimer leur contribution à la fertilisation des terres agricoles, il est nécessaire de calculer les quantités efficaces d'azote (N), phosphore (P) et potassium (K) épandues. Cela nécessite d'une part d'estimer les caractéristiques des PRO, c'est-à-dire leur contenu en nutriments, et d'autre part de leur affecter un coefficient d'équivalent engrais. A ce stade, les caractéristiques des PRO peuvent être obtenues grâce à la littérature existante sur la plaine de Versailles, ou générique pour les données manquantes¹⁰⁵. Les coefficients d'équivalence sont également donnés par la littérature. Afin d'estimer la substitution d'engrais, il faut ici prendre en compte que l'azote, même efficace, n'est pas toujours pensé comme tel dans les pratiques d'utilisation des PRO. La lecture de comptes-rendus d'enquêtes précédentes sur le SGPRO suggère en effet que, lorsque les matières sont

¹⁰⁴ Note : la contribution des filières de méthanisation à ce bilan n'est pas intégrée aux résultats présentés car les données les concernant ne sont pas aussi fiables que celles concernant les autres filières. Leur fonctionnement n'est pas tout à fait stabilisé, les lieux de valorisation des digestats sont mal connus, ainsi que les propriétés des digestats en résultant. Leur contribution sera évaluée par des hypothèses qui seront faites au stade de modélisation de scénarios (Chapitre 9)

¹⁰⁵ Dans l'exercice de modélisation suivant (Chapitre 9), ces caractéristiques ne pourront pas toutes être réutilisées, pour des raisons spécifiées dans ce chapitre.

amendantes, la teneur en azote efficace n'est pas prise en compte dans le plan de fertilisation. Dhaouadi classe les PRO du système-territoire en 3 catégories : matières fertilisantes, matières amendantes et matières amendantes immobilisatrices d'azote (Dhaouadi, 2014). Parmi celles-ci, seules les premières peuvent réellement être considérées comme substituant des intrants. Le Tableau 21 permet de montrer que, sur les 2715 tonnes de N, 836 tonnes de P et 1576 tonnes de K contenues dans les PRO bruts ou importés, le SGPRO actuel permet d'en fournir respectivement 2%, 10% et 17% à l'agriculture, contribuant à la substitution d'intrants non renouvelables.

Apports du diagnostic

Le travail de diagnostic des flux de nutriments dans la situation initiale n'est pas une originalité de ces travaux à proprement parler, car l'essentiel des données provient du travail d'enquête réalisé par Moinard et al. (2021a), qui propose dans son article publié un bilan de flux similaire. La cohérence avec ces travaux est vérifiée en Annexe C-2.1. Si l'exercice a été reconduit dans cette thèse, c'est avant tout car le travail de modélisation nécessite une représentation particulière de la situation actuelle, dont il est nécessaire de pouvoir faire varier les hypothèses à des fins de modélisation. Un des apports principaux de la formalisation adoptée dans ce manuscrit est d'ouvrir la « boîte noire » des procédés de transformation du système-territoire, pour représenter les interactions entre les différentes filières de ce système. Cette compréhension permet non seulement de comprendre les caractéristiques des flux, mais également d'identifier les acteurs associés à ces flux. Par ailleurs, elle est indispensable dans l'exercice de modélisation, qui requiert de prévoir les conséquences de la modification de l'affectation de certains flux sur le reste du système.

Limites : un système évolutif et des filières potentiellement non répertoriées

Le SGPRO décrit dans les paragraphes précédents correspond aux données connues au moment de sa réalisation, mais ces filières évoluent rapidement. Par exemple, une des plateformes de compostage a entrepris d'importants travaux afin de pouvoir traiter des biodéchets issus de la collecte séparative qui devra être mise en place prochainement (voir annexe A-2.2). Les quantités et caractéristiques des flux traités par ce procédé sont à ce jour encore inconnues. Par ailleurs, le devenir des déchets d'activités économiques est mal cerné par cette représentation. Il est notamment impossible de savoir exactement d'où proviennent les déchets qui alimentent les unités de méthanisation, et il est également connu que certains BDAE sont collectés à l'intérieur du périmètre pour être traités à l'extérieur (Madi Arithi, 2021). Du fait des nombreux producteurs de PRO (commerces de proximité, grandes surfaces, industries...), il est complexe de connaître la quantité exacte produite à l'intérieur du périmètre. L'observatoire régional des déchets d'Ile de France (ORDIF) estime le gisement total de déchets organiques issus d'activités économiques (y compris industrielles) à 11,8 kt pour le département des Yvelines, soit environ 1300 t produit au sein du périmètre (ORDIF, 2013). Notons que cette quantité est faible, notamment au regard des flux captés par les deux unités de méthanisation du système-territoire (environ 2500 tonnes). Le plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGDD) d'Ile de France mentionne par ailleurs des types de déchets organiques qui ne sont pas représentés dans les filières étudiées : les huiles alimentaires usagées, les déchets gras et les déchets organiques de jardinerie, animaleries et zoos (Région Ile de France, 2019). Les deux premiers flux sortent légèrement du cadre d'étude, étant

plutôt destinés à une valorisation énergétique qu'agronomique. Concernant la gestion de ces PRO, une partie importante de déchets organiques est prise en charge directement par les industries ou commerces. Ils peuvent en premier lieu être valorisés en tant que sous-produits (par exemple, utilisation de déchets de boulangeries et boucheries en alimentation animale domestique, production de nourriture animale à partir de déchets d'abattoirs...) (CERVIA et ORDIF, 2012). Ils peuvent également être traités sur place (par exemple, station d'épurations sur site pour le traitement des effluents). Les déchets restants sont collectés par des prestataires, spécialisés ou non, qui les acheminent vers les installations de traitement finales (par exemple, gestion de déchets d'abattoirs non valorisables par des équarrisseurs, collecte des huiles alimentaires usagées...). La collecte de déchets alimentaires issus des activités économiques peut être estimée, d'après le PRPGDD, à environ 400 tonnes à l'intérieur du périmètre – une valeur faible comparée aux 14 kt contenus dans les ordures ménagères. Ces considérations suggèrent que, même si le bilan n'est pas exhaustif, il n'omet pas de flux majeurs de déchets organiques non valorisés.

8.1.2. Besoins agricoles en PRO et conditions sociotechniques liées à leur utilisation

Afin de connaître le taux de substitution du SGPRO, la deuxième étape est d'évaluer le besoin de nutriments des systèmes agricoles. Cette question n'est pas triviale, car elle nécessite de prendre en compte de nombreuses variables spatialisées. Par ailleurs, même en connaissant parfaitement les caractéristiques des systèmes agricoles, le « bon » niveau de fertilisation dépend en grande partie des objectifs de rendement des exploitations, qui sont des choix technico-économiques individuels. En première approximation, il est possible d'utiliser des valeurs génériques et empiriques fournies par la chambre d'agriculture, qui sont de 150 kgN/ha, 17,5 kg P/ha et 33,2 kg K/ha (Moinard *et al.*, 2021b). Cependant, la connaissance du système régional permet d'effectuer ce calcul de manière un peu plus précise, en prenant en compte le **besoin des cultures** présentes au sein du périmètre et les **pratiques de fertilisation** actuelles. Nous proposons de nous baser sur ces deux indicateurs pour définir de manière analytique le besoin en nutriments du secteur agricole du SGPRO, avec une méthode qui a pour vocation d'être transposable à d'autres territoires. Les besoins sont estimés pour les éléments majeurs : N, P et K¹⁰⁶. De la même manière que pour les « limites » du SGPRO, le besoin en nutriments est calculé en fonction d'un certain périmètre spatial, ce qui ne traduit pas les surfaces réelles qui peuvent être intégrées dans le système-territoire. L'estimation du besoin en nutriments sera donc calculée à partir d'une surface agricole utilisée (SAU) de référence, mais le potentiel de valorisation des PRO ne s'arrête pas aux frontières de l'APPVPA. Ce besoin en quantité absolue de nutriments ne permet par ailleurs pas de prendre en compte les contraintes techniques liées à l'épandage de PRO au sein des pratiques agricoles. Celles-ci seront évoquées dans une description plus qualitative, détaillant les raisons qui encouragent ou freinent l'utilisation de PRO en agriculture, en fonction de leurs caractéristiques.

¹⁰⁶ Notons qu'il est impossible de déterminer un « besoin » en C car, si le C du sol permet d'améliorer certaines propriétés du sol, le C nécessaire à la croissance des plantes est issu du CO₂ de l'atmosphère

Production végétale sur la plaine de Versailles et besoins en fertilisants

La SAU du périmètre correspond environ à 10 000 ha (Noirot-Cosson, 2016), avec deux grands types de sols identifiés : un sol limoneux présentant de bonnes qualités agronomiques, ainsi qu'un sol dit "argilo-calcaire" (Dhaouadi, 2014). Selon le rapport de Cormier, (2018), il y a en tout 124 exploitations agricoles dont 76 sont des exploitations en grande culture céréalière, qui représentent une majorité de la surface. Le blé, l'orge, le maïs et le colza sont les cultures dominantes et représentent à elles seules environ 85% de la SAU. Les rotations les plus fréquentes sont : colza-blé-(blé)-maïs-blé, colza-blé-(blé)-orge, et colza-blé-blé. (Cormier, 2018). La non-reprise de certaines de ces exploitations conduit à la diminution de la grande culture céréalière et à la multiplication de nouvelles activités agricoles de taille plus modeste, qui se diversifient vers le maraîchage et l'arboriculture. Cette dynamique s'accompagne d'une hausse de la demande des consommateurs en produits locaux, qui offre de nouveaux débouchés aux productions agricoles. Les systèmes maraîchers et arboricoles représentaient, en 2019, seulement 3% de la SAU. Les données complètes de production végétale établies à l'échelle départementale (Eider, 2020) sont représentées sur la Figure 56-A.

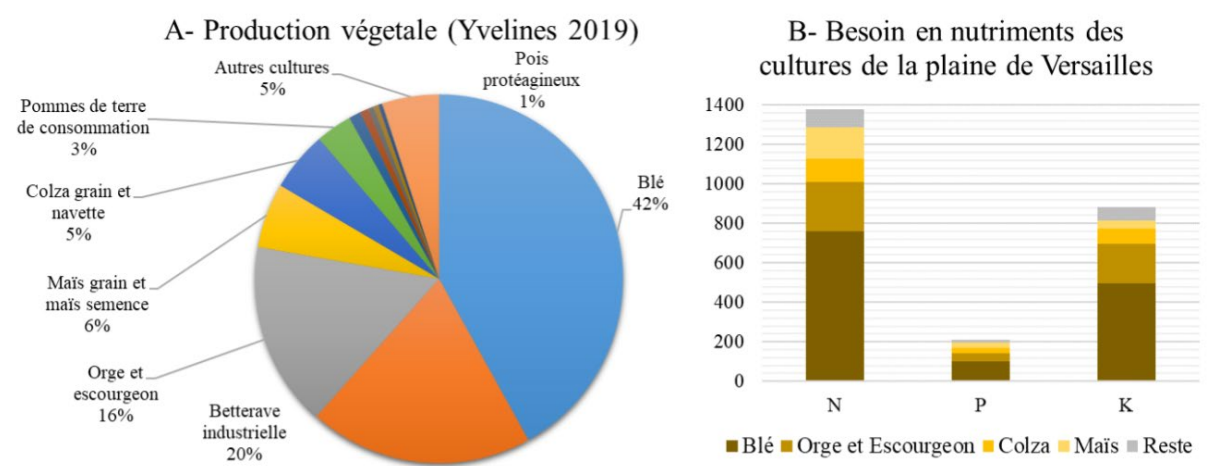


Figure 56 : A- Répartition du poids de la production végétale dans le département des Yvelines (Données : Agreste, total = 717 561 t). B- Besoin en nutriments calculé pour les 13 cultures majoritaires des Yvelines, ramenées à la SAU de la plaine de Versailles.

Dans les Yvelines, 13 cultures principales¹⁰⁷ représentent 95% de la production en poids - les 5% restants correspondant à une large variété de cultures. Afin d'établir le besoin en nutriments de ces cultures, nous proposons de considérer que le système agricole de la plaine de Versailles correspond à celui des Yvelines, en appliquant un prorata sur la SAU¹⁰⁸. En croisant ces données avec les éléments contenus dans les organes végétaux (Comifer, 2009, 2013b), il est possible d'estimer le besoin total annuel des cultures en éléments fertilisants. Cette valeur est supérieure à la dose à apporter réellement, car celle-ci doit tenir compte des entrées naturelles de nutriments (cf Figure 18 du Chapitre 2). Le calcul des besoins en nutriments des 13 cultures principales identifiées a été réalisé, comme approximation des

¹⁰⁷ **Céréales** : Blé, Orge et Escourgeon, Avoine, Triticale, maïs grain et maïs semence. **Oléagineux** : colza grain et navette, Tournesol. **Protéagineux** : Soja, Pois protéagineux, fèves et fèves. **Autres** : betterave industrielle, lin textile.

¹⁰⁸ Le ratio étant 11,35%, voir annexe C-2.1.

besoins totaux au sein du périmètre. Les résultats sont présentés sur la Figure 56-B. Parmi les cultures principales, le blé, l'orge/escourgeon et le colza représentent 86% de l'azote, 85% du phosphore et 78% du potassium. Les données détaillées utilisées pour ces calculs sont présentées en annexe C-2.1.

Livraisons d'engrais et apports de PRO

Une deuxième manière d'évaluer les besoins en éléments fertilisants est d'utiliser les données sur l'utilisation effective d'engrais. L'Union des industries de la fertilisation (UNIFA, 2019) propose des informations sur la livraison d'engrais minéraux à l'échelle régionale par, représentées pour l'Ile-de-France sur la Figure 57¹⁰⁹. De la même manière que précédemment, ces données peuvent être ramenées à l'échelle du périmètre en appliquant un prorata par rapport à la SAU de l'Ile de France¹¹⁰. La dose apportée par les PRO, calculée au 8.1.1, doit également être comptabilisée dans ces apports, notamment pour la fourniture de P et de K (étant donné que les coefficients d'équivalence pour ces éléments sont élevés).

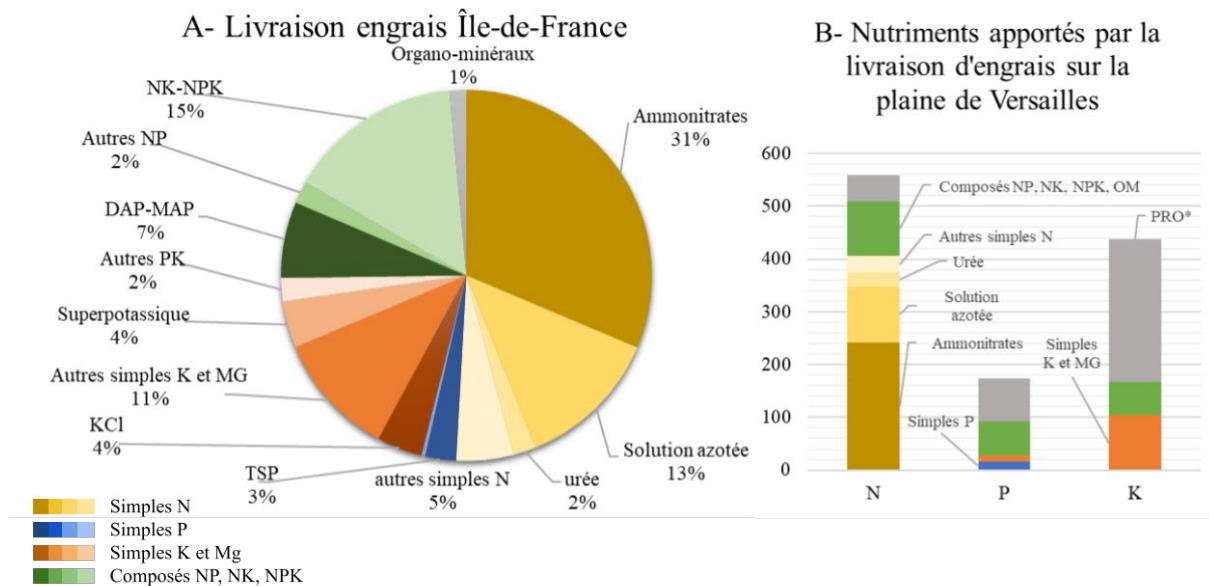


Figure 57 : A- Répartition des types d'engrais utilisés en Ile-de-France sur la campagne de fertilisation 2017-2018, en pourcentage du poids (total : 162 896 t). Données : (UNIFA, 2019). B- Nutriments apportés via les engrais livrés répertoriés par l'UNIFA, par type d'engrais. *Les valeurs représentées pour les PRO correspondent à celles calculées au 8.1.1.

¹⁰⁹ Note : il a été observé que ces données présentent une fiabilité limitée. D'une part, elles ne représentent pas nécessairement l'utilisation réelle d'engrais par les agriculteurs. La livraison ne permet pas de connaître l'évolution des stocks, et notamment les phénomènes de spéculation pouvant exister sur ces matières dont le cours est très variable. D'autre part, selon la configuration régionale, une partie des engrais fournis n'est pas représentée. On remarque, en observant le rapport de l'UNIFA, une incohérence entre les valeurs de fertilisation à l'hectare pour l'Ile-de-France et celles des régions voisines ayant pourtant des systèmes agricoles similaires. Cela laisse suggérer que les valeurs données sont sous-estimées.

¹¹⁰ La SAU de l'Ile de France correspondant à 567 425 ha d'après le RPG, le ratio couvert par la SAU de la plaine de Versailles est de 1,76%.

Demande d'engrais et du taux de substitution par les PRO

Le croisement entre les valeurs obtenues permet d'estimer le besoin réel d'apports annuel en éléments. Les besoins végétaux totaux peuvent être considérés comme une borne supérieure, et la livraison d'engrais comme une borne inférieure¹¹¹. Une moyenne entre ces deux valeurs peut donc être considérée comme une approximation raisonnable du besoin en nutriments. Notons que la valeur de besoin en azote calculée par Dhaouadi (2014) avec une méthode plus élaborée (prenant en compte les types de sols et de rotation) se situe dans la plage obtenue. Cette valeur a été retenue pour définir le besoin d'azote. Le besoin quantitatif en éléments est ainsi donné par le Tableau 22. Ces valeurs peuvent être utilisées pour déterminer le taux de substitution par les PRO. Il apparaît ainsi que les PRO apportés couvrent seulement 4% des besoins en azote¹¹², mais atteignent les taux plus intéressants de 43% et 41% des besoins en P et K, respectivement. Ces calculs mettent en évidence qu'il existe une très grosse marge d'amélioration du recyclage de l'azote. Concernant le P et le K, les taux actuels sont déjà corrects et l'augmentation de l'apport de PRO pourrait éventuellement poser un problème de surfertilisation.

Tableau 22 : Calcul du besoin en nutriments sur la plaine de Versailles. *Dhaouadi, 2014 ** Moyenne entre la livraison d'engrais/PRO et le besoin calculé. Le taux de substitution par les PRO est calculé avec les valeurs calculées au 8.1.1.

	N	P	K
<i>Apports totaux (engrais livrés + apports PRO)</i>	559	174	438
<i>Besoin max (Besoin des cultures)</i>	1366	209	880
<i>Besoin estimé en apports :</i>			
Substitution par les PRO	1308* 4%	192** 43%	659** 41%

Types d'engrais utilisés

Les données présentées jusqu'ici ne correspondent qu'à des valeurs agrégées, qui informent peu de la forme sous laquelle ces engrais sont apportés. La substitution implique en effet que les PRO aient une fonction similaire à celle des engrais dans les systèmes, qui n'a pas encore été explicitée. Les données de l'UNIFA donnent une première indication sur le type d'engrais livré (Figure 57-A). D'après ces données, les engrais les plus demandés sont les simples N, notamment les ammonitrates (solides) et la solution azotée (liquide). L'utilisation de ces deux types d'engrais représenterait respectivement 66% et 11% de l'azote fourni les cultures principales (blé, colza, orge et maïs) dans les itinéraires classiques (Lefèvre, 2015). Les données indiquent également une demande plutôt élevée en engrais de type K et Mg, NK-

¹¹¹ Notamment du fait des incertitudes évoquées dans la note ci-dessus.!

¹¹² Cette valeur de 4% peut être comparée à celle obtenue par Dhaouadi (2014). En tenant compte de l'apport réel en N pour les cultures, il estime que les PRO couvrent 13% de la demande en azote. Ceci représente le taux de couverture théorique que pourrait atteindre le recyclage du N, si celui-ci était effectivement pris en compte dans les stratégies de fertilisation azotée.

NPK, Phosphate diammonique (DAP) et phosphate monoammonique (MAP)¹¹³. Ces données informent sur une forte demande en intrants de synthèse essentiellement azotés (simple N), avec un besoin à la fois sous forme solide et liquide. Ces deux formes répondent en réalité à des besoins différents. La forme liquide est moins chère et plus simple à utiliser. Elle est cependant plus susceptible à des pertes par volatilisation, surtout par temps chaud. De plus, le contact des couverts végétaux avec une solution riche en azote entraîne un risque de brûlure pour la plante, ce qui diminue donc les possibilités d'utilisation lorsque les parties aériennes sortent de terre. La forme solide, plus chère, se présente sous forme de petites billes qui sont dissoutes dans le sol lorsqu'il pleut. L'apport d'éléments fertilisants est généralement fractionné, afin d'optimiser son efficacité vis-à-vis du métabolisme de la plante. Il y a ainsi entre 1 et 3 apports d'engrais au cours d'une culture. D'après Lefèvre, (2015), les deux premiers apports sont généralement en février et en mars et contiennent 90 à 100% de la dose en nutriment. Ils sont apportés par des engrais azotés en solution ou par des engrais ternaires (NPK) solides. Le troisième apport, lorsqu'il a lieu (principalement sur du blé), apporte la dose restante en mai, sous forme solide. Cette fertilisation est également très liée aux pratiques de rotation et à la culture en cours.

Freins et leviers à l'utilisation des PRO en grande culture

Les pratiques actuelles d'utilisation de PRO décrites dans la littérature permettent d'identifier les principaux freins et leviers quant à leur utilisation. Une problématique importante du monde agricole est le **débouché de la production**, qui représente la préoccupation principale, notamment en ce qui concerne l'usage de PRO. (Bruyère et al. 2015). Si l'achat peut être assuré par la coopérative, il peut également être négocié dans des contrats passés avec le secteur agroalimentaire. Ces contrats imposent parfois des normes de production pouvant être plus restrictives que les normes réglementaires, notamment concernant l'épandage de boues de STEP. (Joncoux, 2014). Un autre type de cahier des charges est le **label « Agriculture Biologique » (AB)** vers lequel se tournent de plus en plus d'agriculteurs, et qui entraîne donc une modification de la demande en intrants. Si les engrais minéraux et de synthèse sont interdits en AB, tous les PRO n'y sont pas acceptés non plus¹¹⁴. Cela concerne notamment les boues de STEP, qui sont exclues, ainsi que certains effluents animaux issus d'élevages non bio ou les urinofertilisants. Les matières fertilisantes actuellement utilisées en bio sont principalement du compost de déchets verts bio (20%), du fumier de cheval (20%), des fientes de poules bio (50%) (Cormier, 2018). Dans le contexte agri-urbain du système-territoire, il existe premièrement de fortes **tensions entre les habitants des villes et les activités agricoles** – ou plus généralement toute activité qui est source de gêne potentielle pour ces habitants. Ces tensions se cristallisent autour des problèmes **d'odeurs** liés à l'épandage, de l'utilisation de pesticides ainsi que de la perturbation du trafic routier par la présence d'engins agricoles. Elles agissent donc dans des sens contradictoires, poussant d'une part les agriculteurs à s'orienter vers les itinéraires AB pour réduire l'utilisation d'intrants, mais les poussant d'autre part à limiter la quantité de PRO épandus, généralement odorants. Par ailleurs, la région ouest de l'Ile-

¹¹³ Ces données estimées pour le périmètre de l'APPVPA ne coïncident pas exactement avec les informations de livraison d'engrais. Le système agricole de la plaine de Versailles n'étant pas particulièrement différent de celui de l'Ile-de-France, cette différence s'explique probablement par le manque de fiabilité des données régionales de l'UNIFA (voir notes précédentes).

¹¹⁴ Les intrants utilisables sont listés dans l'annexe 1 de la réglementation (CE) N° 889/2008 de la commission européenne (Commission Européenne, 2008). Tous les intrants non spécifiés dans cette liste sont, de fait, exclus.

de-France a été marquée par la **pollution historique** des boues de la station d'épuration d'Achères, qui se situe non loin du périmètre de l'APPVPA. Un scandale médiatique a révélé, en 1995, des teneurs élevées en métaux (plomb, mercure...) sur les terrains où les boues étaient épandues, entraînant un risque important pour la santé publique, dont a résulté l'interdiction de production agricole sur ces terres. Cet épisode a provoqué une méfiance généralisée des agriculteurs à l'égard des flux urbains (Joncoux, 2014). Un autre facteur influençant les pratiques est le **régime de propriété** des terres. Certains agriculteurs sont propriétaires de leurs terres, tandis que d'autres sont locataires, ou sont mobilisés en tant que travailleurs à façon. Les propriétaires ont plus intérêt à entretenir le sol sur la durée avec des pratiques amendantes que les locataires (Cormier, 2018). L'utilisation de certains PRO nécessite également du **matériel agricole spécifique**, alors que d'autres sont compatibles avec le matériel utilisé classiquement. Par exemple, peu d'exploitations disposent de leur propre épandeur à fumier, alors qu'elles sont quasiment toutes équipées de pulvérisateurs permettant l'apport d'engrais liquides (Cormier, 2018). Lorsqu'un agriculteur ne dispose pas du matériel adéquat pour épandre un PRO, il peut louer ce matériel ou faire intervenir une entreprise de travaux agricoles (ETA) qui le possède, ou encore faire épandre par le propriétaire du PRO. Cette dernière situation est fréquente pour les PRO assimilés à des « déchets » comme les boues de STEP et certains digestats, au travers du principe de « zéro rendu racine » (sous-entendu : l'agriculteur ne paie pas la matière ni l'épandage). La **concentration en nutriments** des PRO joue également un rôle important dans les pratiques. Moins la matière épandue est concentrée, plus il est nécessaire d'en épandre pour atteindre la dose désirée à l'hectare. Les années où les PRO sont épandus, ces quantités sont de l'ordre de 5 à 15 t/ha pour du compost ou du fumier, environ 5 t/ha pour des fientes, et de 0,5 à 2 t/ha pour des PRO plus concentrés comme des sous-produits d'IAA (Chambre d'agriculture d'Ile-de-France, 2013 ; Cormier, 2018). Cela augmente la charge de travail, le temps passé pour épandre un PRO pouvant ainsi être 20 fois plus important que pour épandre un engrais minéral. Par ailleurs, les nombreux passages nécessaires dans le champ, avec des engins très lourds (en particulier les tonnes à lisier pour épandre les matières liquides) endommagent et tassent le sol des parcelles, en plus de générer des coûts supplémentaires liés à la consommation de carburant. L'utilisation des PRO est également raisonnée par rapport à l'**assolement**. Les agriculteurs évitent notamment d'épandre des PRO sur du blé, afin d'éviter de prendre tout risque¹¹⁵ pour cette culture qui est la plus rémunératrice (Dhaouadi, 2014). Ils sont plutôt apportés avant certains types de culture, comme le colza (en tête de rotation) ou le maïs. Le blé représente 42% de la SAU contre, respectivement, 16%, 6% et 5% pour l'orge, le maïs et le colza. La prise en compte de ces éléments par les agriculteurs se traduit dans différents profils d'utilisateurs, que Joncoux (2014) établit au nombre de 4 : les non utilisateurs, les opportunistes, les utilisateurs de *déchets* – utilisant gratuitement les PRO dont d'autres acteurs souhaitent se débarrasser – et les utilisateurs de *produits* – achetant des PRO normalisés avec des caractéristiques spécifiques. D'après les informations connues sur les systèmes agricoles (Cormier, 2018) – et notamment les équipements et pratiques des exploitations, il est possible d'estimer que 20% des agriculteurs en grande culture sont non utilisateurs, 61% sont opportunistes ou utilisateurs de déchets (les données disponibles ne permettant pas de distinguer les deux types), et 2% sont utilisateurs de produits – le profil des 17% restants restant inconnu.

¹¹⁵ Ces risques incluent notamment la baisse de rendement liée à une possible faim d'azote (voir Chapitre 2), ou une dévalorisation de la production en cas de problème sanitaire.

Demande de PRO dans les systèmes non céréaliers

Ces considérations concernent avant tout la grande culture céréalière, mais n'informent pas sur la demande de PRO (en quantité comme qualité) dans les autres systèmes agricoles, notamment maraîchers et arboricoles. Malgré leur surface modérée, ces systèmes pourraient en effet être des consommateurs de PRO importants, et ainsi rendre leur besoin pertinent dans le cadre d'une symbiose territoriale. Ils n'ont en revanche pas encore bénéficié d'études aussi détaillées que celles existant pour les systèmes céréaliers. C'est la raison pour laquelle un stage de M2 a été proposé au cours de la thèse et co-encadré en collaboration avec l'INRAE. Les enquêtes conduites auprès de maraîchers du sud-ouest parisien ont permis d'identifier la présence de 26 exploitations au sein du périmètre, pour une SAU d'environ 300 ha (Boros *et al.*, s. d.). Une proportion importante travaille en label AB (45%) ou sans pesticides (13%), et est installée depuis moins de 5 ans. Il apparaît effectivement que les quantités de PRO utilisées en maraîchage et arboriculture sont importantes, de l'ordre de 30 t/ha/an (là où cette quantité est, en grande culture épandue seulement tous les 3 à 5 ans). La demande sur la plaine de Versailles correspondrait donc à 4,7 kt par an, soit 13% de la quantité de compost produite par le SGPRO. Cette quantité est importante pour un système agricole représentant seulement 3% de la SAU. Il apparaît que le raisonnement de la fertilisation est beaucoup moins précis dans ces systèmes que dans les systèmes céréaliers. La dose d'apport n'est pas calculée par rapport à un besoin précis, mais plutôt par le jugé et l'expérience. Contrairement aux céréaliers, la quasi-totalité des maraîchers utilisent des PRO, à une fréquence annuelle, pour compenser les exports de nutriments beaucoup plus importants (notamment en P et K) et entretenir le taux de matière organique du sol. Les PRO sont également utilisés en tant que paillage, afin de maintenir l'humidité du sol et de limiter les adventices (malgré le risque de faim d'azote). Les PRO répondant le mieux à cette demande et actuellement utilisés sont le compost de déchets verts et le fumier de cheval. Malgré cela, 70% des maraîchers et arboriculteurs utilisent également des engrais du commerce, dont la plupart aimeraient se passer. Le compost de biodéchets, dont les propriétés sont proches des matières déjà utilisées, pourrait donc rencontrer une forte demande. Cependant, des matières comme le digestat de biodéchets ou les urinofertilisants, qui pourraient être disponibles grâce à une symbiose territoriale, sont moins demandées. Un des freins identifiés est la forme physique de ces PRO. Les systèmes maraîchers ne sont en effet pas équipés pour épandre des PRO liquides, ce qui pose problème par rapport aux matières sous format liquide. Par ailleurs, un nombre important de ces agriculteurs vendent en circuit court, dans lequel la relation de confiance avec le client est importante. L'utilisation de ces matières, jugées plus risquée sur le plan sanitaire¹¹⁶, est donc moins plébiscitée qu'en grande culture.

¹¹⁶ Les digestats par exemple, sont pour l'instant interdits d'utilisation en maraîchage, car ils sont moins stables biologiquement que les composts, ce qui est particulièrement problématique pour des légumes parfois consommés crus. Concernant les urinofertilisants, les agriculteurs perçoivent un risque de contamination par des résidus de médicaments.

8.1.3. Etablissement d'un cahier des charges pour une symbiose territoriale

L'objectif de ce diagnostic préliminaire est d'identifier des pistes pertinentes pour la modification des filières de traitement vers un meilleur recyclage des nutriments. Une partie importante de la matière organique résiduelle n'est aujourd'hui pas valorisée, ou alors ne permet pas la substitution d'intrants non renouvelables. Cette situation ne pourrait pas être simplement résolue en épandant plus de PRO disponibles, car leur fonction est essentiellement amendante, ce qui ne répond pas à l'important besoin de fertilisation. Néanmoins, en quantité absolue, la teneur en éléments de matières résiduelles (Tableau 21) pourrait être suffisante pour subvenir aux besoins des cultures (Tableau 22). Cela suggère qu'il serait possible d'atteindre un meilleur taux de substitution, en modifiant les PRO disponibles, c'est-à-dire en modifiant le SGPRO. De par les analyses présentées, cinq leviers d'évolution sont identifiés, définissant ainsi un « cahier des charges » :

1. **Augmenter la valeur fertilisante des PRO.** La faible concentration en N des PRO actuels les rend difficilement utilisables en tant que fertilisation, alors que c'est le principal besoin des exploitations en grande culture. Il serait donc important d'augmenter la concentration en N, notamment minéral, dans les PRO. Dans le cas d'un usage plus important de PRO fertilisant, il existe un risque de surfertilisation en élément P et K, ce qui pourrait être problématique en termes d'impacts environnementaux. Il serait donc intéressant que les PRO fertilisants soient plus riches en azote qu'en P et K, afin de garder l'équilibre des éléments apportés.
2. **Diminuer le risque lié à l'utilisation des PRO.** Un frein important à l'utilisation des PRO réside dans les risques – réels ou supposés – qu'ils présentent pour les exploitations agricoles. Les principaux risques sont la dévalorisation de la production végétale, la baisse de rendement suite à une immobilisation de l'azote et la pollution des sols. Pour limiter le risque de pollution, il est possible de purifier les PRO ou de mieux les séparer en amont, de manière à isoler le plus tôt possible les matières intéressantes pour l'agriculture. La première solution est coûteuse, potentiellement complexe, sans garantie d'une meilleure acceptation. La deuxième dépend de la qualité du tri et de la confiance accordée aux trieurs. Une partie de ces risques relève de représentations sociales et de freins mentaux des agriculteurs ou des acteurs qui achètent leur production. Lever ces freins nécessite d'améliorer l'information et la communication sur les PRO disponibles, afin que les risques soient correctement évalués par chacun.
3. **Améliorer la compatibilité des PRO avec le matériel existant.** Une des contraintes d'utilisation des PRO est le fait qu'il est souvent nécessaire d'avoir un équipement particulier. A ce titre, il serait intéressant de modifier les propriétés physiques des PRO de manière à ce qu'ils puissent être utilisés avec du matériel courant. Il serait pour cela nécessaire de les conditionner pour qu'ils se présentent soit sous forme liquide, compatibles avec les pulvérisateurs, soit forme solide sèche, compatible avec les épandeurs à engrais. Le problème de matériel peut également être résolu par l'augmentation des pratiques de prêt ou de mutualisation, notamment au travers de CUMA, ou de prestation par des

acteurs locaux (producteurs ou non de PRO). Cela nécessite une augmentation de la coopération et de l'interconnaissance au sein du système-territoire.

4. **Incorporer davantage les PRO dans les pratiques agricoles.** Une des raisons de la non utilisation des PRO est que la surface sur laquelle ils sont épandables est limitée par les itinéraires techniques, au sein desquels ils ont une place restreinte. Lever ce frein implique une évolution des pratiques de culture pour incorporer plus de PRO, comme c'est le cas dans les itinéraires AB. Il est également possible d'adapter les produits proposés, de manière à ce qu'ils répondent mieux aux besoins agricoles. Cela permettrait par exemple d'épandre des PRO sur des cultures habituellement exclues de ces pratiques, comme le blé. Parallèlement, une meilleure connaissance des matières produites et disponibles de la part des agriculteurs permettrait d'étendre les usages des utilisateurs opportunistes. La normalisation de produits pourrait permettre d'augmenter la confiance dans les PRO et augmenter leur usage.
5. **Réduire la pression sociale sur le monde agricole.** Une contrainte importante est la pression sociale des riverains, à la fois sur les pratiques agricoles mais également sur les procédés de transformation susceptibles de produire des nuisances, dont les odeurs. Concernant la transformation, la prise en compte sérieuse de la problématique des odeurs devrait être privilégiée, afin de trouver des solutions pour éviter les nuisances pour les riverains. Concernant l'agriculture, l'épandage de produits moins humides et plus concentrés permettrait de réduire la dose et l'émission d'odeurs. Il serait néanmoins utile de favoriser la communication entre le monde agricole et le monde urbain, afin d'améliorer la compréhension mutuelle et d'apaiser les tensions. Il serait notamment important d'accentuer le fait que ces pratiques odorantes participent à une stratégie globale bioéconomique et écologique, malgré la gêne parfois occasionnée.

Identification de filières potentiellement pertinentes

Au vu de ces leviers d'évolution, un certain nombre de filières peuvent être identifiées comme potentiellement pertinentes dans le cadre de l'évolution du SGPRO vers une symbiose territoriale. Malgré le fait qu'il ne se substitue pas aux intrants de synthèse, le compost de déchets verts est prisé par les acteurs de la grande culture céréalière et par les maraîchers, répondant à un besoin régional en amendement des terres. Les déchets verts sont une matière organique stratégique, car ils sont souvent utilisés pour équilibrer les procédés de compostage et méthanisation, nécessitant leur broyage préalable. La mise en place de nouvelles filières est susceptible d'augmenter le besoin en déchets verts broyés. Il pourrait à ce titre être intéressant d'organiser le **broyage de déchets verts** à l'échelle territoriale afin de les rendre plus facilement disponibles. Le broyat de déchets verts pourrait également être utilisé en tant que litière pour les élevages de chevaux, substituant ainsi ces intrants. Il est également demandé en tant que paillage pour les maraîchers. Une autre possibilité pour les déchets est de tirer parti de leur pouvoir calorifique intéressant pour produire de l'énergie, et de **valoriser les cendres en agriculture**. Très concentrées en nutriments sauf en N, ces cendres pourraient se substituer à des engrais P et K. (RECORD, 2016) Cela ne contribuerait pas à la stratégie de fertilisation, mais permettrait de coupler de manière intéressante la production d'énergie et la conservation des nutriments pour l'agriculture. Dans la filière ERU, une partie importante des nutriments est

perdue lors de l'étape d'assainissement. Il serait intéressant d'étudier dans quelle mesure des systèmes d'assainissement alternatifs permettraient à la fois d'assurer l'hygiénisation des ERU humaines et le retour au sol des nutriments qu'elles contiennent. La **collecte séparée des urines** permettrait d'agir sur tous les leviers identifiés. Elle permettrait premièrement d'augmenter le potentiel régional en captant le flux d'azote dans les urines avant que celui-ci ne soit éliminé en STEP. Elle permettrait également d'avoir une matière très peu polluée, et très riche en azote directement assimilable par les plantes. Sous forme liquide, elle pourrait s'adapter au matériel existant et s'insérer dans des itinéraires techniques en tant que fertilisant. Plus en aval de la filière, le **séchage de boues** pourrait avoir un avantage par rapport à l'utilisation de boues brutes ou compostées¹¹⁷. Au-delà de concentrer les éléments, le séchage rendrait les boues plus manipulables et diminuerait les odeurs lors de l'épandage (même si celles-ci pourraient être plus importantes lors du processus de séchage). En revanche, ce procédé ne réduit pas le risque de pollution et ne permet pas une meilleure incorporation dans les systèmes de cultures. Inutilisables en bio, elles risquent d'être interdites à moyen terme même sous forme séchées. Concernant la gestion des biodéchets des ménages, leur tri à la source ouvre de nouvelles possibilités de transformation. Un nouveau compost dans le système-territoire ajouterait une matière amendante, qui serait intéressante pour les maraîchers mais ne répondrait pas au besoin agricole céréalier. Pour cette raison, la **méthanisation centralisée**¹¹⁸ présente des avantages potentiels significatifs. Elle permet de coupler la valorisation matière avec la valorisation énergétique des PRO. Le digestat est potentiellement plus intéressant pour l'agriculture que le compost, car plus concentré en nutriments (notamment en azote) sous forme minérale. Cela peut être accentué par une séparation de phase qui isole la partie liquide, riche en azote, de la partie solide, riche en carbone. Le risque de pollution des digestats dépend essentiellement de la qualité des PRO traités par le procédé de méthanisation, et peut donc être limité par la mise en œuvre d'une collecte séparée. Les effluents animaux sont actuellement plutôt bien valorisés et la situation actuelle peut être considérée comme satisfaisante pour les effluents trouvant déjà un usage par des échanges de proximité. Pour les autres effluents non valorisés à l'heure actuelle, notamment certains fumiers de chevaux, il pourrait être intéressant d'introduire une étape de **compostage** ou de **méthanisation** dans le système-territoire.

Ces différentes filières ne répondent pas forcément à tous les critères et ne sont pas forcément compatibles entre elles. La sélection devra se faire dans une étape d'élaboration de scénarios, qui est présentée dans le Chapitre 9 (voir section 9.1).

¹¹⁷ Notons cependant qu'une filière de séchage a existé dans une STEP du système-territoire, mais a été abandonnée par car trop coûteuse.

¹¹⁸ La méthanisation décentralisée ne fait pas partie des technologies envisagées, même si elle pourrait également être intéressante

8.2. Analyse qualitative des rôles, facteurs d'influence et pratiques de concertation des acteurs du système-territoire

Le fonctionnement matériel du SGPRO et le potentiel technique de symbiose territoriale ne sont qu'un des aspects du système-territoire, qui ne permet pas de comprendre les principes qui guident les acteurs dans leurs choix de gestion des PRO. Dans l'objectif de formuler une promesse plausible, un niveau de compréhension plus large et plus générique est nécessaire. Le chapitre précédent fait état de quelques aspects qualitatifs du fonctionnement du SGPRO, en détaillant notamment les principaux facteurs techniques et sociaux considérés par le monde agricole. Ces facteurs d'influence s'appliquent en réalité à tous les acteurs du système-territoire. Cette section a pour objectif de détailler les acteurs composant le SGPRO et leur mode d'action, en identifiant et qualifiant leurs rôles, et les facteurs d'influence auxquels ils sont soumis. Elle permet ainsi de comprendre comment ces différents acteurs pourraient intervenir au cours d'une concertation et de délimiter le périmètre pertinent pour les acteurs-cibles des promesses plausibles. Elle se base pour cela sur une analyse qualitative d'entretiens réalisés avec des acteurs du système-territoire.

8.2.1. Méthodologie d'analyse qualitative pour l'étude du SGPRO

Approche générale

L'analyse a été conduite selon les principes généraux décrits à la section 7.3.2 et en annexe C-1.1, en se basant sur l'ensemble des entretiens des Phases 1 et 2. L'interprétation des entretiens a été structurée par les trois principaux thèmes abordés dans les entretiens de la Phase 1 (et la première partie des entretiens de la Phase 2), à savoir : les actions menées par les répondants en lien avec la gestion des PRO, leur implication dans des démarches de concertation actuelles ou potentielles, et leurs liens avec d'autres acteurs. Les entretiens ont également permis d'obtenir des informations sur des acteurs qui n'ont pas été rencontrés directement, mais qui peuvent toutefois être intégrés dans l'analyse. Pour chaque acteur, un ensemble de caractéristiques utiles à l'analyse a également été identifié. Outre la nature de la structure (association, entreprise...), son statut (public/privé), et son secteur d'activité, les caractéristiques retenues sont la proximité géographique au périmètre, le fait que l'activité d'un acteur se déroule au sein du périmètre et le fait que l'acteur soit un acteur-cible pertinent. La méthodologie utilisée pour déterminer ces caractéristiques particulières est détaillée dans la suite de cette section 8.2.1. Les résultats obtenus permettent de décrire les éléments suivants : (1) Une cartographie détaillée des acteurs du SGPRO, présentée dans la section 8.2.2, (2) Les principaux facteurs d'influence expliquant les choix et le comportement de ces acteurs, présentés dans la section 8.2.3, (3) Une formalisation théorique du fonctionnement du SGPRO basée sur ces éléments, présentée dans les sections 8.2.4 et 8.2.5, et (4) Une synthèse des pratiques actuelles de concertation et du périmètre pertinent pour initier une symbiose territoriale (8.2.6). La dernière section (8.2.7) présente des éléments conclusifs et opérationnels sur les enjeux liés à l'initiation d'une symbiose territoriale au sein du système-territoire.

Evaluation de l'ancrage territorial des acteurs

Le périmètre de l'APPVPA, correspondant à un espace délimité représentatif des enjeux du système-territoire, est ici considéré comme un indicateur servant à mesurer l'ancrage territorial des acteurs (Bousquet *et al.*, 2020). D'une part, la **proximité géographique** par rapport au périmètre est évaluée. Les acteurs situés à l'intérieur de ses limites, ou en bordure proche, sont considérés comme « proches » géographiquement. En revanche, les acteurs plus éloignés de ce périmètre, ou ceux dont les activités comprennent le périmètre mais le dépassent largement¹¹⁹, sont considérés comme distants. Cette proximité reflète une dimension identitaire et organisationnelle du territoire. Les acteurs géographiquement proches du périmètre sont susceptibles de mieux y percevoir les enjeux de gestion des PRO, et sont également rapprochés par des instances communes (communautés de communes, APPVPA...). Cette proximité géographique est distinguée d'une proximité organisationnelle matérielle, évaluée par le fait que des acteurs aient une **activité à l'intérieur du périmètre**, activité pouvant être de toute nature. Cette caractéristique traduit le fait que l'acteur, peu importe son lieu d'implantation, serait impacté par une démarche de concertation centrée sur le périmètre. Les acteurs combinant une proximité géographique au périmètre et une activité à l'intérieur de celui-ci sont identifiés comme étant au **cœur du système-territoire**. Cette propriété traduit un ancrage particulièrement marqué au système-territoire, ce qui présuppose un intérêt potentiellement important pour contribuer à une démarche de concertation (Bahers et Durand, 2017 ; Beaurain et Brulot, 2011).

Définition d'un périmètre de concertation

L'analyse des entretiens de la Phase 1 permet de déterminer, pour chaque acteur, s'il serait ou non un participant potentiel lors d'une démarche de concertation, c'est-à-dire un **acteur-cible pertinent** pour les promesses plausibles. Cette information peut être soit indiquée directement par l'acteur au cours de l'entretien, soit déduite grâce aux informations obtenues sur des acteurs de nature similaire, soit estimée au mieux, compte tenu de la compréhension acquise au cours de l'étude. Cette indication permet de chercher des points communs entre ces acteurs, pour tracer le contour d'un **périmètre de concertation**, valable *a minima* pour le cas d'étude. La méthode employée pour cela, détaillée en annexe C-2, est une identification par itération des caractéristiques (ou combinaison de caractéristiques) nécessaires ou suffisantes pour que les acteurs se situent au sein le périmètre de concertation. Les caractéristiques en question sont soit celles déterminées par l'analyse qualitative (le rôle des acteurs), soit celles liées à l'ancrage territorial décrites ci-dessus.

8.2.2. Cartographie des acteurs du système-territoire

Un premier résultat opérationnel de cette étude est une identification exhaustive des acteurs qui composent le système-territoire et de leurs modes de fonctionnement généraux. Cette cartographie permet d'identifier les acteurs associés aux flux de PRO décrits dans l'analyse du métabolisme (section 8.1). La description détaillée de ce système-territoire sert de base et permet d'illustrer la formalisation théorique proposée dans les sections suivantes.

¹¹⁹ C'est notamment le cas pour les groupes industriels, et les entités administratives dont les frontières sont plus larges que les communautés de communes.

PRO des habitants du système-territoire

Le périmètre de l'APPVPA compte 145 000 **habitants**, auxquels peuvent s'ajouter jusqu'à 500 000 habitants si l'on prend en compte les aires urbaines environnantes. Chaque ménage peut être considéré comme un micro-producteur de déchets (biodéchets et ERU), potentiellement impliqué dans le système de gestion. Ils peuvent par exemple participer aux efforts de réduction des déchets, pratiquer le tri à la source et/ou l'apport volontaire. Dans l'organisation du SGPRO, les modalités de gestion des déchets solides des ménages sont définies par les **communautés de communes** (ou d'agglomération) qui les représentent et qui disposent de la compétence administrative de gestion des déchets incluant leur collecte et leur traitement. Cette compétence est parfois exercée différemment d'une commune à l'autre au sein d'une même collectivité. Les communautés de communes peuvent décider de conférer la totalité ou une partie de cette gestion à des **syndicats de gestion des déchets** parmi lesquels on peut distinguer syndicat de collecte et syndicat de traitement. Cinq communautés de communes participent au SGPRO de la plaine de Versailles : Versailles Grand-Parc (VGP), Saint-Quentin en Yvelines (SQY), Gally-Mauldre (GM), Cœur d'Yvelines (CY) et Grand-Paris Seine et Oise (GPSO). Certaines adhèrent au SIEED, syndicat de collecte, et certaines au SIDOMPE, syndicat de traitement de déchets. Ces syndicats, eux-mêmes considérés comme des collectivités au sens administratif, peuvent adhérer à d'autres syndicats pour accomplir une partie de leur activité. C'est le cas du SIEED, qui adhère au SIDOMPE pour le traitement des déchets qu'il collecte. Ce système d'adhésion entraîne un complexe enchevêtrement administratif de compétences, qui est représenté sur la Figure 58-A. A un niveau administratif supérieur, la région **Ile-de-France** fixe des orientations générales au travers du PRPGDD¹²⁰. **L'Ademe**, souvent associée à la Région sur ces questions, est chargée de mettre en œuvre les politiques du ministère du développement durable, notamment en participant au financement de projets liés à la transition écologique, tout en produisant des rapports d'expertise visant à guider ces politiques. Elle accompagne les acteurs privés comme les acteurs publics.

Depuis la loi NOTRE, les intercommunalités ont grossi, et on est dans une phase où il y a trop de syndicats par rapport aux intercommunalités. Donc on est plutôt dans une logique de suppression de syndicats pour rationaliser leur nombre, et qu'ils collent mieux aux périmètres des intercommunalités. Mais ce sont des structures déjà existantes, avec beaucoup d'enjeux politiques. Il y a des élus, des présidents de syndicats... La logique va dans le sens de la suppression des syndicats, mais ça va prendre un certain temps, du fait de ces questions politiques.

Acteur public, novembre 2021

¹²⁰ La future stratégie décrite dans le PRPGDD accentue fortement l'objectif de réduction de déchets, notamment par la réduction du gaspillage alimentaire et le développement important des filières de compostage de proximité. Il reste très vague quant à la collecte sélective des biodéchets, en insistant sur la priorisation de la réduction par rapport à la valorisation, et en suggérant d'adapter les filières aux particularités locales. Concernant la structuration de nouvelles filières, il n'y a pas d'objectif clairement affiché de développer la méthanisation, et a fortiori celle des biodéchets. Il y a en revanche la volonté de développer encore le compostage de déchets verts, par l'implantation de nouvelles plateformes.

Concernant les déchets liquides, le fonctionnement est très similaire, même si les compétences sont gérées indépendamment de celles concernant les déchets solides¹²¹. Certaines communes disposent de leur propre installation de traitement, tandis que d'autres passent par des **syndicats d'assainissement**. De même que pour les déchets solides, ces compétences sont exercées de manière très hétérogène, comme le montre la Figure 58-B. Dans le système-territoire, les deux principaux syndicats d'assainissement sont Hydreaulys, et Thifeucha¹²², ayant chacun la charge d'une station d'épuration. A une échelle plus large, **l'agence de l'eau** du bassin Seine-Normandie élabore un SDAGE¹²³ fixant les objectifs liés à la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant. Ce schéma régional est décliné plus localement par le **comité de bassin** hydrologique de la Maule¹²⁴. Les collectivités sont de tailles variables, et le budget dont elles disposent dépend du nombre d'habitants. Alors que les plus urbanisées, comme VGP et SQY, disposent de plusieurs services distincts consacrés à leurs diverses compétences et s'engagent de manière proactive dans des dynamiques régionales (par exemple une étude conduite sur la valorisation des PRO sur le plateau de Saclay), les plus rurales, comme GM ou CY, disposent de moyens humains plus restreints et peuvent apporter moins d'attention à la gestion des PRO. Au sein de chacune de ces collectivités (communautés de communes comme syndicats), ce sont des élus qui disposent du pouvoir de décision et portent la responsabilité des conséquences pour les habitants. Ayant intérêt à ce que leurs décisions soient appréciées, ils influencent en ce sens les modalités de gestion des déchets mises en place. Les collectivités sont également responsables de la maîtrise des coûts associés à la gestion des PRO. Elles doivent s'aligner sur les réglementations nationales et les stratégies régionales, notamment l'obligation du tri à la source des déchets organiques à l'horizon 2023 pour laquelle elles ont la charge de trouver une solution (voir annexe A-2.2). Les **associations citoyennes** (par opposition aux associations professionnelles) sont une autre modalité de représentation des habitants. Elles traduisent la volonté de certains d'entre eux d'accélérer les politiques en faveur de l'environnement (comme le fait la Vitrine du Développement Durable à l'échelle de la communauté de communes de GM), ou de protéger et préserver la qualité du lieu de vie (comme le fait Yvelines Environnement).

¹²¹ Cela se traduit par l'existence de services spécialisés et différenciés au sein des collectivités, qui interagissent peu entre eux.

¹²² Syndicat d'assainissement de Thiverval, Feucherolles et Chavenay.

¹²³ Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.

¹²⁴ Rivière traversant la plaine de Versailles du Nord au Sud. Voir carte de présentation dans l'Encadré 7.

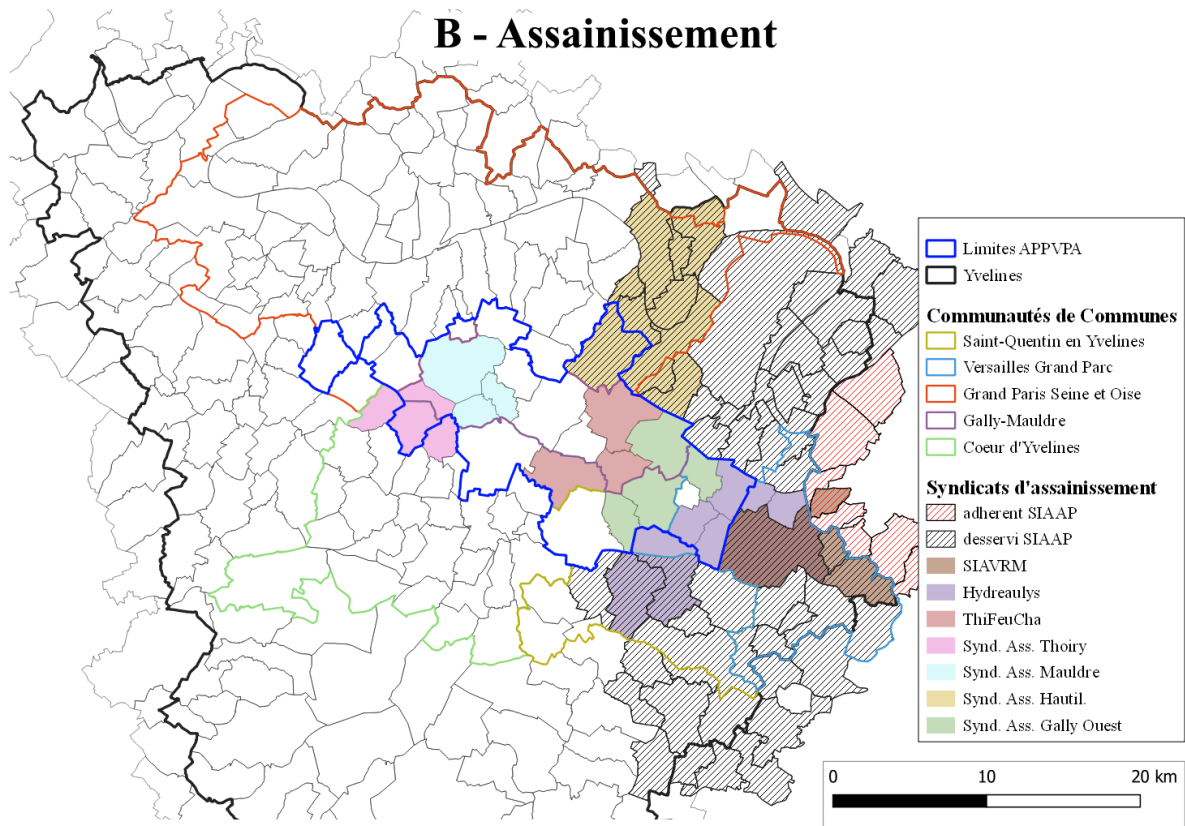
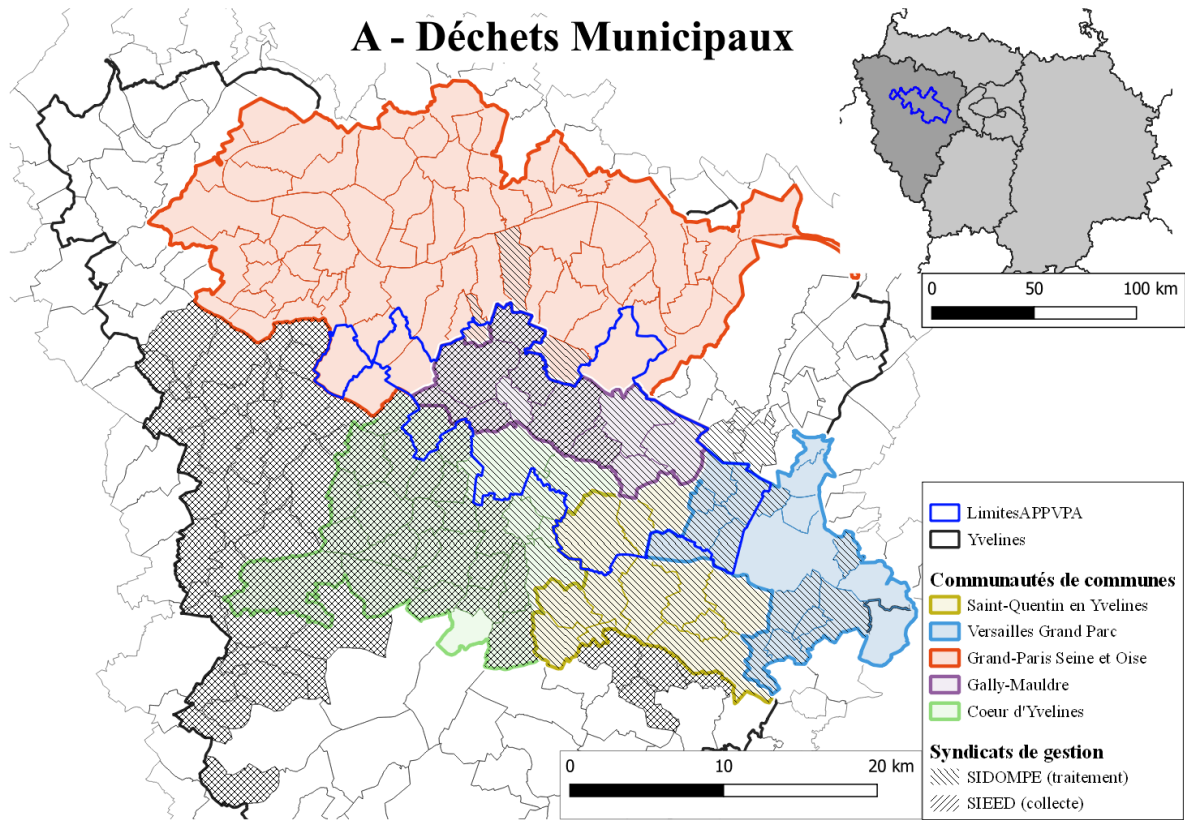


Figure 58 : Périmètres administratifs des acteurs compétents pour la gestion des PRO au sein du système-territoire. Les communes du périmètre non représentées comme adhérentes à un syndicat exercent en principe les compétences elles-mêmes.

Acteurs privés producteurs de PRO

Il existe un nombre important d'acteurs privés dont les activités ont un lien plus ou moins étroit avec la gestion des PRO, que l'on peut rattacher au secteur de la bioéconomie, dont certains sont localisés sur la Figure 59. Le système-territoire compte de nombreux **centres équestres**, recensés au nombre de 23 au sein du périmètre de l'APPVPA (Moinard, 2018). Cette activité nécessite un volume important de litière, qui peut notamment être fournie par de la paille ou des copeaux de bois, et génère un volume conséquent de fumier qui représente une réelle contrainte de gestion. Il existe en effet des normes contraignantes afin d'éviter les fuites d'azote vers l'environnement, imposant notamment la nécessité de l'étanchéité du stockage par rapport au sol, qui représente un coût important. Les flux connaissent une importante variation temporelle, car le volume est moins important en période estivale lorsque les animaux sont au pré plutôt qu'en écurie. Le stockage sur place génère des nuisances (visuelles, olfactives) qui sont problématiques pour les activités équestres, et notamment qui dégradent l'image du centre auprès des clients (Joncoux, 2014). Les nécessités liées à l'hygiène des animaux et la forte sensibilité des clients à cet aspect imposent aux centres équestres de renouveler très régulièrement la litière, ce qui appauvrit ses caractéristiques agronomiques. Ces contraintes font que la gestion des fumiers est souvent externalisée, avec un fort besoin de flexibilité, ce qui représente un poste de coût important. L'enlèvement est parfois assuré par les mêmes **entreprises qui fournissent la litière**, comme Europaille ou Buscoz, ou des agriculteurs situés à proximité. Autrement, les centres équestres paient pour l'enlèvement par des **collecteurs de fumiers**, qui doivent alors leur trouver une voie de valorisation. Les débouchés sont difficiles à trouver, notamment du fait de la disparition des filières historiques en champignonnière (Joncoux, 2014). Il existe certaines exploitations agricoles qui associent l'élevage de chevaux avec la grande culture, ce qui facilite le retour direct au sol de ces effluents (Cormier, 2018). L'activité **d'élevage** est peu développée au sein du périmètre, celle-ci étant majoritairement concentrée dans la ferme expérimentale de Grignon, associée à l'école AgroParisTech. Ces activités d'élevage parviennent sans difficulté à valoriser leurs résidus en agriculture. En milieu rural, il y a un fort besoin de gestion des espaces verts publics ou privés. Les **paysagistes** chargés de tondre, élaguer, tailler la matière végétale, sont les principaux producteurs de déchets verts du système-territoire, déchets dont ils doivent se débarrasser à moindre coût. Il existe une variation saisonnière importante, avec des flux accrus à l'automne (tailles, feuilles) et au printemps (tontes). Les **métiers de bouche** correspondent à la préparation et à la transformation alimentaire non industrielle (restaurants, boucheries, traiteurs...). Ils génèrent de par leur activité un volume important de déchets organiques. Parmi ces acteurs, la **restauration collective** dans des établissements privés (entreprises...) ou publics (hôpitaux, écoles, EHPAD...) est un secteur qui présente des flux importants et centralisés. Il existe quelques gros acteurs dans le système-territoire, comme Dupont Restauration, Elixor ou Sodebo. Les déchets de ces acteurs, dits déchets de cuisine et de table, sont catégorisés comme des sous-produits animaux de catégorie 3 au même titre que les biodéchets ménagers, ce qui implique qu'ils sont soumis à la réglementation sanitaire (voir annexe A-2.2). Les déchets alimentaires des **supermarchés** sont en quantité limitée, du fait de la priorité donnée au don (Moinard, 2018). Les **industries agroalimentaires** sont très peu représentées dans le système-territoire d'étude. Il existe une **huilerie de colza** au sein du périmètre, et quelques ateliers de transformation alimentaire (notamment de poisson) dans les zones urbaines avoisinantes. Le plus gros acteur est l'abattoir de Houdan, qui est un peu plus éloigné du périmètre. Les déchets de cet acteur sont en partie gérés sur place et en partie traités par un **équarrisseur**. Les **jardineries**, tout en

étant productrices de déchets organiques, peuvent également servir de point de vente pour du compost auprès de particuliers. La **chambre de commerce et d'industrie** (CCI) des Yvelines est un acteur important du monde économique régional, qui propose un appui et un soutien aux entreprises. Sur la question des PRO, elle anime notamment des ateliers d'information réglementaires, ou de mise en relation de producteurs de déchets avec des prestataires. Il existe des **associations professionnelles** qui permettent de mettre en commun certaines problématiques. C'est par exemple l'objectif du SPI¹²⁵ Vallée de Seine qui vise à mutualiser l'information auprès des industriels sur les risques environnementaux.

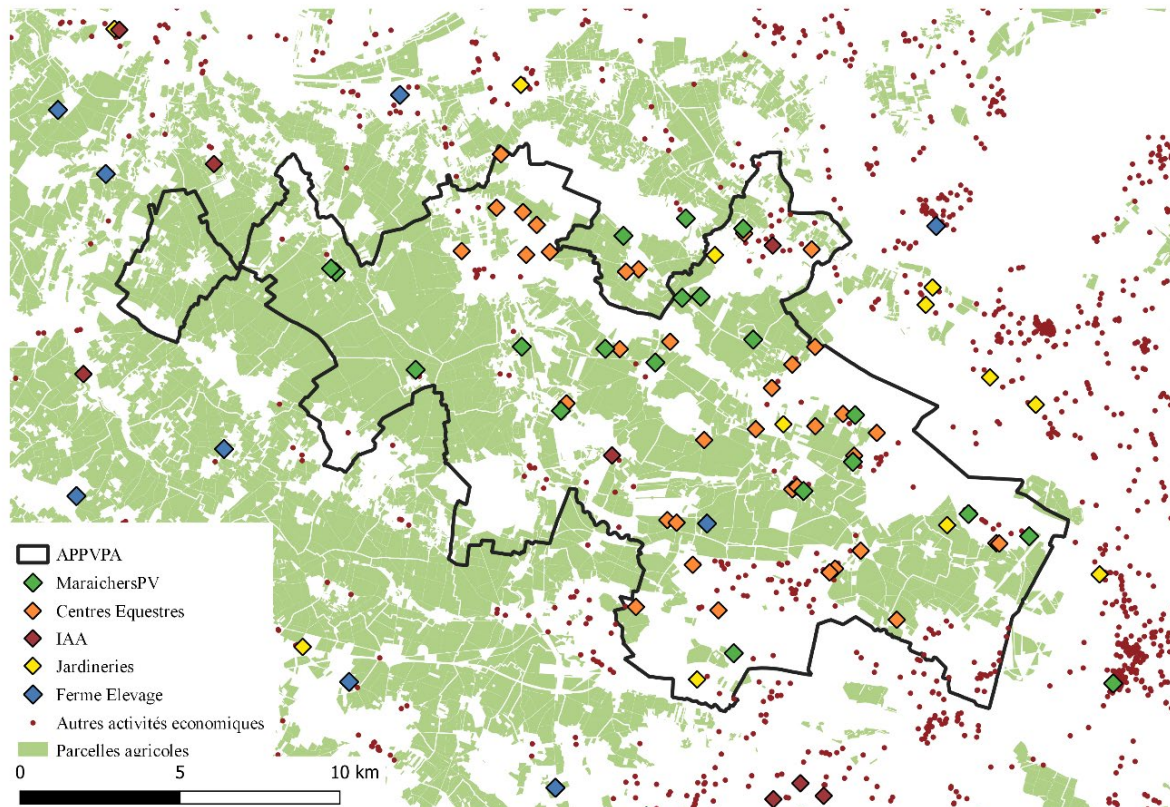


Figure 59 : Implantation géographique des activités économiques en lien avec la bioéconomie productrices et/ou utilisatrices de PRO. Données : RGP, SIRENE (filtrée selon la nomenclature des activités économiques pour sélectionner les secteurs liés à la bioéconomie), Boros 2021, Kompass

Acteurs du monde agricole

Les utilisateurs de PRO sont essentiellement les **agriculteurs**, représentés sur la Figure 59, dont les pratiques en termes de gestion des PRO ont été décrites à la section 8.1.2. Il existe certaines structures qui fédèrent ou coordonnent leurs activités. Les **CUMA**¹²⁶ permettent l'achat et la mise en commun de matériel agricole. Il en existe deux dans le système-territoire : une dédiée aux maraîchers et une aux céréaliers AB. Les **coopératives agricoles** permettent la mutualisation de la vente des récoltes, de la transformation, des services de conseil et de l'approvisionnement en intrants. La législation leur confère un statut particulier, qui les

¹²⁵ Secrétariat Permanent pour la Prévention de la Pollution Industrielle.

¹²⁶ Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole.

positionne en dehors du monde économique classique. Fondées sur un modèle coopératif, ces structures associent les agriculteurs qui en sont membres aux décisions concernant leurs orientations. En pratique, ce sont des structures de taille importante qui couvrent de larges régions agricoles et ont parfois des activités à l'international. Les coopératives ayant des activités dans le système-territoire sont Axéreal et Cap Seine. La **chambre d'agriculture d'Ile-de-France** est également un acteur central du monde agricole régional. Elle a pour rôle d'accompagner le développement agricole, en lien avec la politique du ministère de l'agriculture. Elle dispose d'une expertise technique sur les systèmes agricoles régionaux et fournit un conseil agronomique. Par ailleurs, les **syndicats agricoles** ont également le rôle de représenter les intérêts de la profession au niveau politique. Le syndicat majoritaire dans le système-territoire est la FNSEA. La **DRIAAF**¹²⁷ est un organisme d'Etat chargé d'appliquer les politiques du ministère de l'agriculture, au travers notamment d'appels à projet parfois coordonnés avec l'Ademe. L'**INRAE** est un acteur académique important rattaché au monde agricole, dont certaines activités étaient basées jusqu'à récemment au sein du périmètre sur le campus de Grignon. Les chercheurs sont en contact avec les agriculteurs, notamment dans le cadre des études conduites sur la plaine de Versailles. L'organisme de recherche conduit également, au sein du périmètre, un essai au champ de longue durée sur l'épandage de PRO (Morel *et al.*, 2017).

Acteurs privés liés à la gestion des déchets

L'emplacement des installations de traitement de déchets du système-territoire est représenté sur la Figure 60. Dans le périmètre de l'APPVPA, il y a **trois plateformes de compostage** de déchets verts : une basée à Bailly à l'est du périmètre (BioYvelines Services), une opérée par le gestionnaire de déchets Sepur dans la zone industrielle de Thiverval-Grignon (située à proximité de Plaisir) et une sur la commune de Saint-Nom-la-Bretèche. Leur modèle économique est de facturer à la fois le dépôt de matière et le compost issu du traitement, afin de couvrir les coûts d'exploitation. L'unité de **méthanisation en voie sèche** est opérée par Thoiry Bioénergie, entreprise rattachée au parc zoologique de Thoiry. L'unité en **voie liquide** est opérée par Sepur, à proximité de leur plateforme de compostage – ce qui permet le mélange des digestats avec le compost. Pour ces installations, la règle générale est que les intrants sont facturés à ceux qui les déposent, et que ces revenus sont complétés par la vente de biogaz ou d'énergie, déterminante pour équilibrer le modèle économique. Le digestat, en revanche, plus difficile à valoriser que le compost, représente plutôt un coût. L'**unité de valorisation énergétique (UVE)** est située à proximité de la plateforme de compostage de Sepur, et appartient au SIDOMPE qui possède également un centre de tri des déchets dans la même zone industrielle – l'exploitation de ces deux installations étant confiée à des entreprises. L'UVE dispose d'un système de récupération d'énergie par cogénération et a fait l'objet récemment d'importants travaux visant à améliorer l'efficacité énergétique du procédé. L'incinération des déchets est chère pour les collectivités, car elle est soumise à la taxe générale sur les activités polluantes, qui augmente au fil des années afin de favoriser les autres modes de traitement. Hormis celle-ci, les autres plateformes de gestion de déchets solides sont gérées par des acteurs privés, qui traitent des déchets d'autres acteurs privés (déchets verts des paysagistes, fumiers équins, biodéchets d'entreprises... voir section 8.1.1), ou des déchets des collectivités en répondant à des marchés publics. Toutes ces installations sont soumises à la réglementation

¹²⁷Direction régionale de l'agriculture et de la forêt.

ICPE, qui contraint notamment le volume et le type de matière qu'elles peuvent accepter. Elles n'ont donc pas nécessairement intérêt à augmenter leur capacité de traitement, ni à élargir leur procédé à d'autres matières. Par exemple, la gestion de biodéchets en station de compostage implique de respecter la réglementation sanitaire, dans laquelle l'acceptation de fumiers de chevaux en méthanisation demande un traçage strict des flux. La **DRIEAT**¹²⁸ (ayant un rôle équivalent à celui de la DREAL¹²⁹ dans d'autres régions) s'assure du respect des réglementations ICPE. Il y a 10 **stations d'épuration** (STEP) au sein du périmètre, auxquelles s'ajoutent 4 STEP desservant les communes du périmètre, mais situées à l'extérieur. Au total, ces installations sont dimensionnées pour presque 600 000 équivalents habitants. Une partie importante des eaux usées traitées par les stations du périmètre initial provient en effet de villes situées hors de ce périmètre. Leur taille est très inégale, les 5 plus grosses représentant 90% de la capacité. A elle seule, la STEP Carré de Réunion, située à Saint-Cyr l'Ecole, est dimensionnée pour 340 000 équivalents habitants. Cette station dispose par ailleurs d'un procédé de méthanisation des boues – la seule du système-territoire. Les petites STEP sont en général gérées directement par les communes qu'elles desservent. En revanche, les grosses installations sont gérées par les syndicats d'assainissement. Les acteurs qui gèrent les STEP peuvent soit les opérer eux-mêmes, soit confier cette gestion à un **déléataire**. La gestion des boues représente un coût important pour les stations d'épuration. En France, elles sont souvent épandues en agriculture, suivant la procédure réglementée du plan d'épandage. Les boues épandues sont systématiquement chaulées. Cette pratique relève plus pour les agriculteurs de l'élimination de déchets que du recyclage de nutriments ((Joncoux, 2014)). La réglementation est actuellement changeante sur la valorisation des boues de stations d'épuration et laisse présager, à terme, de l'interdiction de l'épandage en agriculture (Marois, 2019). Par ailleurs, la pandémie de Covid 19 et la présence du virus dans les eaux usées a conduit à de nouvelles restrictions. La **DDT**¹³⁰, parfois considérée comme la « police de l'eau », contrôle notamment les niveaux de rejets et la régularité des plans d'épandage. Le compostage, le séchage et l'incinération sont des alternatives à l'épandage direct. Ces traitements peuvent avoir lieu sur place ou sur d'autres sites, parfois à l'extérieur du périmètre (c'est le cas des boues compostées), faisant intervenir un coût logistique important. La mise en place de post-traitement pour favoriser la valorisation agronomique ne garantit pas une valorisation financière pour le sous-produit généré, notamment parce que les boues gardent généralement leur statut de déchet – excepté après une étape de compostage.

¹²⁸ Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports d'Ile-de-France.

¹²⁹ Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

¹³⁰ Direction départementale des territoires.

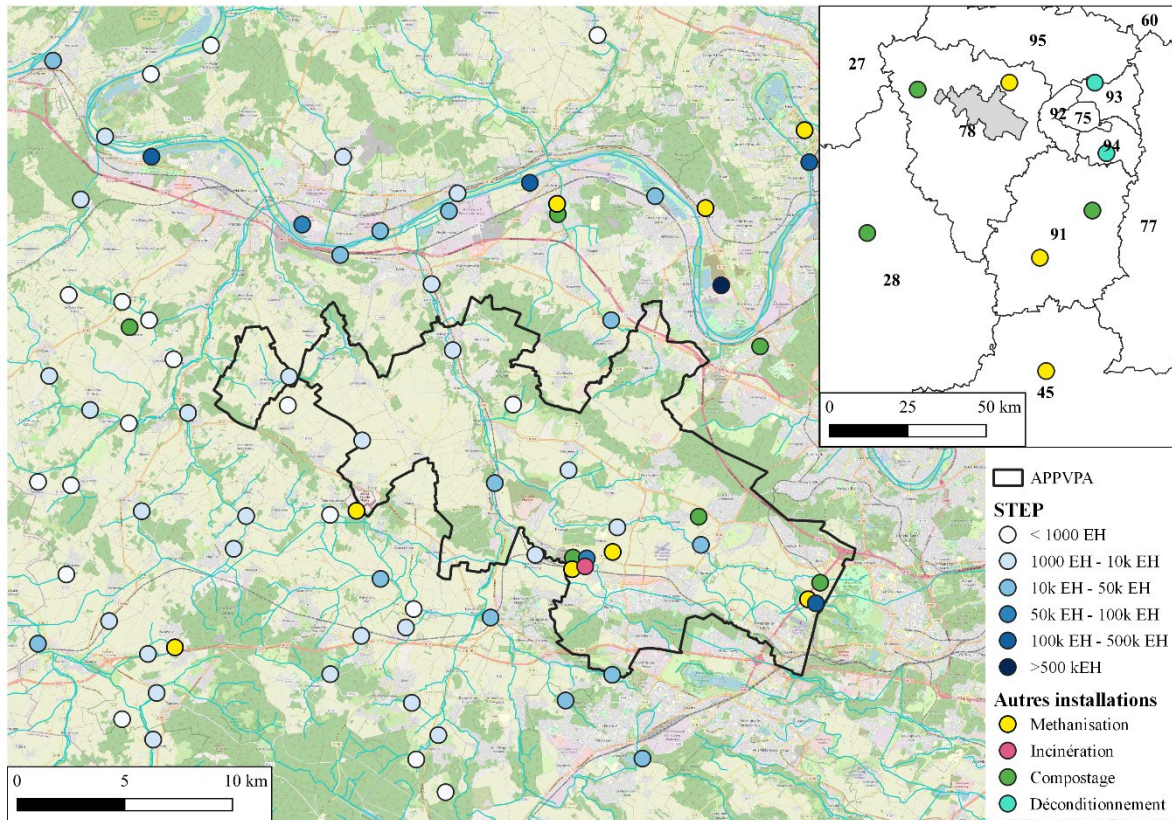


Figure 60 : Carte des installations de traitement de déchets au sein du système-territoire, et de celles situées plus loin du périmètre mais contribuant à la gestion des PRO du système-territoire. Sources : Sinoe, Sandre, Fond de carte : OpenStreetMap.

D'autres acteurs de la gestion des déchets interviennent dans le système-territoire. Parmi les gestionnaires de déchets, il y a notamment des **groupes industriels** comme Veolia, Suez, Paprec ou Nicollin. Ces acteurs se positionnent sur les marchés publics proposés par les collectivités pour assurer des services (comme la collecte des déchets municipaux) ou exploiter les installations fonctionnant en délégation (comme c'est par exemple le cas de la station Carré de Réunion exploitée par Suez, ou de l'UVE du SIDOMPE exploitée par Paprec). Par ailleurs, ces groupes peuvent disposer d'installations de traitement, ou proposer d'autres services liés à la gestion des déchets. La société Ecopur, rattachée au groupe Veolia, traite ainsi des effluents liquides (incluant des flux chargés en résidus organiques) d'acteurs privés, collectés par Sarp, une entreprise du même groupe. La société Sede, également rattachée à Veolia, se consacre à la valorisation agronomique des PRO, en coordonnant les plans d'épandage ou en assurant des étapes de transformations (compostage...) favorisant cette valorisation. Dans le système-territoire, ils interviennent notamment sur la valorisation des boues de la STEP Carré de Réunion. Au sein du système-territoire, ces groupes industriels sont concurrencés par Sepur, une entreprise régionale effectuant la collecte de déchets (sans séparation des biodéchets) et disposant d'importants moyens de traitement sur place. D'autre part, il existe un ensemble de **prestataires spécialisés** sur la question des PRO, comme Moulinot, les Alchimistes, UpCycle ou Organeo, qui démarchent des entreprises et collectivités du système-territoire pour assurer la gestion de leurs PRO. Moulinot propose par exemple la collecte séparée des biodéchets ménagers, en plus de la collecte de biodéchets de restauration ou de commerce. Ils disposent d'un équipement de déconditionnement et d'hygiénisation qui leur permet de garantir le respect

de la réglementation sanitaire, et d'installations de traitement situées loin du périmètre, acceptant les déchets qu'ils collectent et transforment. UpCycle propose, entre autres, la mise en place de composteurs électro-mécaniques auprès des collectivités du système-territoire. Organeo, présent sur le système-territoire, assiste les collectivités sur le développement du compostage de proximité. Des collectifs et associations d'entreprises coordonnent les acteurs de ce secteur. C'est notamment le cas du **cluster Eau Milieu Sol**, à qui l'Ademe et la Région ont confié la mission du développement régional de dynamiques associées à la gestion des biodéchets. Il a notamment animé des ateliers visant à mettre en relation des collectivités et des prestataires, à l'échelle de communautés de communes et de départements. Le Réseau Compost Citoyen fédère les acteurs liés à la gestion de proximité des biodéchets. A l'instar des agriculteurs, les gestionnaires de déchets sont représentés par des **syndicats professionnels**, dont le principal est la FNADE. Il existe également un **réseau d'acteurs s'intéressant à la méthanisation** qui interviennent dans le SGPRO. C'est par exemple le cas d'entreprises comme GRDF ou GRT Gaz, spécialisées dans la vente ou la distribution de gaz. Ces acteurs se rassemblent notamment au sein du réseau professionnel **Prometha** (qui est rattaché à l'institut Paris Région), visant à coordonner le développement de la méthanisation en Ile-de-France.

8.2.3. Les facteurs d'influence du SGPRO

Les entretiens montrent que chacun de ces acteurs sont confrontés à un ensemble de contraintes et opportunités – une contrainte pour un acteur pouvant se révéler être une opportunité pour un autre – qui peuvent encourager ou décourager certaines pratiques de gestion des PRO. Ces éléments, que nous appellerons **facteurs d'influence**, permettent de comprendre le fonctionnement actuel du SGPRO. L'analyse qualitative des entretiens a conduit à proposer une catégorisation, déclinant les facteurs en **six grandes familles** : économiques, environnementaux, politiques, réglementaires, sociaux et techniques. Ces familles sont interdépendantes, de sorte que beaucoup de facteurs peuvent être considérés comme des combinaisons et hybridations. Plus qu'une typologie ou un classement exclusif de ces facteurs, celles-ci doivent plutôt être considérées comme les axes directeurs d'un **champ d'influence**. Elles sont présentées et illustrées ci-dessous par des verbatim issus des entretiens. Le Tableau 57 en annexe C-2 reprend ces facteurs de manière plus exhaustive, et propose des exemples concrets identifiés au sein du SGPRO étudié.

Les facteurs **économiques** traduisent la nécessité pour chaque structure d'obtenir des revenus suffisants pour assurer son fonctionnement. Certains de ces facteurs sont liés à des conditions externes aux structures, comme la possibilité d'obtenir des financements, l'offre et la demande de certains produits ou services au sein des logiques de marché, ou encore les taxes s'appliquant à certaines activités. D'autres sont issus des logiques d'optimisation de gestion interne des structures, comme l'intérêt pour elles de réduire leurs coûts et la nécessité d'arbitrer l'allocation de leurs ressources financières.

On avait été sollicités par le département, et la région pour faire un méthaniseur. Mais on ne peut pas se permettre de nous diversifier, sachant les emprunts. Nos installations sont viables, mais on ne peut pas emprunter plus.

Gestionnaire de déchets, novembre 2021

Les facteurs **environnementaux** correspondent à la prise en compte des répercussions des activités humaines sur les milieux naturels, ou sur la disponibilité des ressources nécessaires à ces activités. Les risques systémiques et globaux inhérents à la dégradation de l'environnement mis au jour par les travaux scientifiques des dernières décennies sont de plus en plus intégrés dans le mode de raisonnement des acteurs. Cela se traduit par exemple par des aspirations à réduire les émissions de gaz à effet de serre ou la consommation d'énergie. Les facteurs environnementaux traduisent également les nuisances intervenant directement dans le quotidien des habitants du territoire. Les acteurs sont par exemple sensibles à la pollution des sols et des milieux aquatiques, à la gestion des déchets, au trafic routier ou aux odeurs.

Aujourd'hui je mets des fientes de poule. Je trouve que ça n'a pas de sens, parce que ces fientes, malheureusement dans le coin il n'y a pas ou très peu d'élevage, donc je suis obligé de les faire venir de loin, de Belgique principalement, donc je trouve que c'est un non-sens écologique...

Agriculteur, décembre 2021

Les facteurs **politiques** sont liés à l'exercice du pouvoir arbitré par les institutions, ainsi qu'aux stratégies mises en œuvre pour influencer ce pouvoir. Ce facteur traduit premièrement le fonctionnement des organes administratifs politiques à différentes échelles, telles que les communes, communautés de communes, syndicats de gestion des déchets, département ou région. Chacune de ces entités dispose de compétences propres, dont les modalités de mise en application découlent de choix politiques. Les facteurs politiques incluent également la mise en œuvre de rapports de force et la stratégie des autres acteurs pour orienter ces choix politiques en leur faveur. Par exemple, la pression exercée par les administrés et sa traduction lors des scrutins incitent les élus à rester attentifs aux revendications locales. Par ailleurs, de nombreux acteurs économiques sont en mesure d'exercer une influence sur la décision politique, à un niveau local ou national, afin d'obtenir des arbitrages en leur faveur.

Nos élus veulent vraiment qu'on trouve des solutions. C'est par exemple pour ça qu'on étudie la solution de compostage électromécanique, c'est quelque chose qui a un coût, qui est contraignant, onéreux, mais ils nous demandent d'étudier cette solution.

Acteur public, novembre 2021

Les facteurs **réglementaires** font référence aux obligations découlant des textes de loi en vigueur. Ces facteurs peuvent être vus comme l'inscription sur la durée des choix politiques faits au niveau national. Différents textes influencent directement les choix techniques faits par les acteurs au sein du SGPRO (voir annexe A-2.2), notamment la loi AGECE¹³¹, la loi sanitaire relative au traitement des sous-produits animaux, la réglementation ICPE, les normes d'homologation des composts NFU 44051 et NFU 44095, ou encore la directive nitrates. Les facteurs réglementaires intègrent ainsi la mise en application (ou non) des textes par les acteurs, contraints de s'adapter aux évolutions de la réglementation et soulignant parfois des antagonismes entre plusieurs textes.

¹³¹Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.

Il faut également prendre en compte les évolutions réglementaires, notamment un arrêté 20/04/2021 modifie l'épandage des boues, dans la continuité d'un arrêté du 30/04/2020. Ça modifie la réglementation sur l'épandage des boues. Beaucoup de STEP se tournent vers le compostage, et quelques STEP ont engagé un virage vers la méthanisation.

Acteur public, septembre 2021

Les facteurs **sociaux** reflètent les dispositions psychologiques et sociologiques des acteurs du système-territoire, ainsi que la nature des interactions qu'ils entretiennent entre eux. Ces interactions peuvent s'exprimer dans des situations de synergie, confiance, partenariat, souvent facilitées par la proximité ou au contraire des situations d'antagonismes, de conflits ou de concurrence. Ces facteurs témoignent du lien qu'entretiennent les acteurs au territoire, notamment par la recherche d'un ancrage et d'une bonne réputation afin de ne pas s'exposer à des oppositions locales. Ils intègrent également les normes sociales et représentations qui affectent les habitants ou les différentes catégories professionnelles, permettant d'expliquer leurs prises de position. Les facteurs sociaux comprennent également tout ce qui relève des conditions de travail des acteurs, au sens large, comme la pénibilité, la charge de travail, les moyens humains disponibles, ou encore les initiatives d'insertion sociale par le travail.

Mais il n'empêche que tout autour c'est urbanisé à mort, et donc le moindre truc qu'on fait, dès qu'on met un truc qui sent mauvais, la fiente, on se tape des réflexions, des mails, des appels, des gens qui hurlent. En fait, on peut quasiment rien faire. On peut passer outre, mais c'est compliqué de faire la guerre à tout le monde, déjà que l'agriculture est pas toujours bien vue...

Agriculteur, décembre 2021

Les facteurs **techniques** sont liés aux possibilités et limitations inhérentes aux techniques ou aux technologies dont dépendent la gestion des PRO. Les pratiques agricoles en vigueur conditionnent par exemple l'utilisation de la matière organique (voir 8.1.2). La nécessité de fertilisation ou la volonté d'entretien des sols guident, par exemple, un certain nombre de pratiques. Les procédés de traitement des déchets comprennent également des contraintes spécifiques dont il faut tenir compte dans leur mise en œuvre. Un facteur technique important qui émerge dans les entretiens est la dimension industrielle du traitement des déchets, et les questions d'échelles que cela pose.

Ce qu'il faut savoir, sur les déchets, c'est que c'est pas forcément un micro-maillage. Il faut une zone de chalandise suffisante, pour que les installations qui les traitent aient une rentabilité et une raison d'exister. Vous ne trouverez pas une multitude d'installations de traitement, mais plutôt des choses programmées et planifiées bien en amont, pour répartir les gisements et être suffisant en termes de capacité de traitement.

Acteur public, septembre 2021

8.2.4. Formalisation du fonctionnement du SGPRO : Système d'interactions physiques et système d'influence

La compréhension du SGPRO réside dans la compréhension des choix faits par les acteurs qui manipulent physiquement les PRO dans leur activité. Ces **choix d'affectation**, c'est-à-dire la sélection de l'une ou l'autre des solutions techniques à leur disposition dans le système-territoire résultent en grande partie des facteurs d'influence identifiés dans le paragraphe précédent. Mais la description proposée ne permet pas encore de comprendre la manière exacte dont ils interviennent dans le fonctionnement du SGPRO. Dans l'analyse effectuée, il apparaît que des acteurs qui ne participent pas à la gestion matérielle des PRO ont malgré tout une influence importante dans l'organisation de ce fonctionnement. Cela amène à décrire le SGPRO comme deux sous-systèmes d'acteurs en interaction, un système d'interactions physiques, et un système d'influence.

Le système d'interactions physiques

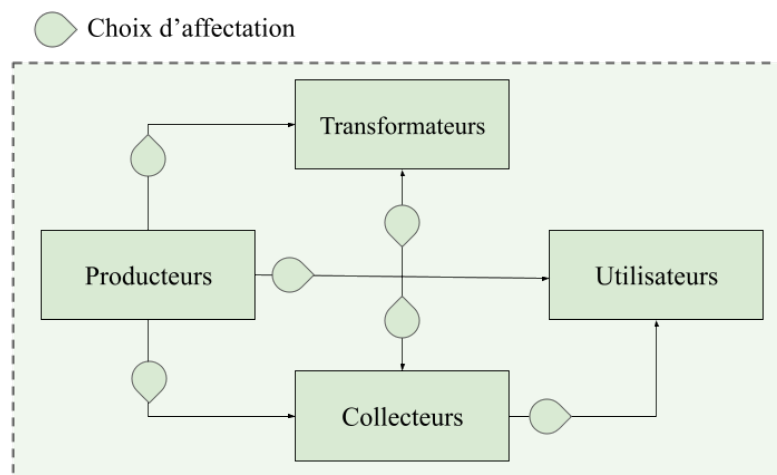


Figure 61 : Représentation schématique du système d'interactions physiques du SGPRO. Les rectangles représentent des rôles qui peuvent être attribués à certains acteurs.

Le SGPRO se traduit matériellement par un **système d'interactions physiques**, c'est-à-dire un ensemble d'acteurs opérant la manipulation concrète des flux de PRO. L'analyse inductive des entretiens permet de différencier quatre types de rôle: les producteurs, les transformateurs, les collecteurs, et les utilisateurs. Au-delà des trois rôles proposés par le formalisme UPUTUC (voir Chapitre 2), cette analyse met en évidence une autre modalité importante de la gestion physique des PRO, l'aspect logistique, incluant la collecte, le transport et le stockage. L'activité de collecte consiste à évacuer un déchet pour un producteur dont l'exutoire a peu d'importance pour celui-ci. Elle est à distinguer du transport de PRO, qui désigne le service de transit d'un déchet d'un point A à un point B dans le cadre d'une transaction décidée par l'expéditeur et le destinataire de ce déchet. Enfin, certains PRO – notamment ceux qui présentent un risque d'émissions polluantes lors du stockage, comme les fumiers ou les boues, requièrent des modalités de stockage particulières. Parmi ces aspects logistiques, la cartographie des acteurs montre que la collecte fait intervenir des acteurs spécifiques, faisant leurs choix de manière relativement indépendante des autres. C'est pourquoi le rôle de collecteur doit être considéré comme un élément à part entière. La Figure

61 représente schématiquement les différents rôles qui peuvent être occupés par les acteurs au sein du système d'interactions physiques, et les interactions entre ces rôles. Ils ne sont pas exclusifs et il est même fréquent qu'un acteur en endosse plusieurs. Par exemple, un transformateur peut également assurer la collecte des PRO qu'il transforme, et se retrouve la plupart du temps dans la position de producteur d'un nouveau PRO – transformé.

Le système d'influence

Si certains des facteurs d'influence identifiés à la section 8.2.3 s'appliquent directement aux acteurs du système d'interactions physiques¹³², d'autres sont exercés par des acteurs intermédiaires qui n'interviennent pas nécessairement dans la gestion matérielle des PRO. L'analyse des entretiens a permis de proposer une catégorisation des rôles qui influencent ainsi le SGPRO, similaire à celle faite pour le système d'interactions physiques. Le travail d'analyse qualitative aboutit à quatre types de rôles : les régulateurs, les animateurs, les fédérateurs et les apporteurs de solution. Certains acteurs sont investis d'une fonction institutionnelle qui leur donne le pouvoir et le rôle de **régulateurs**. C'est par ce biais que se traduit la volonté politique, l'accompagnement financier, le contrôle des réglementations. Un autre type de rôle fréquent est celui **d'animateur** à entendre au sens large. Ce rôle consiste à promouvoir des intérêts ou réaliser des actions de communication, d'information, de sensibilisation ou d'acculturation. Proche des animateurs, mais impliquant une fonction différente, certains acteurs sont **fédérateurs**, c'est-à-dire qu'ils sont en mesure de représenter les intérêts et les attentes d'un certain groupe d'acteurs. Enfin, un rôle déterminant au sein du SGPRO est celui **d'apporteur de solution**, qui peut être attribué aux acteurs en mesure de proposer un service, une technologie ou une prestation à d'autres acteurs. Ces solutions contribuent à débloquent des verrous techniques ou sociaux, en s'accordant avec les enjeux réglementaires, économiques, et/ou environnementaux. Elles peuvent être **techniques** (c'est-à-dire, contribuer matériellement au SGPRO) ou **informationnelles** (c'est-à-dire, contribuer indirectement au SGPRO en rendant certaines connaissances disponibles). Comme précédemment, ces rôles ne sont pas exclusifs et certains acteurs peuvent en tenir plusieurs. C'est par exemple le cas des communautés de communes, fédératrices par définition (représentatives des citoyens), également régulatrices car elles ont un rôle d'arbitrage dans les marchés publics, et pouvant parfois avoir une posture d'animation sur des sujets liés aux PRO (actions de sensibilisation, de concertation...). Le **système d'influence** est composé de tous les acteurs tenant un rôle contribuant à modifier les règles d'affectation des PRO **autrement que par une action matérielle dans le système d'interactions physiques**¹³³. La formalisation conceptuelle du SGPRO obtenue est représentée par la Figure 62, qui montre notamment les modes d'interaction entre ces deux systèmes. Les acteurs du système d'influence, eux-mêmes soumis au champ d'influence, constituent un intermédiaire entre ce champ et le fonctionnement matériel du SGPRO. Cela se produit de deux manières. D'une part, ils peuvent être un moyen d'application de l'un de ces facteurs, par exemple en faisant appliquer une réglementation, en s'exprimant sur les intérêts d'un groupe

¹³² C'est par exemple le cas des facteurs économiques liés aux dynamiques de marché, ou aux facteurs environnementaux.

¹³³ Dans le paragraphe suivant, nous distinguerons les apporteurs de solutions informationnelles des apporteurs de solution techniques, comme cela est représenté sur la Figure 62. Notons par la définition donnée que le fait qu'un acteur soit apporteur de solution technique ne suffit pas pour considérer qu'il fait partie du système d'influence. Dans ce cas, ce rôle influence, certes, le SGPRO, mais ne se distingue pas de la gestion matérielle des PRO.

d'acteurs ou en réalisant des arbitrages politiques. D'autre part, leur activité peut leur permettre d'agir sur le champ d'influence, par exemple, en favorisant l'interconnaissance, en sensibilisant des acteurs à certains enjeux, en rendant une technologie accessible ou en agissant sur le rapport de forces politique. Notons que les deux systèmes ne sont pas exclusifs, certains acteurs pouvant faire partie des deux à la fois. Par exemple, le méthaniseur de Thoiry transforme des déchets du système-territoire, mais organise en parallèle des rencontres avec des acteurs locaux afin de favoriser l'interconnaissance et les projets communs.

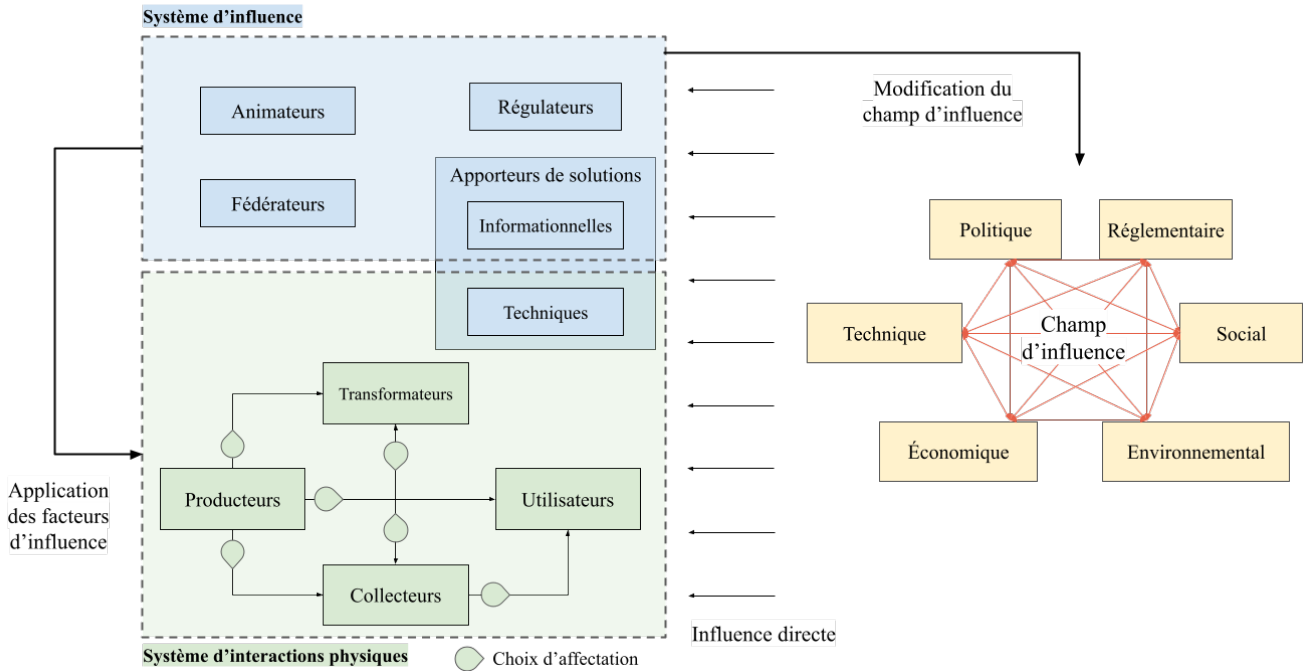


Figure 62 : Représentation schématique du SGPRO comme l'assemblage d'un système d'interactions physiques et d'un système d'influence.

8.2.5. Description détaillée des rôles des acteurs et des facteurs d'influence principaux

Dans la formalisation théorique proposée pour le SGPRO, chaque acteur occupe un ou plusieurs rôles du système d'interactions physiques et/ou du système d'influence. L'attribution des rôles aux différents acteurs du SGPRO est proposée dans le Tableau 58 de l'annexe C-2.2. L'analyse des entretiens permet de déterminer les caractéristiques générales correspondant à chaque rôle dans le cas du SGPRO de la plaine de Versailles, ainsi que les principaux facteurs d'influence qui les concernent. Outre l'intérêt d'en fournir une description détaillée, cette analyse permet de déduire la posture associée à ces rôles dans le cadre d'une potentielle symbiose territoriale. Bien qu'elles se basent sur le cas spécifique de la plaine de Versailles, ces observations sont un premier pas vers une montée en généralité plus générale du fonctionnement d'un SGPRO.

Producteurs

Les **producteurs** de PRO sont en nombre important, et génèrent des déchets diversifiés de manière décentralisée. Il s'agit des entreprises générant des biodéchets (notamment les centres équestres, paysagistes, entreprises de restauration, et certaines exploitations agricoles), des

installations de traitement de déchets (stations de compostage, STEP, méthaniseurs), et plus généralement de tous les habitants du système-territoire. Pour la plupart de ces acteurs, leur activité est éloignée de la gestion des déchets, dont la génération leur est pourtant inévitable. Les politiques publiques s'orientent vers une réglementation de plus en plus stricte, les obligeant la plupart du temps à gérer les déchets organiques de manière différenciée (notamment la LTECV¹³⁴, puis la loi AGECE). Par ailleurs, ces lois peuvent imposer des moyens de stockage contraignants, notamment pour les centres équestres, afin de prévenir la pollution des milieux aquatiques. Les producteurs cherchent, en général, à gérer leurs PRO de la manière la moins pénalisante pour leur activité, donc avec le coût minimal, tout en respectant les réglementations auxquelles ils sont soumis. Ils sont donc en recherche d'acteurs, collecteurs, transformateurs ou utilisateurs, capables d'accepter leurs PRO selon leur nature. Pour cela, ils sont dépendants des solutions existant sur le marché et disponibles dans le système-territoire. La proximité et l'interconnaissance sont ainsi des facteurs importants pour identifier ces solutions. Cela se traduit par exemple dans les contrats paille-fumier des centres équestres, les apports agricoles dans les installations de méthanisation proches, ou encore la gestion des biodéchets par le compostage de proximité qui favorise le lien social entre les habitants. Dans certains cas, une partie de ces PRO peut aussi être gérée in-situ, sans impliquer d'autres acteurs du SGPRO. C'est notamment le cas en agriculture, et pour certaines industries agro-alimentaires comme l'abattoir de Houdan. Lorsque les producteurs n'ont pas les moyens ou la connaissance d'un acteur directement capable d'accepter leurs PRO, ils s'en remettent à un collecteur qui devra trouver cet acteur. Les producteurs de PRO ont un rôle déterminant dans la qualité du gisement dont ils sont à l'origine en aval de la filière. En effet, la qualité de tri est essentielle pour garantir un taux d'indésirables faible dans les PRO transformés finaux. C'est particulièrement vrai pour le tri des biodéchets, mais également dans le tri des déchets verts, dans lesquels des indésirables sont souvent constatés par les acteurs en aval. Le geste de tri mobilise ainsi les normes et représentation des habitants, souvent peu sensibilisés aux enjeux de qualité des PRO, et parfois réticents aux changements de pratiques. Certains producteurs peuvent être soumis à une pression sociale, lorsque leurs PRO constituent des nuisances perçues par les habitants du territoire. **Dans le cadre d'une concertation, les producteurs seront principalement intéressés pour obtenir des informations réglementaires, identifier les solutions techniques qui leur sont disponibles, et les acteurs capables de leur apporter ces solutions.**

Pour résumer, soit vous avez ceux qui sont obligés de faire quelque chose parce que la réglementation les y oblige, soit vous avez les volontaires parce que les sujets déchets ça les intéresse, et vous avez ceux qui ne veulent rien faire et qui feront rien tant qu'ils ont pas le couteau sous la gorge. C'est les trois paysages d'acteurs que vous allez rencontrer, sur ce sujet.

Acteur public, octobre 2021

Collecteurs

Les collecteurs de PRO sont un intermédiaire entre la production et la transformation. Ils permettent, à partir d'une production de PRO décentralisée, de regrouper un gisement important et homogène exploitable par les unités de transformation. L'activité de collecte est parfois

¹³⁴ Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte.

associée à l'activité de transformation, comme c'est le cas pour Sepur ou Moulinot, par exemple. Ce double rôle permet ainsi aux transformateurs de s'assurer d'une quantité et d'une qualité de gisement adéquats pour leur activité (par exemple, des biodéchets correctement triés dans le cas de Moulinot), pérennisant cette dernière. Il existe cependant des structures qui focalisent leur activité sur la collecte plutôt que la transformation, lorsqu'il y a une forte demande de la part des producteurs de PRO. C'est le cas pour les collecteurs de fumier répondant à la demande des centres équestres. Cette demande est suscitée à la fois par la pression sociale pesant sur les producteurs (les nuisances générées par les odeurs ou l'aspect), mais également par les évolutions réglementaires (l'obligation du tri à la source). L'enjeu du collecteur, lorsqu'il ne dispose pas également d'une unité de traitement capable de traiter l'intégralité des flux collectés, est de trouver un transformateur ou un utilisateur prêt à accepter le déchet collecté. De manière générale, le transport représente un poste de coût important que les collecteurs cherchent à minimiser dans l'affectation des PRO, afin de pouvoir proposer un service compétitif aux producteurs. Selon la valeur du flux de déchets collecté pour le transformateur et l'utilisateur, le collecteur peut espérer vendre le PRO à son destinataire et ainsi compenser une partie des coûts de transports. L'interdépendance entre les collecteurs qui doivent impérativement trouver un exutoire, et les transformateurs qui sont dépendants de leur approvisionnement en PRO, crée un rapport de forces entre ces acteurs et une valeur des PRO fluctuante en fonction de l'offre et la demande. Le cas du fumier de cheval est à nouveau intéressant, car il peut être accepté par les agriculteurs directement, par des champignonnières, ou par des méthaniseurs pour lesquels ils représentent un certain intérêt. La capacité de traitement étant pour l'instant limitée, il y a une forte concurrence entre les collecteurs pour les exutoires. Une concurrence entre filières de transformation apparaît également. Cette question est au cœur de la gestion des biodéchets, qui peuvent être compostés par des installations de proximité, être compostés de manière centralisée ou être méthanisés. Le terme de « choix d'affectation » prend ici tout son sens, car l'affectation d'un gisement à une filière le rend inaccessible pour une autre. Les collecteurs ont un fort besoin d'interconnaissance, mais également d'établir des rapports de confiance avec les destinataires, ce qui implique qu'ils s'assurent de la qualité des PRO auprès des producteurs. **Dans une démarche de concertation, leur intérêt est d'identifier des producteurs ou des destinataires potentiels, de cerner leurs attentes et d'identifier les évolutions du SGPRO pour s'adapter aux nouvelles demandes.**

On a d'abord bâti un service d'accompagnement à la mise en place du tri à la source. C'est un point important, on ne fait pas que de la collecte, on accompagne aussi en amont. On fait des visites techniques, des visites de lieu, on regarde comment on organise le site pour s'adapter et faciliter le quotidien de leurs équipes, on forme aux gestes de tri, pour qu'ils comprennent à quoi ça sert. On les intéresse à la partie collecte.

Acteur privé de la gestion des déchets, décembre 2021

Transformateurs

Les transformateurs de PRO permettent de réduire le volume de PRO, de les rendre moins dangereux pour la santé humaine et l'environnement et de les transformer en ressources pour des utilisateurs. Dans le SGPRO étudié, il s'agit principalement des plateformes de compostage et de méthanisation et des stations d'épuration, ainsi que des structures mettant en œuvre une transformation décentralisée, comme le compostage de proximité ou de quartier (voir 8.2.2). Ils

s'inscrivent dans l'activité de traitement des déchets selon les logiques politiques et réglementaires correspondantes. A ce titre, leur activité peut être considérée comme un outil au service des producteurs de déchets. Les dispositifs techniques de transformation sont dimensionnés par rapport à un flux de déchets spécifique : eaux usées, ordures ménagères, déchets verts, biodéchets, mélange de plusieurs PRO... L'activité des transformateurs nécessite donc un accès permanent à des gisements correspondant à ces propriétés. Tandis que pour certains, comme les STEP ou les plateformes de compostage de déchets verts, la demande de traitement est constante et importante, d'autres acteurs doivent mobiliser un gisement suffisant pour pérenniser le modèle économique des installations. Cette question est importante pour les acteurs promouvant de nouvelles filières, nécessitant des gisements nouveaux (comme les biodéchets des ménages) ou déjà mobilisés (comme les fumiers de chevaux). La transformation détermine largement les modalités d'utilisation possibles en aval. Contrairement aux autres producteurs, leurs PRO sont très homogènes et centralisés et la gestion de ceux-ci est souvent internalisée dans leur activité. Leur modèle économique dépend de leur capacité à trouver un usage en aval pour leurs PRO, soit auprès d'un utilisateur, soit auprès d'un nouveau transformateur. La nécessité d'évacuation des PRO se transforme alors en une problématique de *valorisation*, c'est-à-dire à la nécessité de faire en sorte que les PRO transformés aient un intérêt – une valeur – pour les utilisateurs finaux, et soient adaptés à leurs attentes. Les transformateurs doivent donc en partie adapter leur mode de fonctionnement et leurs outils au mode de valorisation et aux attentes des utilisateurs. L'augmentation de la demande en compost bio amène ainsi les plateformes de compostage à modifier leur mode de fonctionnement pour y répondre. La qualité des PRO transformés et la demande pour ces produits sont déterminants dans le modèle économique des transformateurs, et se traduisent dans la valeur d'échange du PRO. Tandis qu'ils doivent payer le coût du transport et l'épandage de certains (comme les boues de STEP ou les digestats liquides), d'autres peuvent être revendus (comme le compost homologué). La valorisation implique également un enjeu logistique de transport et de stockage des PRO. Par exemple, les stations d'épuration et les plateformes de méthanisation doivent intégrer un plan d'épandage dans leur mode de fonctionnement, qui implique parfois la nécessité de construire des aménagements de stockage chez les agriculteurs concernés. Par ailleurs, la valorisation se confronte au référentiel de l'agenda politique national, qui favorise certaines voies de valorisation plutôt que d'autres, au travers de réglementations, taxes et aides. Les pressions réglementaires et leur évolution influencent fortement les transformateurs, et sont un fort facteur d'incertitude sur l'évolution de leurs activités. Ils sont également souvent au centre des pressions sociales et des questions d'acceptabilité, et ont un enjeu fort de réputation au sein d'un territoire, afin de mettre en avant les services qu'ils rendent plutôt que les nuisances qui sont perçues. Enfin, certains transformateurs peuvent avoir la capacité de mettre en œuvre de nouvelles infrastructures ou dispositifs techniques en prévision de nouvelles voies de valorisation. **L'intérêt principal des transformateurs à participer à une concertation est d'identifier les besoins et les attentes des autres acteurs, en amont comme en aval de leur filière, afin de sécuriser leurs gisements, et leurs voies de valorisation.** En revanche, s'il remet l'un ou l'autre en question, un projet de concertation peut représenter une menace pour leurs activités.

En fait, il y a une double logique : une logique très locale, des composteurs particuliers, électro-composteurs, Déchets Verts évités, toutes ces logiques... L'autre logique, ce sont les installations qui captent les gros gisements, pour faire des économies d'échelle importantes. Mais ils sont obligés d'avoir des

gisements constants et importants. C'est un peu la bataille pour le gisement, pour pérenniser l'apport en matières organiques.

Acteur public, novembre 2021

Utilisateurs

Les utilisateurs finaux de PRO sont les agriculteurs. D'une part, ils sont régulièrement en recherche de PRO, dans le cas du SGPRO étudié notamment, afin d'incrémenter ou d'entretenir la teneur en matière organique dans les sols. Les ressources des PRO désirés étant limitées, cela peut créer une compétition entre agriculteurs pour avoir accès aux PRO et une réticence à partager l'information. D'un autre côté, les pratiques d'utilisation de PRO représentent des contraintes fortes pour les agriculteurs (voir section 8.1.2). Elles sont intensives en temps de travail, avec des conditions plus difficiles que pour les engrais minéraux, et impliquent des aspects logistiques importants ayant un coût économique et environnemental élevé. Au sein du SGPRO étudié, l'épandage est aussi la source de fortes tensions sociales avec les riverains gênés par les odeurs, se traduisant par des insultes, des litiges, voire des menaces. Par ailleurs, les agriculteurs sont méfiants vis-à-vis de la composition des PRO et des pollutions potentielles que cela pourrait représenter pour leur exploitation, menaçant directement leur activité et leur réputation en cas de problème. Cette méfiance est attisée par le scandale sanitaire historique des boues d'Achères, une STEP. Lorsque les PRO utilisés sont sous le format de produits normés ou de ressources locales (Joncoux, 2014), la décision de les utiliser ou non revient essentiellement à un choix technico-économique. Lorsqu'il s'agit de déchets, l'épandage de PRO sur les terres agricoles est vu par les agriculteurs comme un service rendu au territoire, contraignant et risqué pour eux, mais pour lequel ils ne sont pas reconnus. Ils sont ainsi peu enclins à payer pour s'approprier la matière. Face à des transformateurs qui sont dépendants de ces débouchés pour maintenir leur modèle économique, il peut s'établir des rapports de forces et un certain antagonisme entre les utilisateurs et transformateurs se cristallisant autour du prix de vente des PRO. **Dans le cadre d'une concertation, l'intérêt des utilisateurs de PRO est d'identifier les PRO disponibles qu'ils pourraient utiliser, d'estimer les qualités (ou les risques) de ces PRO pour la conduite de leur activité, et de mettre en avant les attentes qu'ils ont à l'égard de l'utilisation des PRO.**

D'autant plus que les boues de station, c'est vous et moi qui contribuons à remplir les stations. À un moment donné, c'est un problème de société. On peut sans doute valoriser ce type de déchet en agricole, mais faut pas non plus après qu'on soit traité de vilain petit canard. Parce que déjà quand vous faites épandre ça, vous vous faites insulter, parce que c'est un peu nauséabond.

Agriculteur, janvier 2022

Régulateurs

Les régulateurs appliquent aux autres acteurs un ensemble de facteurs, principalement politiques, réglementaires, économiques et techniques. La Région et l'Ademe, par exemple, sélectionnent et priorisent les projets éligibles à des aides en fonction de leur accord avec les objectifs politiques et réglementaires en vigueur. Il en va de même de la chambre d'agriculture et de la DRIA AF, qui appliquent la politique du ministère de l'agriculture. Les services de

l'Etat, comme la DRIEAT ou la DDT, agissent comme des organismes de contrôle qui s'assurent que la réglementation est bien appliquée par les acteurs du système d'interactions physiques – l'application plus ou moins stricte de cette réglementation encourageant les acteurs concernés à la respecter plus ou moins fermement. Les établissements publics, du fait de leur pouvoir politique, ont également un important rôle d'arbitrage dans les options choisies pour exercer leurs compétences, comme par exemple dans la rédaction des appels d'offres pour les prestations de gestion des déchets. Cette régulation touche tous les rôles du système d'interactions physiques et est déterminante dans les choix d'affectation. Elle a des répercussions sur les technologies mises en œuvre (par exemple, la priorisation de la gestion de proximité sur la collecte dans la hiérarchie de traitement des déchets), et sur le soutien financier accessible aux acteurs (par exemple, dans les soutiens accordés aux projets de méthanisation). L'appui d'un acteur régulateur peut conduire au soutien politique et financier, tandis que l'opposition d'un régulateur peut arrêter net une dynamique. **Le pouvoir d'arbitrage dont ils disposent peut ainsi, selon le cas, être un levier ou un frein conséquent dans le succès d'une démarche de concertation. Les acteurs régulateurs peuvent être à l'origine d'un projet de concertation, selon leur périmètre d'action.** Leur participation à la démarche peut également être une contrepartie de leur soutien ; c'est par exemple le cas de la Région qui se donne un droit de regard sur les projets qu'elle finance. Cependant, tous les acteurs régulateurs n'ont pas nécessairement vocation à s'engager auprès d'un territoire en particulier. Cela dépend de la nature exacte de leurs compétences et du périmètre administratif associé à ces compétences.

Le rôle du conseil régional, de manière générale, est un rôle d'élaboration du plan de gestion des déchets. Avec des textes réglementaires à l'appui, le service économie circulaire de la région rédige le PRPGD, qui est un document légal, opposable aux collectivités qui ont la compétence collecte. Il recense un ensemble d'actions visant à réduire la production de déchets ou optimiser leur gestion.

Acteur public, octobre 2021

Animateurs

Les animateurs peuvent organiser des événements, tels que des rencontres ou ateliers, destinés à tous types d'acteurs et ayant pour but de s'assurer de la coopération des acteurs ciblés avec les projets de l'acteur animateur. Ce rôle permet de modifier les facteurs d'influence sociaux, en modifiant les normes et représentations, en favorisant certaines relations inter-acteurs, ou en améliorant le niveau de connaissance. Ce rôle a également une dimension politique, dans l'établissement d'un rapport de forces entre des représentations concurrentes ou lorsqu'il vise à orienter la décision politique (par exemple, dans des actions de sensibilisation d'élus). Les associations locales, par exemple, rassemblent régulièrement leurs membres pour étudier les prochains projets à réaliser. Les chambres consulaires, notamment, sont très impliquées dans l'animation. Dans la mise en place de certains moyens de gestion des PRO impliquant la participation des habitants, comme la gestion de proximité, une communication et une sensibilisation peuvent être nécessaires afin de s'assurer de la coopération des producteurs. **La conduite d'un projet de concertation territorial relève d'un rôle d'animation, et les acteurs ayant ce rôle ont donc une prédisposition majeure pour participer, engager et accompagner une démarche.** Néanmoins, son périmètre est souvent

limité aux activités de l'acteur animateur, qui n'a pas nécessairement l'ambition, les moyens et la mission d'endosser son rôle sur une thématique plus large.

On fait de l'animation de réseau et de filière, de l'accompagnement sur mesure et collectif. On crée des ateliers d'échange, des tables rondes, où on met tous les acteurs autour de la table. Pour nous, le but est de réussir à faire émerger des projets collaboratifs, pour que les acteurs discutent ensemble.

Association, septembre 2021

Fédérateurs

Les acteurs fédérateurs sont, par exemple, les communautés de communes (rassemblant les communes, et par extension leurs habitants), les syndicats de gestion de déchets (rassemblant différents établissements publics), les fédérations et syndicats professionnels, et également les associations d'habitants ou de professionnels. L'APPVPA, par exemple, a pour ambition de favoriser les échanges et de faire ressortir une trajectoire commune alignée avec les intérêts de ses trois catégories de membres (agriculteurs, collectivités, et habitants). Elle cumule donc le rôle d'animation et de fédération. Les fédérateurs ont un rôle politique important, de par leur capacité d'influencer les autres acteurs et la décision publique. Ils ont également un rôle social, favorisant l'interconnaissance et la coopération entre les acteurs représentés. **Dans le cadre d'une concertation, les acteurs fédérateurs sont légitimes pour représenter les intérêts de groupes d'acteurs lorsque ceux-ci sont difficilement mobilisables individuellement.**

Le but est de créer un gros groupement d'acteurs sur une thématique précise, à un endroit géographique donné. Le but est de favoriser l'innovation et le développement de projets de Recherche et Développement.

Association, septembre 2021

Apporteurs de solution

La solution apportée par ces acteurs peut correspondre à une infrastructure ou un service déjà existant, ou proposer de nouveaux moyens de gestion auprès d'acteurs en demande. Par exemple, un prestataire qui est en mesure d'apporter une solution pour la collecte et le traitement des biodéchets, en accord avec les exigences réglementaires, rend ce mode de traitement possible et à la disposition des acteurs qui en sont à la recherche d'un tel service. Beaucoup d'acteurs du système d'interactions physiques sont ainsi, par définition, des apporteurs de solution, car les services techniques qu'ils proposent sont mobilisables par des acteurs en recherche de solution. Il s'agit notamment des prestataires spécialisés dans une technologie ou un mode de gestion (Sepur, Moulinot, UpCycle, mais aussi Ecopur, Sede...), désirant implanter leur activité sur différents territoires. Les acteurs qui apportent ce type de solutions ayant des répercussions dans le système d'interactions physiques lorsqu'elles sont mises en œuvre, peuvent être considérés comme des apporteurs de solutions techniques. Il existe d'autres types de prestations qui apportent des solutions informationnelles. Celles-ci donnent aux autres acteurs accès à de nouvelles connaissances ou informations qui sont susceptibles d'influencer leurs projets. L'Ademe et l'ORDIF, par exemple, produisent des rapports permettant de mieux connaître la situation de gestion des PRO et les perspectives

possibles. La coopérative ou la chambre d'agriculture, qui produisent un conseil agricole (pouvant notamment influencer les pratiques d'utilisation de PRO) fournissent également ce type de solution. Un même acteur peut proposer à la fois des solutions techniques et informationnelles, comme par exemple le cas pour GRDF. **La participation des apporteurs de solution à une démarche de concertation peut permettre d'ouvrir de nouvelles perspectives techniques ou organisationnelles de gestion des PRO.** Néanmoins, étant donné le nombre potentiel d'apporteurs de solution, la sélection de ceux légitimes peut être difficile.

Par exemple, si une collectivité est intéressée, on va l'accompagner pour préfigurer justement sur son territoire toute la gestion des biodéchets avec notre solution. Donc quels sont les gisements, quel dimensionnement de la solution, où on implante les points d'apport volontaire, où on implante le composteur, quel débouché ensuite pour le compost...

Gestionnaire de déchets, décembre 2021

Synthèse

Le Tableau 23 et le Tableau 24 synthétisent les principaux facteurs d'influence associés aux rôles des acteurs, observés dans le SGPRO de la plaine de Versailles.

Tableau 23 : Rôles des acteurs au sein du SGPRO et principaux facteurs d'influence auxquels ils sont soumis dans leurs choix d'affectation. Les facteurs d'influence sont décrits dans la section 8.2.3, et dans le Tableau 57.

	<i>Economiques</i>	<i>Environnementaux</i>	<i>Politiques</i>	<i>Réglementaires</i>	<i>Sociaux</i>	<i>Techniques</i>
<i>Producteurs</i>	Recherche d'une réduction du coût de gestion des PRO		Décision publique	Obligation de tri (loi AGEC). Contraintes sur le stockage de PRO.	Interconnaissance et Proximité. Pression sociale. Normes et représentation	Décentralisation de la production de PRO. Dépendance aux moyens de collecte existants. Responsables de la qualité des PRO.
<i>Collecteurs</i>	Coût du transport important. Recherche de l'exutoire le moins pénalisant Valeur d'échange des PRO avec les transformateurs.		Demande créée par les politiques publiques.	Réglementation sanitaire.	Besoin d'interconnaissance pour identifier les producteurs et les réceptionneurs. Concurrence avec les autres prestataires pour l'accès aux filières de transformation.	Matériel de collecte spécifique au flux de PRO. Dépendants des installations de traitement existantes.
<i>Transformateurs</i>	Existence de soutiens aux filières. Besoin de gisement pour garantir le modèle économique. Valorisation économique des PRO.	Intérêt de production d'énergie renouvelable.	Décision publique. Influence.	ICPE. Réglementation sanitaire.	Pression sociale. Concurrence avec les autres prestataires. Réputation. Interconnaissance	Limitations techniques des installations.
<i>Utilisateurs</i>	Optimisation économique dans l'achat d'intrants.	Qualité des sols.		Directive Nitrates.	Pressions sociales.	Pratiques agricoles Qualité des PRO.

Tableau 24 : Interaction entre les rôles du système d'influence et les facteurs d'influence

Rôle	Economiques	Environnementaux	Politiques	Réglementaires	Sociaux	Techniques
<i>Régulateur</i>	Accorde ou non les aides.	Assure le respect des normes de rejet.	Effectue des arbitrages politiques. Fixe les orientations politiques.	Assure le respect des réglementations.		
<i>Animateurs</i>			Influencent la décision politique.		Favorisent l'interconnaissance. Font évoluer les représentations.	Sensibilisent à des solutions techniques.
<i>Fédérateurs</i>	Défendent les intérêts du groupe		Constituent un rapport de forces.		Favorisent la cohésion du groupe.	
<i>Apporteurs de solution</i>	Proposent de nouveaux coûts des modalités de gestion			Favorisent les solutions en accord avec la réglementation	Apportent de nouvelles informations.	Offrent de nouvelles possibilités techniques.

8.2.6. Pratiques actuelles et potentielles de concertation au sein du SGPRO

L'ultime étape de cette analyse consiste à détailler le périmètre de concertation à partir des rôles identifiés. Dans un premier temps, les pratiques actuelles de concertation décrites au cours des entretiens sont présentées en fonction du rôle des acteurs qui y participent. Dans un second temps, les rôles et l'ancrage territorial des acteurs-cibles identifiés au cours des entretiens comme pertinents pour la symbiose territoriale sont analysés, de manière à proposer les contours d'un périmètre de concertation. Ici encore, ces résultats sont propres au SGPRO étudié, mais constituent la première étape d'une montée en généralité.

Différentes visions de la concertation

Au cours des entretiens, le terme de concertation apparaît avoir différentes significations selon les acteurs concernés. Les acteurs du système d'interactions physiques la considèrent plutôt comme une étape d'un projet technique : l'implication des producteurs ou des utilisateurs de PRO, ou l'acceptabilité sociale des habitants. Les acteurs d'influence la voient plutôt comme une dynamique fédérative, de développement de filière inhérente à leurs activités, ou parfois comme une dynamique institutionnelle qui se déroule à une échelle plus large. Les descriptions suivantes se basent sur un ensemble de pratiques et de représentations observées sur la plaine de Versailles. Elles visent à identifier la logique des différents types de concertation possibles, le type d'acteur qui les promeut et à qui elle se destine.

Premièrement, si cette pratique n'est pas directement assimilable à une démarche de concertation, il est d'intérêt de noter que des **synergies** peuvent émerger spontanément entre des acteurs du système d'interactions physiques dans le cadre des activités, lorsqu'ils y voient un avantage mutuel. Ces pratiques rejoignent l'idée de *serendipity* mobilisée dans la catégorisation des symbioses industrielles (voir Chapitre 5). Par exemple, une exploitation agricole et une STEP, situées proches l'une de l'autre, ont construit une confiance au fil du temps et montent des projets communs (notamment, une expérimentation de réutilisation d'eau usée traitée). De tels exemples restent une exception plutôt que la règle.

Ce sont nos partenaires. Typiquement ce sont eux qui font le broyage de nos déchets verts sur dalle, ici, donc on travaille en bonne entente, parce que leur métier c'est aussi la collecte, et que leur site de traitement est déjà très très chargé.

Gestionnaire de déchets, décembre 2021

Une raison qui peut pousser les acteurs du système d'interactions physiques à initier une concertation est une logique de **recherche de partenaires**. Ces démarches sont guidées par l'intérêt pour identifier de nouveaux gisements, ou de nouvelles voies de valorisation des PRO. C'est notamment le cas de transformateurs, dont l'activité est fortement dépendante de ces autres acteurs. L'unité de méthanisation de Thoiry s'est par exemple engagée dans une démarche d'animation afin d'ancrer son activité au territoire. Dans cet exemple, la concertation ne met pas directement en relation les producteurs et les utilisateurs entre eux, mais suit plutôt une logique bilatérale.

Donc c'est vraiment un projet où il y a beaucoup d'acteurs, de proximité. Il y en a qui veulent nous rejoindre, d'autres qui ne veulent pas... on a plein d'échanges.

Gestionnaire de déchets, décembre 2021

Dans une optique similaire, la concertation peut aussi correspondre à une volonté de **démocratisation du SGPRO** par l'implication des habitants – producteurs de PRO – dans la réflexion sur son évolution, ou la mise en place de nouveaux moyens de gestion impliquant leur participation. Cette étape est particulièrement importante dans les solutions de proximité et fait notamment partie du métier d'Organeo, qui développe ce type de solutions. Cette représentation de la concertation est guidée par un souhait d'impliquer davantage les citoyens dans la vie publique et dans les décisions techniques. Ces initiatives peuvent être issues d'acteurs du système d'interactions physiques qui souhaitent impliquer les citoyens (pour les mobiliser dans le tri sélectif, par exemple), ou d'acteurs fédérateurs représentant des citoyens qui s'intéressent à la question, comme c'est le cas de l'association La Vitrine du Développement Durable.

Il y a une grosse réunion publique prévue, qui va parler de plein de sujets. On voudrait pousser la prise en charge des biodéchets. C'est une réunion publique sur le plan climat, qui vise à formuler les plans d'action, et est ouverte aux plus grand nombre.

Association, novembre 2021

Pour certains acteurs, la concertation correspond plutôt à un processus de consultation publique (Touzard, 2006) visant à **l'acceptation finale** d'un projet par d'autres acteurs du système-territoire. L'implication des habitants n'est pas sollicitée pour concevoir l'évolution du SGPRO, mais plutôt pour entériner ou donner leur avis sur des évolutions proposées par d'autres acteurs. C'est par exemple le principe des enquêtes publiques qui doivent avoir lieu dans le cadre d'un projet soumis à un régime d'autorisation dans la réglementation ICPE. Ce sont surtout les acteurs transformateurs qui sont confrontés à cette problématique, cette étape d'acceptation étant d'ailleurs souvent perçue comme bloquante. Les acteurs-cibles de ce processus sont les habitants du territoire qui, s'ils s'y opposent, mobilisent également des acteurs fédérateurs pour représenter leurs intérêts (communes, EPCI, associations).

Sur le terme de concertation : on le réserve souvent à la phase finale de l'approche, quand commence à se dessiner un projet concret avec des matières, des acteurs, une zone. Quand ça devient concret, il faut fédérer les acteurs autour de ce projet, et on travaille sur ce qu'on appelle l'acceptabilité. On fait en sorte que les élus, acteurs du territoire, associations, riverains, aient la même vision du projet.

Acteur industriel, novembre 2021

Dans la représentation des acteurs d'influence, la concertation a parfois un objectif de **développement de filière**, entrepris par un acteur animateur qui souhaite faire évoluer le SGPRO. Dans la pratique, cette représentation de la concertation met en relation des acteurs diversifiés du système d'interactions physiques, producteurs, collecteurs et/ou transformateurs de PRO. Dans cette optique, les apporteurs de solution ont une opportunité intéressante de proposer leurs services à des acteurs en demande potentielle. La CCI, par exemple, a dans ses

missions l'animation de groupes de travail entre entreprises, certains ayant notamment pour thème la gestion des biodéchets en vue des évolutions réglementaires. En revanche, ce type d'initiatives observé dans le système-territoire est plutôt guidé par la problématique de gestion de déchets et intègre peu les attentes des utilisateurs finaux des PRO. La logique de développement de filière intègre des niveaux variables de participation des acteurs-cibles.

On fait des animations à destination des différents acteurs pour les accompagner concrètement. Leur donner quelque chose clé en main, qu'ils puissent échanger entre eux. On parle des questions réglementaires qui se posent, sur lesquelles ils ne connaissent pas forcément toutes les possibilités qui s'offrent à eux.

Acteur public, octobre 2021

La concertation peut également avoir une dimension **fédérative**, en s'intégrant dans le mode de fonctionnement d'acteurs fédérateurs souhaitant aligner leurs actions avec les aspirations des membres qu'ils représentent. Par exemple, l'APPVPA organise fréquemment des rencontres entre ses membres, issus de milieux contrastés, qui permettent de dégager des attentes collectives. Ce type de concertation correspond à une démarche d'animation au sein de groupes déjà constitués. Dans le système-territoire, de tels groupes n'ont pas été identifiés concernant les collecteurs ou les apporteurs de solution.

Après il y a quand même le conseil patrimonial et le bureau. Le conseil patrimonial, c'est 9 représentants de chaque collège, donc il y a quand même un moment, une instance où ils se mélangent, et où d'autres projets peuvent être discutés, débattus.

Association, octobre 2021

Certains acteurs sont impliqués dans des dynamiques de concertation qui se situent à un **niveau institutionnel** plus large, mis en place par des acteurs régulateurs. C'est par exemple le cas dans l'établissement du plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGDD), ou dans leur implication avec la décision parlementaire. Ce type de concertation peut impliquer tous types de rôles du système d'interactions physiques et du système d'influence. Leur contribution est néanmoins soumise à l'agenda politique de l'acteur régulateur, et les retombées se situent principalement au niveau institutionnel, ce qui induit la modification de facteurs d'influence politiques et réglementaires.

Il y a des enjeux réglementaires, on est aussi très actifs, en lien avec le ministère par exemple pour travailler sur les enjeux réglementaires liés au lancement de cette filière, les sujets de création de nouvelles rubriques ICPE. Ça c'est des logiques de concertation, de coopération, on est pleinement présents dedans.

Gestionnaire de déchets, janvier 2022

A ces modèles de concertation, il est intéressant de comparer le modèle de la **ymbiose territoriale** qui est l'objectif visé par les promesses plausibles. Ce modèle se rapproche de celui du développement de filière, notamment car il est mis en place par un acteur animateur souhaitant voir un changement apparaître au sein du SGPRO. En revanche, la représentation de

tous les acteurs faisant partie du système d'interactions physiques est souhaitée, ainsi que celle d'acteurs fédérateurs à même de représenter les intérêts des parties prenantes. De plus, ces acteurs doivent contribuer à l'organisation du processus de concertation, dans une démarche de co-construction. Aucune concertation de ce niveau de complexité a été observée sur la plaine de Versailles. Une démarche de concertation passée, animée par l'INRA, tentant de mettre en relation des centres équestres, plateformes de compostages et agriculteurs, s'approchait toutefois de cette logique en ce qui concerne la gestion des fumiers de chevaux.

La réflexion, c'était de dire « sur ce territoire, il y a des acteurs qui produisent, qui traitent et recyclent des déchets verts, il y a des plateformes existantes, et à côté de ça il y a aussi d'autres acteurs qui sont notamment des éleveurs de chevaux... »

Gestionnaire de déchets, décembre 2021

Le Tableau 25 propose une synthèse de ces observations et les compare avec la symbiose territoriale, qui permettrait de résorber la rupture métabolique territorialisée.

Tableau 25 : Synthèse des différentes représentations de la concertation et de la manière dont elles se mettent en œuvre. *Le fait d'initier une démarche confère, de facto, le rôle d'animateur, en plus des autres rôles dont dispose l'acteur initiateur ** Cette concertation est le cadre théorique abordé pour l'étude mais n'a pas été observée dans la pratique.

<i>Représentation de la concertation</i>	<i>Sous-système initiateur</i>	<i>Rôles des acteurs initiateurs*</i>	<i>Rôle des acteurs-cibles</i>
<i>Synergies</i>	Interactions physiques	Producteurs ou Transformateurs ou Utilisateurs	Producteurs ou Transformateurs ou Utilisateurs
<i>Recherche de partenaires</i>	Interactions physiques	Transformateurs	Producteurs et/ou Utilisateurs
<i>Démocratisation du SGPRO</i>	Interactions physiques Influence	Transformateurs ou Fédérateurs	Producteurs
<i>Etape d'acceptation finale</i>	Interaction physique	Transformateurs	Fédérateurs
<i>Développement de filière</i>	Influence	Animateurs	Producteurs et/ou Collecteurs et/ou Transformateurs et/ou Apporteurs de Solution
<i>Concertation fédérative</i>	Influence	Animateurs et Fédérateurs	Producteurs et/ou Transformateurs et/ou Utilisateurs et/ou Fédérateurs
<i>Concertation institutionnelle</i>	Influence	Régulateurs	Producteurs et/ou Collecteurs et/ou Transformateurs et/ou Utilisateurs et/ou Apporteurs de solution et/ou Fédérateurs et/ou Régulateurs
<i>Symbiose territoriale**</i>	Influence	Animateurs et/ou Apporteurs de solution	Producteurs et Collecteurs et Transformateurs et Utilisateurs et Apporteurs de Solution et Fédérateurs

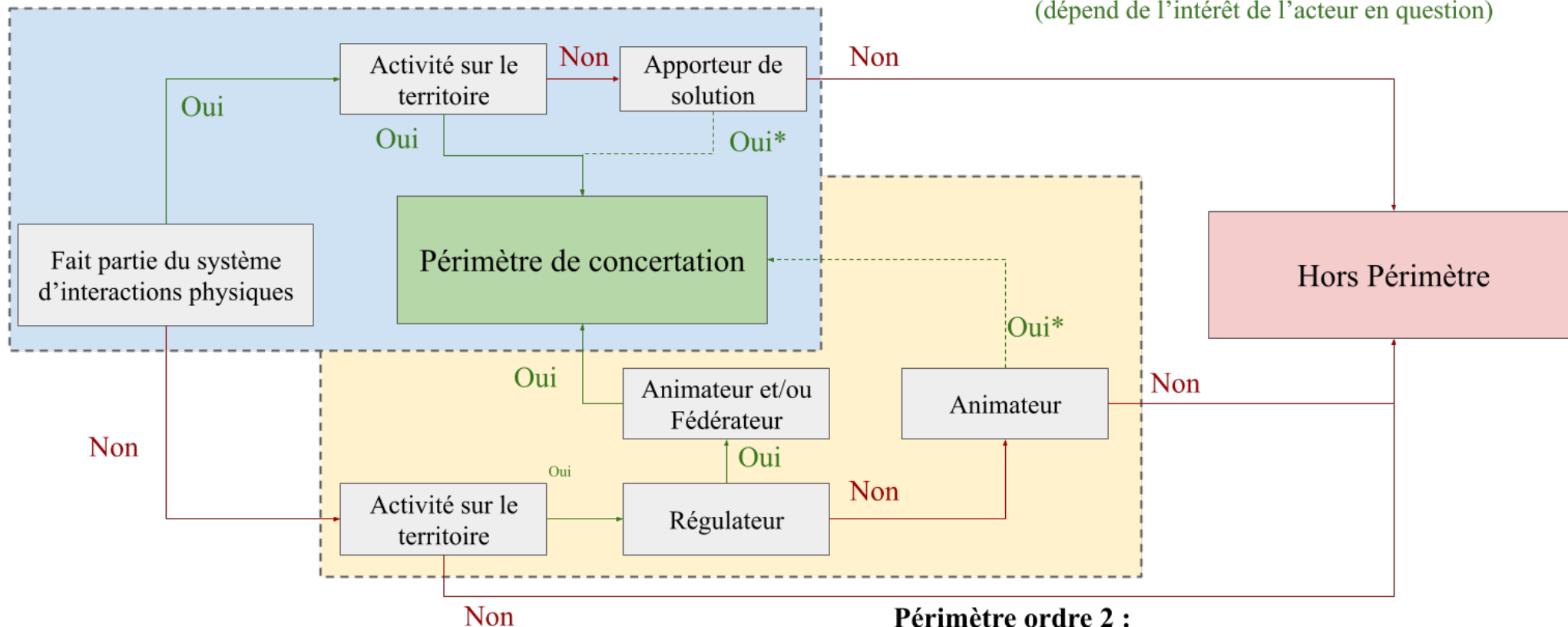
Identification du périmètre de concertation pour une symbiose territoriale

La mise en place d'une démarche de concertation vise à modifier à la fois le fonctionnement du système d'interactions physiques et du système d'influence. La distinction entre les deux modes d'action établie au Chapitre 3 (Holm, 1999) peut se traduire dans le SGPRO par la distinction entre deux types de participants : ceux contribuant à l'action d'ordre 1 au travers du système d'interactions physiques, et ceux contribuant aux actions d'ordre 2 au travers du système d'influence. Les actions d'ordre 1 correspondent à un changement effectué au sein d'un cadre de règles et de normes déterminées, par exemple, le changement d'affectation d'un PRO, ou l'insertion d'une nouvelle solution technique. Les actions d'ordre 2 correspondent à la mise en place ou au changement des normes et règles qui permettent que l'action se déroule. Cela correspond par exemple à la mise à l'agenda d'un enjeu territorial au travers d'une concertation, à l'influence sur la décision politique, ou au changement des mentalités des acteurs. La Figure 63 représente les caractéristiques dont disposent les acteurs identifiés comme potentielles parties prenantes pour participer à une symbiose territoriale, en distinguant ces deux modes d'action. Une grande partie des acteurs faisant partie du système d'interactions physiques sont des acteurs-cibles pertinents. Parmi ces acteurs, ceux qui ont une activité au sein du périmètre de l'APPVPA font tous partie du périmètre de concertation. Ils sont en effet directement concernés par un changement dans le SGPRO. Cependant, certains acteurs n'ayant pas d'activité au sein du périmètre font également partie du périmètre de concertation. La condition nécessaire identifiée pour cela est que ces acteurs soient apporteurs de solution technique, qui puisse faire partie des pistes envisagées lors de la concertation. Etant donné qu'il existe un nombre potentiellement important d'apporteurs de solutions hors du périmètre, les acteurs-cibles pertinents sont ceux qui sont intéressés pour développer leur activité au sein de celui-ci. La détermination des acteurs-cibles pertinents au sein du système d'influence est plus complexe, notamment compte tenu de leur éloignement et de leur périmètre d'action parfois plus large. Dans le système-territoire étudié, avoir une activité (donc une influence) au sein du périmètre de l'APPVPA est une condition nécessaire pour que ces acteurs fassent partie du périmètre de concertation. Parmi les acteurs répondant à ce critère, les régulateurs ne font partie du périmètre de concertation que s'ils ont également un rôle d'animateur ou de fédérateur. C'est par exemple le cas des communautés de communes ou d'agglomération (rôle fédérateur) ou des chambres consulaires (rôle d'animateur). Parmi les acteurs non-régulateurs, être animateur est une condition nécessaire mais non suffisante pour participer à la concertation. C'est l'intérêt de l'acteur en question pour la symbiose territoriale qui détermine alors sa pertinence. Au-delà de leur capacité à porter la concertation, l'implication des acteurs animateurs permet de diffuser l'information dans leurs réseaux et d'espérer ainsi mobiliser davantage de participants. Contrairement au rôle d'animateur, le rôle de fédérateur n'est pas une condition nécessaire pour faire partie du périmètre de concertation. Cela signifie notamment qu'un fédérateur qui n'est ni régulateur, ni animateur, ne fait pas partie de ce périmètre. Ces acteurs sont potentiellement intéressants, car ils permettent d'avoir accès à une voix représentative de groupes d'acteurs moins faciles à mobiliser directement, comme par exemple les utilisateurs de PRO (agriculteurs), ou les petits producteurs de PRO (entreprises, centres équestres, petites STEP...). Il n'existe cependant pas d'acteurs fédérateurs pour toutes ces catégories d'acteurs. Les apporteurs de solution du système d'influence (solutions informationnelles) ne jouent pas non plus un rôle qui suffise à les intégrer dans le périmètre de concertation. Si leur rôle peut alimenter et informer la concertation, ils ne sont parties prenantes potentielles qu'à condition d'avoir d'autres rôles (a minima, animateur).

Périmètre d'ordre 1 :

Changement direct, dans le cadre de règles et de normes existantes

Oui* : condition nécessaire mais non suffisante
(dépend de l'intérêt de l'acteur en question)



Périmètre ordre 2 :

Changement du cadre et des normes existantes pour permettre le changement d'ordre 1

Figure 63 : Logigramme représentant les conditions nécessaires et suffisantes pour que des acteurs soient considérés comme parties prenantes potentielles d'une symbiose territoriale dans le SGPRO de la plaine de Versailles.

8.2.7. Acteurs initiateurs et acteurs-cibles pour l'initiation d'une symbiose territoriale

La cartographie des acteurs du système-territoire et la formalisation du SGPRO au travers de rôles (avec une compréhension des facteurs d'influence qui affectent ces rôles), permet de mieux comprendre les acteurs à mobiliser au sein de d'une symbiose territoriale, ainsi que les défis auxquels fera face l'initiateur. Le fait qu'il existe de multiples visions différentes de la concertation souligne la difficulté de la mise en œuvre d'une symbiose territoriale, qui ne fait pas ou peu partie des pratiques courantes. Un enjeu crucial relevé par les acteurs lors des entretiens est la nécessité de trouver une structure porteuse de la démarche, dont l'identification ne leur apparaît pas avec évidence. Le type de concertation le plus proche de la symbiose territoriale est le modèle de « développement de filière », généralement conduit par des acteurs animateurs tels que la CCI, la Chambre d'Agriculture ou la Région. Pour que l'un de ces acteurs initie une symbiose territoriale, il lui est nécessaire d'adopter une vision systémique de la gestion des PRO afin d'inclure toutes les parties prenantes pertinentes du SGPRO. A l'inverse, les acteurs de la recherche qui disposent déjà de cette vision systémique n'ont pas pour habitude d'adopter une posture d'animateur et cela leur demande donc également un difficile effort d'adaptation. Les acteurs du système d'interactions physiques combinent ces deux difficultés, ayant des visions de la concertation moins proches de la symbiose territoriale, et ne disposant pas nécessairement non plus de la connaissance systémique des enjeux territoriaux. Les entretiens mettent également en évidence une différence de temporalité entre les différents acteurs qui pourraient participer à une concertation. C'est notamment le cas entre les entreprises de gestion de déchets organiques, qui fonctionnent à des échéances relativement brèves et ont besoin de visibilité sur les gisements afin de développer de nouvelles filières, et les collectivités soumises à la loi AGEC, qui passent par de longues étapes de diagnostic et d'expérimentation avant de s'engager dans une démarche concrète. L'acteur porteur de la concertation est donc confronté à la nécessité d'accorder ces différentes temporalités pour maintenir l'engagement des acteurs.

D'après les caractéristiques analysées dans le système-territoire, les acteurs-cibles pertinents dans le cadre de l'expérimentation sont les suivants : (1) Tous les acteurs du système d'interactions physiques ayant une activité au sein du périmètre, (2) Certains apporteurs de solutions techniques, même situés hors du périmètre, à condition qu'ils aient un intérêt pour développer leur activité sur celui-ci, (3) Des acteurs régulateurs ayant également un rôle d'animation et/ou de fédération, (4) Des acteurs animateurs ayant une activité au sein du périmètre, à condition qu'ils soient intéressés par les enjeux de la démarche. Ces acteurs ont des attentes assez différentes vis-à-vis d'une telle démarche et certains ont plus de moyens d'action que d'autres. La méthodologie de sélection de ces acteurs pour la mise à l'épreuve des promesses plausibles sera détaillée dans le Chapitre 10.

8.3. Analyse du réseau social lié à la gestion des PRO

Malgré l'identification des acteurs et la compréhension de leurs rôles ainsi que du champ d'influence, il reste impossible de comprendre si certains ont une place plus importante que d'autres dans le fonctionnement du SGPRO – et donc, potentiellement, dans une symbiose territoriale. L'analyse de réseaux sociaux est un outil qui permet d'obtenir un niveau de compréhension supplémentaire sur le SGPRO. De la même manière, la formalisation conceptuelle d'un système d'interactions physiques et d'un système d'influence ne permet pas de déterminer l'agencement de ces deux sous-systèmes, ni leur importance relative. La composition, la structure et les acteurs-clés de ces sous-réseaux d'acteurs sont de précieuses indications sur leur prédisposition à se concerter et sur la manière d'initier cette concertation. Les résultats obtenus par l'analyse de réseaux sociaux fournissent des éléments d'analyse stratégique, visant notamment à mieux estimer le pouvoir et l'influence respectifs de chaque acteur, qui sont des informations essentielles pour l'acteur initiateur.

8.3.1. Méthodologie d'analyse de réseaux sociaux

Intérêt et objectifs de l'analyse de réseaux sociaux

Les acteurs qui ont été identifiés et dont le rôle a été caractérisé dans la section 8.2 entretiennent entre eux des relations qui les placent au sein d'un réseau social. Ce réseau est d'ailleurs le même que celui qui a été défini comme l'une des composantes fondamentales du système-territoire (voir 7.2.1). L'analyse de réseaux sociaux vise à étudier les relations entre les acteurs d'un réseau au travers d'indicateurs mathématiques. Cette approche permet d'évaluer des caractéristiques structurelles du réseau comme sa densité ou sa centralisation, mais permet également de distinguer les particularités de certains membres du réseau, comme leur centralité (Borgatti *et al.*, 2013 ; Wasserman et Faust, 1994)¹³⁵. Cette représentation permet d'améliorer la compréhension du système, et dans le cas présent l'influence potentielle de ces acteurs dans une nouvelle démarche de concertation. Le réseau social étudié est celui des acteurs faisant partie du système-territoire, c'est-à-dire le SGPRO de la plaine de Versailles. Cette approche, mobilisant un réseau centré sur un objet de recherche, est dite *nominaliste* (Laumann *et al.*, 1983), par opposition à une approche dite *réaliste* centrée sur un réseau d'acteurs clairement identifiés comme membres d'une communauté (par exemple, les employés d'une entreprise). La méthodologie de sélection en boule de neige est adaptée pour définir les frontières de ce type de réseau et a notamment déjà été appliquée avec succès dans le cas de la symbiose industrielle (Domenech et Davies, 2011). Un premier objectif de cette analyse sera de représenter la structure du SGPRO en tant que réseau social, et grâce à cela d'en déterminer des acteurs-clés. Un deuxième objectif sera de comprendre si la centralité dans les SGPRO peut s'expliquer en fonction du rôle qu'y occupent les acteurs. Le troisième objectif sera de conduire une analyse similaire au sein de sous-réseaux et de les comparer au réseau complet.

¹³⁵ Un parallèle peut être fait avec l'analyse de réseaux écologiques (Rufino *et al.*, 2009), bien que l'analyse de réseaux sociaux s'intéresse moins à des flux physiques qu'à des interactions sociales entre des acteurs.

Principes méthodologiques de l'analyse de réseaux sociaux

La Figure 64 représente les principes généraux de l'analyse de réseaux sociaux, et la manière dont elle est mobilisée dans cette étude. Lors des entretiens des Phases 1 et 2 (cf 7.3.2), les liens entre les acteurs ont été recensés. Cela permet de construire une **matrice des interactions**, dans laquelle sont renseignées toutes les relations entre les acteurs, qui est le matériel de base de l'analyse de réseaux sociaux. Il s'agit d'une matrice carrée, de dimension égale au nombre d'acteurs du réseau, dans laquelle les lignes et les colonnes correspondent à la liste de ces acteurs. Lorsqu'il y a une relation entre deux acteurs, un 1 est indiqué à l'intersection de la ligne et la colonne de ces deux acteurs respectifs, et un 0 dans le cas contraire (voire illustration du point (2) sur la Figure 64). Par ailleurs, les caractéristiques des acteurs et leur rôle dans le SGPRO, établis dans la section 8.2, sont associés à chacun des acteurs sous la forme d'attributs. Les fonctionnalités du logiciel Ucinet (Borgatti *et al.*, 2002), permettent d'analyser les caractéristiques du réseau social ainsi formé et de les croiser avec les attributs des acteurs. L'outil NetDraw (Borgatti, 2002), incorporé dans Ucinet, permet de représenter le graphe d'interactions en mettant en évidence certains de ces attributs. Cette visualisation permet d'observer des caractéristiques d'intérêt pour la compréhension du système de gestion des PRO.

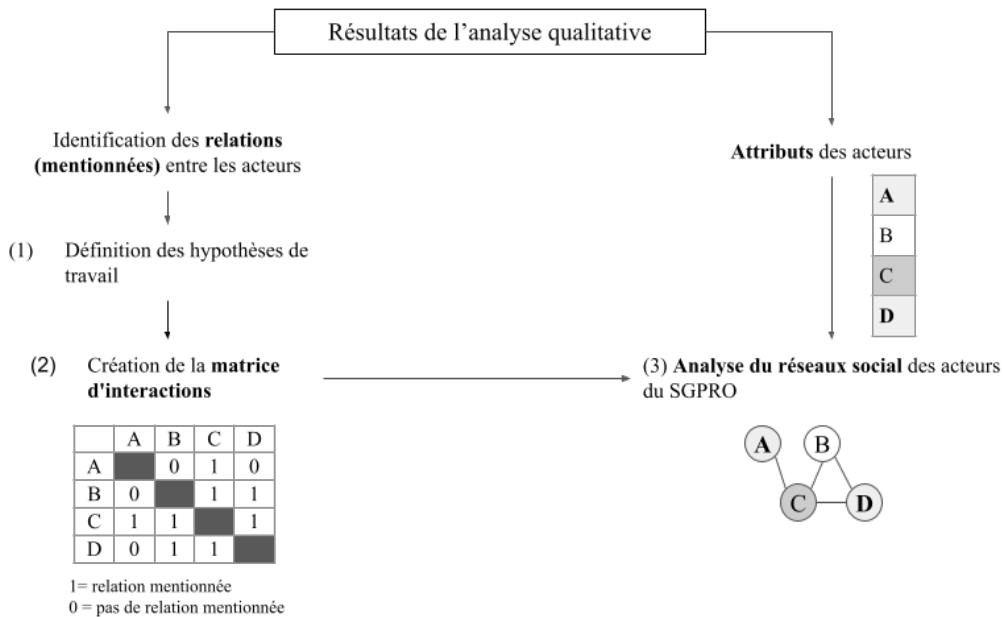


Figure 64 : Principe méthodologique de l'analyse de réseaux sociaux. Les lettres A, B, C et D représentent des acteurs fictifs du SGPRO. La mise en forme en gras et nuances de gris symbolise des attributs de ces acteurs.

Délimitation du réseau et choix méthodologiques

De par la nature des données obtenues lors des entretiens, et la nature du système étudié, il est nécessaire de formaliser les hypothèses de travail permettant de conduire l'analyse de réseaux sociaux. Les hypothèses utilisées sont les suivantes :

- (1) Les **nœuds** du réseau social sont représentés par les acteurs, soit intervenant directement dans le système de gestion des PRO, soit ayant au moins une relation avec d'autres acteurs du système, dans le cadre de ses activités de gestion des PRO. Ces acteurs ne correspondent donc pas uniquement à ceux concernés directement par la gestion des PRO, mais également ceux qui influencent leurs activités.

- (2) Une **relation** entre un acteur A et un acteur B signifie que A interagit avec B dans son activité liée au système de gestion des PRO. Cette interaction peut par exemple prendre les formes suivantes : A est prestataire ou fait appel à B, A est financé par B ou subit des contrôles de la part de B (ou inversement), A travaille avec B sur un projet commun, A est impliqué dans la gouvernance de B. Ces relations ne se restreignent donc pas exclusivement à des échanges de matières physiques. Les relations ne sont pas pondérées.
- (3) Dans cette étude, **seules les relations mentionnées au cours des entretiens sont considérées**, bien qu'il soit probable que d'autres relations existent mais n'aient pas été mentionnées lors des entretiens. Ce choix est fait pour deux raisons. Premièrement, il est raisonnable de considérer que les relations mentionnées lors des entretiens sont celles qui font le plus de sens pour les acteurs, et donc celles qui sont les plus pertinentes à considérer dans l'analyse du SGPRO. En effet, si une relation existe mais qu'elle n'est pas liée à la gestion des PRO, ou qu'elle n'influence pas les choix faits sur la PV, elle est peu pertinente à inclure dans l'approche centrée sur ce système-territoire. Deuxièmement, une analyse exhaustive de toutes les relations manquantes est un exercice complexe, dont les données ne sont pas forcément disponibles, et dont l'apport est discutable, notamment au vu des objectifs de l'analyse et du point évoqué précédemment.
- (4) Il est considéré que les relations sont symétriques entre les acteurs. Si A mentionne une relation avec B mais que l'inverse n'est pas vrai, il est malgré tout considéré que A a une relation réciproque avec B (donc que B a également une relation avec A). Cette hypothèse efface certaines caractéristiques du réseau mais simplifie la lecture et l'interprétation des données.
- (5) La matrice d'interactions fait intervenir des **acteurs génériques dans le système-territoire de la plaine de Versailles** (Agriculteurs, communes, citoyens, entreprises, et centres équestres). Cette méthode, qui a déjà été utilisée dans des projets d'analyse de réseaux sociaux dans le cadre de symbioses industrielles (Mat et al., 2012), permet d'anonymiser les petites structures dont la représentation individuelle a peu d'intérêt, d'autant qu'elle n'est pas exhaustive. Par ailleurs, cette généricité est parfois utilisée dans la description des interactions faite par certains acteurs (par exemple un acteur peut indiquer qu'il travaille avec « des agriculteurs du territoire »). La limite de cette représentation, en revanche, est qu'elle ne fait pas ressortir la décentralisation du rôle de ces acteurs dans le réseau.

Ces hypothèses permettent de proposer un modèle particulier du SGPRO. Tous les acteurs existants ne pourront pas être représentés. L'intérêt de cette représentation n'est pas de décrire une réalité exhaustive et objective, mais de fournir des outils d'analyse pour comprendre les phénomènes à l'œuvre au sein du SGPRO.

Analyse de la centralité des acteurs

L'analyse de réseau social produit deux types d'informations : des indicateurs représentant les caractéristiques propres aux acteurs du réseau, et des indicateurs décrivant les

caractéristiques du réseau dans son ensemble. En pratique, les valeurs présentées dans les résultats ont été calculées grâce aux algorithmes incorporés dans UciNet¹³⁶.

Dans le cadre des synergies entre acteurs, l'analyse des acteurs du réseau est généralement menée dans le but d'estimer leur **centralité**, qui est interprétée comme un indicateur du pouvoir de ces acteurs au sein du réseau (Alemu, 2017), ou de sa capacité à accéder à des ressources et des opportunités (Nuhoff-Isakhanyan *et al.*, 2017). La centralité est décrite par trois principaux indicateurs, qui sont le degré (*degree centrality*), l'intermédiarité (*betweenness centrality*), et la proximité (*closeness centrality*). Dans la pratique, ces indicateurs peuvent être normalisés. Leur valeur est alors comprise entre 0 et 1, 1 signifiant une centralité maximale. Le **degré** correspond simplement au nombre de relations directes (nombre de liens) dont dispose un acteur. Il peut être interprété comme l'autonomie, le niveau d'activité ou encore son influence. L'**intermédiarité** correspond au nombre de chemins géodésiques passant par un acteur, c'est-à-dire le nombre de fois où il apparaît comme étape intermédiaire pour connecter deux autres acteurs de la manière la plus courte. Cet indicateur est interprété comme le potentiel à jouer un rôle d'intermédiaire entre les autres acteurs, et sa capacité à transmettre de l'information. Dans le cas d'une symbiose industrielle, c'est une faculté qui est essentielle. Enfin, la **proximité** est mesurée en prenant l'inverse de la somme des distances géodésiques d'un nœud aux autres. Cela traduit la facilité pour un acteur d'avoir accès à d'autres acteurs avec un nombre limité d'intermédiaires. Cet indicateur peut par exemple être interprété comme les ressources (directes et indirectes) auxquelles un acteur peut avoir accès. Ces indicateurs témoignent donc de divers niveaux de centralité au sein d'un réseau. Ils permettent ainsi de déterminer des **acteurs-clés**, bien qu'il n'existe pas de méthode consensuelle pour cela. Pour déterminer les acteurs-clés, un indicateur de centralité globale (C_G) a été construit comme une combinaison du degré (C_D), de l'intermédiarité (C_I) et de la proximité (C_P). Pour l'acteur i , il est calculé de la manière suivante (les valeurs *max* et *min* correspondant au maximum observé parmi tous les acteurs):

$$C_{G,i} = \left(\frac{C_{D,i} - C_{D,min}}{C_{D,max} - C_{D,min}} \times \frac{C_{I,i} - C_{D,min}}{C_{I,max} - C_{D,min}} \times \frac{C_{P,i} - C_{D,min}}{C_{P,max} - C_{D,min}} \right)$$

Cet indicateur d'agrégation conjonctif (Grabisch et Perny, 2014) permet donc de mesurer à quel point un acteur a un score élevé sur tous les niveaux de centralité en comparaison des autres acteurs. Il est compris entre 0 et 1, 1 étant la centralité maximale possible. Un seuil a été déterminé empiriquement afin d'isoler un petit nombre d'acteurs-clés ayant un score supérieur à ce seuil. Après l'étude des scores, le seuil de coupure retenu est de 0,125 (soit un score nécessaire de 0,5 dans chacun des indicateurs de centralité pour intégrer), permettant d'isoler 4 à 9 acteurs clés dans les différents réseaux.

Analyse de sous-réseaux

Les réseaux peuvent également être analysés dans leur ensemble, ce qui permet de comparer plusieurs sous-réseaux, déterminés sur la base des connaissances disponibles sur la nature réelle des relations. Par exemple, Domenech et Davies proposent l'étude du réseau social de la symbiose industrielle de Kalundborg en distinguant des sous-réseaux représentant les échanges de matière, d'eau, d'énergie et de connaissances (Domenech et Davies, 2011). Les indicateurs fréquemment utilisés pour comparer ces sous réseaux sont la densité (Zhang *et al.*,

¹³⁶ Pour les détails mathématiques de calcul de ces indicateurs, se référer à (Borgatti *et al.*, 2013).

2013), la moyenne des distances géodésiques (Song *et al.*, 2018) et la centralisation (Domenech et Davies, 2011). Ces indicateurs peuvent compléter une lecture descriptive correspondant simplement à indiquer le nombre de nœuds (acteurs) et nombre de liens (relations). La **densité** correspond au nombre de liens divisé par le nombre total de liens possibles, compris entre 0 et 1. Elle indique le niveau de connectivité entre les acteurs. La **moyenne des distances géodésiques**¹³⁷ est un indicateur, supérieur ou égal à 1, du nombre moyen de liens intermédiaires nécessaires pour connecter deux acteurs au sein du réseau. Plus elle est proche de 1, plus chaque acteur est connecté facilement aux autres. Enfin, la **centralisation** indique à quel point le réseau considéré est centralisé, c'est-à-dire dépend d'un acteur prépondérant. Avec un nombre d'acteurs N, la centralisation maximale correspond à la situation où N-1 acteurs ont une seule relation, avec un unique acteur central. Un tel réseau est dit « en étoile ». La centralisation est comprise entre 0 et 1 et permet de décrire à quel point la structure du réseau étudié se rapproche d'une structure en étoile.

Une étude de quatre sous-réseaux est proposée : (1) système d'interactions physiques, (2) système d'influence, (3) acteurs au cœur du système-territoire et (4) acteurs-cibles pertinents pour une symbiose territoriale. Pour ce faire, les acteurs répondant à ces caractéristiques (voir 8.2) sont isolés des autres, de manière à déterminer et étudier la matrice d'interaction spécifique à ces sous-réseaux.

Des limites de l'analyse sociométrique d'un système sociotechnique

L'analyse de réseaux sociaux est une analyse sociométrique, c'est-à-dire qu'elle prétend représenter des dynamiques sociales à partir d'indicateurs mathématiques. Ce mode de représentation et de formalisation donne de précieuses informations sur les caractéristiques de l'objet étudié mais ne doit pas être extrapolé ni généralisé au-delà d'un certain point. D'une part, la définition de l'objet d'étude a une grande importance dans les résultats. Par exemple, si les hypothèses avaient été différentes (liens non symétriques, pas d'acteurs génériques...) la configuration du réseau et la répartition des rôles aurait sans doute été différente. D'autre part, la méthodologie de sélection en boule de neige, si elle permet d'identifier avec confiance les acteurs centraux, permet difficilement d'avoir accès aux acteurs moins connectés, qui pourraient pourtant être légitimes. Par exemple, les stations d'épuration du système-territoire n'apparaissent pas toutes, malgré leur rôle dans le système physique et leur légitimité à intégrer une concertation. La philosophie de cette analyse n'est donc pas de prétendre à décrire une réalité avec exactitude, mais plutôt de modéliser cette réalité à partir des données auxquelles donnent accès les entretiens réalisés, et de l'étudier à travers ce modèle.

8.3.2. Description générale du réseau social étudié

Le réseau social obtenu grâce aux entretiens réalisés est composé de 85 acteurs et 502 liens. Parmi ces acteurs, 26 ont été rencontrés lors de la phase 1, et 16 lors de la phase 2, ce qui représente 49% des acteurs représentés dans le réseau. La distribution des caractéristiques et des attributs des acteurs considérés pour l'analyse de réseaux sociaux est présentée sur la

¹³⁷ La **distance géodésique** entre deux acteurs correspond au nombre minimal de liens nécessaires pour connecter ces deux acteurs. Par exemple, sur la Figure 64, la distance entre A et B est de 1 car ils sont directement connectés, tandis que la distance entre A et D est de 2, car le chemin le plus court menant de A à D passe nécessairement par C et implique donc 2 liens.

Chapitre 8

Figure 65¹³⁸. Elle permet de constater la diversité des secteurs et des structures intervenant dans le SGPRO. La densité calculée du réseau est de 0,070. En comparaison, la densité du réseau de Kalundborg est de 0,118, et peut atteindre 0,3 pour d'autres symbioses industrielles (Zhang *et al.*, 2013). Cela signifie que les acteurs du système étudié interagissent moins entre eux que ce qui est le cas dans de telles symbioses. La Figure 66 représente le graphe d'interaction pour le réseau complet, mettant en évidence la centralité des acteurs, leur appartenance au cœur du système-territoire et leur participation aux entretiens.

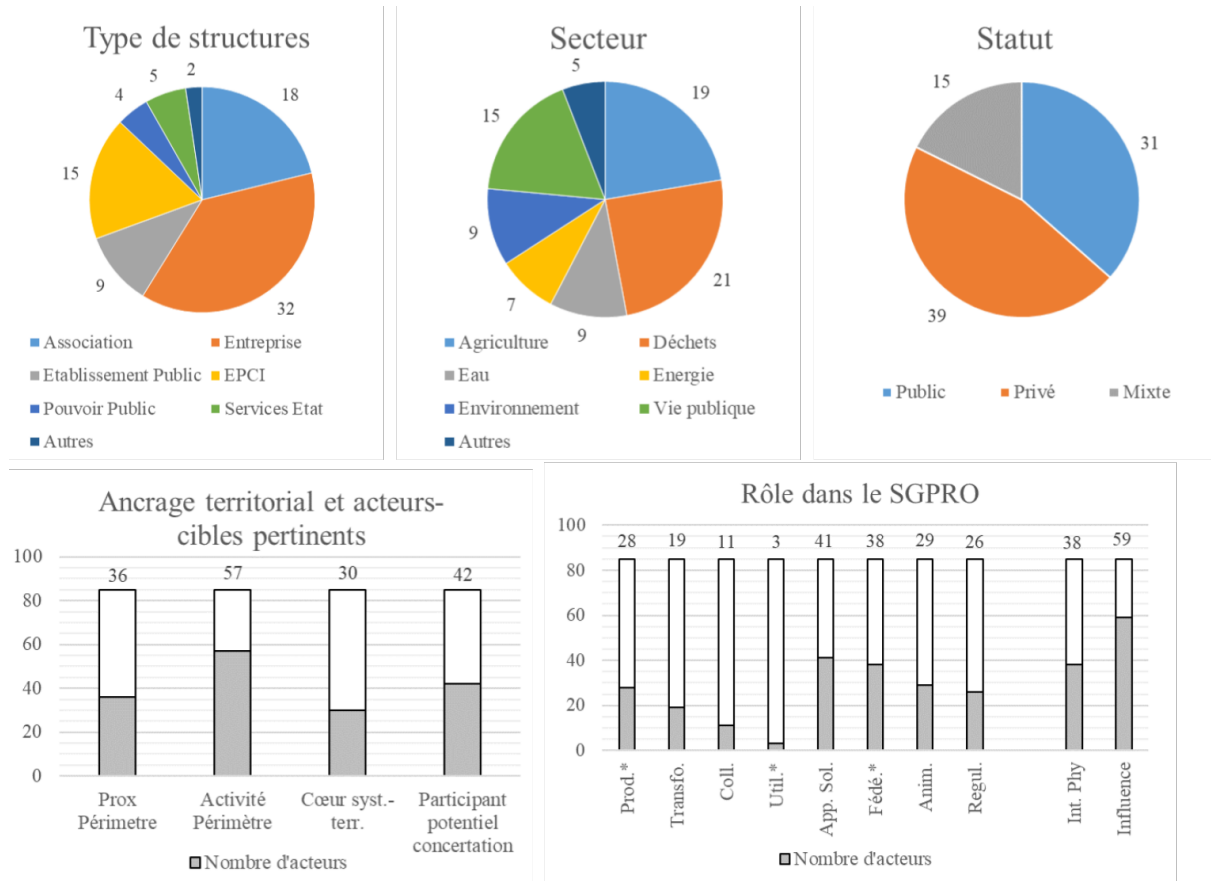


Figure 65 : Description des caractéristiques des acteurs du SGPRO identifiés selon les hypothèses présentées dans la section 8.3.1. Les * dans le graphique « Rôle dans le SGPRO » indiquent les rôles pour lesquels le nombre présenté est sous-évalué, du fait que des acteurs génériques agrègent un nombre plus important d'acteurs individuels (voir 8.3.1)

¹³⁸ Pour rappel, le réseau inclut des acteurs génériques, qui correspondent à l'agrégation d'acteurs de même type (agriculteurs, entreprises, municipalités...) au sein d'un seul acteur « fictif » (« les agriculteurs du système territoire », ...). Dans l'interprétation des résultats, cela implique une sous-représentation des acteurs individuels dans le réseau – par exemple, le nombre d'utilisateur de PRO ne se limite pas à 3 dans la réalité, ce que laisse suggérer la figure 15.

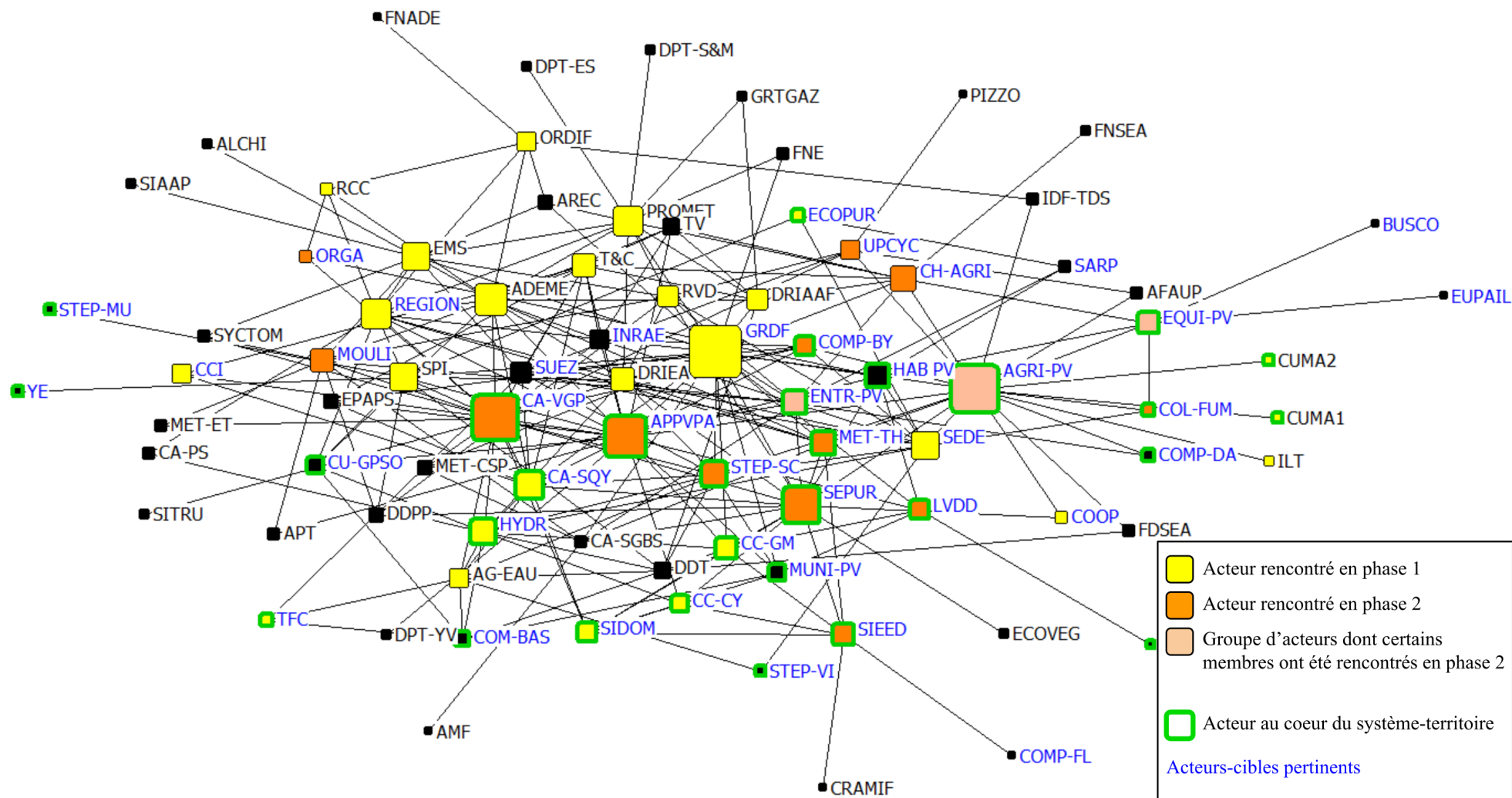


Figure 66 : Réseau social du SGPRO de la plaine de Versailles, et structures rencontrées lors des entretiens.

Chapitre 8

Sept acteurs-clés sont identifiés au sein de ce réseau, présentés dans le Tableau 26. Certains sont au cœur du système-territoire, comme l'APPVPA, VGP, Sepur et les agriculteurs de la plaine de Versailles vus comme une catégorie générique. L'Ademe et le collectif Prometha, distants du périmètre et ne faisant pas partie du système d'interactions physiques, se situent malgré tout en position d'acteurs-clés. Enfin, la centralité prédominante de l'acteur GRDF est remarquable car la nature des activités traditionnelles de cet acteur est peu liée à la gestion de la matière organique. Pour comprendre comment un tel acteur peut être aussi central, développons ce cas sur la base des entretiens. GRDF affiche clairement son objectif d'augmenter fortement l'injection de biogaz dans le réseau de distribution afin d'assurer la pérennité de son modèle économique à moyen terme, et est pour cela très proactif dans le système-territoire – comme sur d'autres territoires. Il apparaît en effet au sein de nombreux réseaux institutionnels, et a notamment conduit une étude de gisements potentiels pour de nouvelles unités de méthanisation au sein du périmètre de l'APPVPA. Il contribue à la sensibilisation d'élus et d'associations à l'intérêt de la méthanisation. Cette implication à plusieurs niveaux le place en position centrale dans le réseau des acteurs qui interviennent dans la gestion des PRO. Même si la question se pose, GRDF n'a dans cette représentation pas été représenté comme un *utilisateur* de PRO¹³⁹. La citation suivante illustre la manière dont sa position peut être perçue par d'autres acteurs :

Je vois que GRDF aujourd'hui essaie de jouer ce rôle de moteur. Simplement, une des difficultés qu'ils peuvent avoir c'est qu'ils ne sont pas dans leur cœur de métier, qui est la gestion des réseaux de gaz naturel. Donc ils essaient d'inciter - j'ai vu qu'ils avaient lancé un appel à projet, sur des projets de métha - ils essaient d'inciter les acteurs de la filière à se mobiliser pour la filière, ce qui est bien, mais finalement ils l'ont pris sous un angle, qui est très réducteur, qui est leur besoin essentiel.

Gestionnaire de déchets, décembre 2021

Tableau 26 : Acteurs ayant les indicateurs de centralité les plus élevés dans le réseau social du SGPRO, à la fois en degré, intermédiarité et proximité, et valeur associée de ces indicateurs. La centralité globale est calculée selon la méthode présentée à la section 8.3.1

Structure	Centralité globale	Degré	Intermédiarité	Proximité
GRDF	0,896	0,274	0,177	0,549
AGRI PV	0,643	0,226	0,197	0,488
CA-VGP	0,536	0,262	0,137	0,494
APPVPA	0,380	0,226	0,108	0,506
SEPUR	0,278	0,202	0,101	0,477
ADEME	0,144	0,190	0,057	0,472
PROMETHA	0,126	0,155	0,075	0,438

¹³⁹ Tout d'abord, le biogaz n'est pas un PRO. Cela poserait la question d'étendre la catégorie des utilisateurs de PRO aux utilisateurs de l'énergie produite par la gestion des PRO, qui allongerait considérablement la liste. De plus, GRDF n'utilise pas directement le biogaz : il a pour mission la gestion du réseau de transport et la vente de gaz à des utilisateurs finaux. Ce ne sont pas ces utilisateurs qui interviennent directement dans le réseau d'acteurs.

Partie III

Au-delà des acteurs clé, il est possible d'identifier si certains rôles ont une place plus importante que les autres. Le Tableau 27 indique la moyenne et l'écart type des indicateurs de centralité des différents rôles au sein du SGPRO. Pour interpréter les données de ce tableau, il faut comparer les valeurs obtenues pour chaque rôle avec la valeur moyenne (en prenant l'écart-type en compte). Ces écarts apparaissent, de manière générale, relativement faibles, ce qui implique que la moyenne par catégorie est similaire à celle du réseau complet¹⁴⁰. En d'autres termes, chaque rôle a une importance équivalente dans la cohésion du réseau. Cela appuie l'intérêt d'une approche concertée impliquant cette diversité d'acteurs.

Tableau 27 : Indicateurs de centralité calculés pour les différents rôles au sein du SGPRO. Les valeurs entre parenthèses indiquent les écarts types.

Rôle	Centralité globale	Degré	Intermédiation	Proximité
<i>TOUS</i>	0,047 (±0,138)	0,070 (±0,062)	0,021 (±0,037)	0,375 (±0,062)
<i>Producteur PRO (N=28)</i>	0,064 (±0,155)	0,085 (±0,065)	0,028 (±0,045)	0,392 (±0,060)
<i>Transformateur PRO (N=19)</i>	0,024 (±0,061)	0,065 (±0,051)	0,015 (±0,023)	0,375 (±0,058)
<i>Collecteur PRO (N=12)</i>	0,037 (±0,075)	0,073 (±0,060)	0,023 (±0,029)	0,361 (±0,067)
<i>Utilisateur PRO (N=3)</i>	0,214 (±0,303)	0,087 (±0,098)	0,066 (±0,093)	0,393 (±0,070)
<i>Apporteur de solution (N=41)</i>	0,055 (±0,153)	0,075 (±0,066)	0,023 (±0,037)	0,382 (±0,065)
<i>Fédérateur (N=38)</i>	0,039 (±0,105)	0,068 (±0,062)	0,019 (±0,032)	0,374 (±0,055)
<i>Animateur (N=29)</i>	0,064 (±0,174)	0,078 (±0,065)	0,026 (±0,040)	0,387 (±0,065)

¹⁴⁰ La centralité globale très supérieure des utilisateurs est liée au fait que les agriculteurs sont agrégés en un seul acteur. Cette valeur ne peut pas réellement être comparée aux autres.

8.3.3. Comparaisons de sous-réseaux

La composition et les caractéristiques des sous-réseaux sont synthétisées par le Tableau 28, et leur représentation graphique est donnée par la Figure 67.

Tableau 28 : Caractéristique des sous-réseaux analysés, identification de leurs acteurs clés, et composition des réseaux en termes de rôles..

	Réseau complet	Système d'interactions physiques	Système d'influence	Cœur du système-territoire	Acteurs-cibles pertinents
<i>Attributs délimitant le sous-réseau</i>		Producteur de PRO et/ou Transformateur de PRO et/ou Transporteur de PRO et/ou Utilisateur de PRO	Apporteurs de solution (informationnelles), animateurs, fédérateurs, régulateurs	Acteurs ayant une activité dans le périmètre de l'APPVPA, et situés à proximité.	Acteurs potentiellement partie prenante lors d'une démarche de concertation
<i>NB nœuds</i>	85	38	59	30	42
<i>Densité</i>	0,070	0,10	0,081	0,133	0,135
<i>Centralisation</i>	0,208	0,24	0,220	0,226	0,242
<i>Dist. Geo. Moy.</i>	2,74	2,48	2,66	2,34	2,36
<i>Acteurs clé</i> <i>*Acteurs ne faisant pas partie des acteurs clé du réseau complet</i>	GRDF, AGRI-PV, CA-VGP, APPVPA, SEPUR, ADEME, PROMETHA	SEPUR, AGRI-PV, CA-VGP, SEDE*, ENTR PV*	GRDF, APPVPA, ADEME, CA-VGP, RÉGION*, PROMETHA, SPI*	AGRI-PV, SEPUR, APPVPA, CC-GM*	AGRI-PV, GRDF, SEPUR, SEDE*, CA-VGP, APPVPA, HAB-PV*, ENTR PV*, CENTR EQ PV*
<i>Système d'interactions physiques</i>	38 (45%)	/	12 (20%)	20 (67%)	30 (71%)
<i>Système d'influence</i>	59 (69%)	12 (32%)	/	17 (57%)	22 (52%)
<i>Cœur Syst.-Terr.</i>	30 (35%)	20 (53%)	17 (29%)	/	27 (64%)
<i>Acteurs-cibles pertinents</i>	42 (49%)	30 (79%)	22 (37%)	27 (90%)	/
<i>Producteur</i>	28 (33%)	28 (74%)	10 (17%)	18 (60%)	21 (50%)
<i>Transformateur</i>	19 (22%)	19 (50%)	3 (5%)	9 (30%)	14 (33%)
<i>Collecteur</i>	11 (13%)	11 (29%)	1 (2%)	2 (7%)	8 (19%)
<i>Utilisateur</i>	3 (4%)	3 (8%)	1 (2%)	1 (3%)	2 (5%)
<i>Apporteur de solution</i>	41 (48%)	24 (63%)	21 (36%)	12 (40%)	24 (57%)
<i>Fédérateur</i>	38 (45%)	9 (24%)	38 (64%)	15 (50%)	16 (38%)
<i>Animateur</i>	29 (34%)	4 (11%)	29 (49%)	7 (23%)	13 (31%)
<i>Régulateur</i>	26 (31%)	7 (18%)	26 (44%)	9 (30%)	10 (24%)

Structure du système d'interactions physiques et du système d'influence

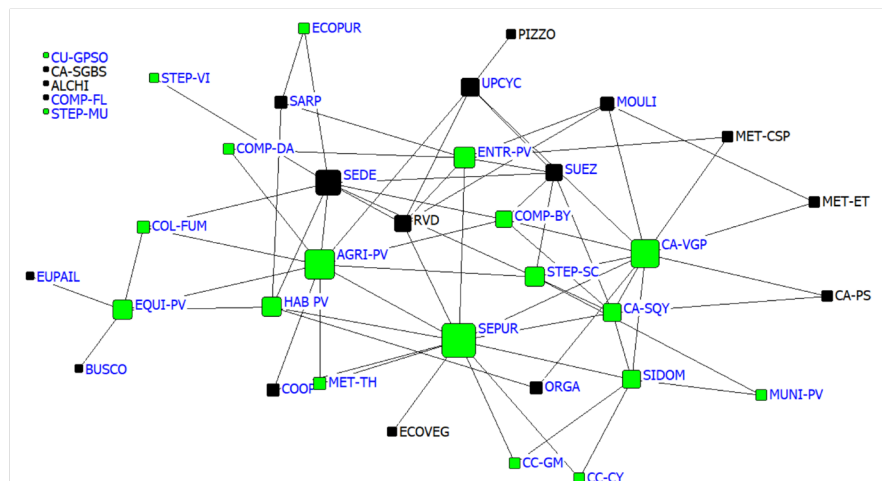
Parmi les 85 acteurs identifiés, 59 acteurs font partie du système d'influence (69%), pour 38 acteurs faisant partie du système d'interactions physiques (38%). 12 acteurs sont présents dans ces deux réseaux simultanément. Ces sous-réseaux sont légèrement plus denses que le SGPRO global, ce qui indique que les acteurs sont plus interconnectés les uns aux autres. Cela montre, dans une certaine mesure, qu'il s'agit effectivement de sous-systèmes cohérents. La composition des systèmes d'interactions physiques et d'influence est très contrastée, ce qui est une conséquence prévisible de la manière dont ils ont été construits. Dans le système d'interactions physiques, le rôle le plus présent est celui de producteur de PRO, suivi par celui d'apporteur de solution (technique, en l'occurrence) et de transformateur. Environ la moitié de ces acteurs fait partie du cœur du système-territoire, et la plupart sont des acteurs-cibles légitimes. Dans le système d'influence, les rôles les plus fréquents, dans l'ordre, sont ceux de fédérateur, animateur puis régulateur. Seulement 30% de ces acteurs sont situés au cœur du système-territoire, et ils sont également moins nombreux à être des acteurs-cibles pertinents. Le fait d'isoler ces sous-systèmes permet d'identifier de nouveaux acteurs-clés qui n'étaient pas identifiés comme tels dans le SGPRO global. Ainsi, l'acteur Sede apparaît comme clé dans le système d'interactions physiques, ainsi que les entreprises du territoire productrices de déchets (acteur générique). La Région et le SPI ont également plus d'importance dans le système d'influence que dans le SGPRO global. La communauté de commune de VGP est le seul acteur qui est clé dans ces deux sous-réseaux. Cela signifie donc que, hormis cet acteur charnière entre les deux sous-systèmes, ceux-ci évoluent de manière relativement indépendante, avec leurs propres logiques d'acteurs. Cette analyse comparée appuie donc la pertinence de la séparation du SGPRO en deux systèmes d'acteurs.

Réseaux des acteurs au cœur du système-territoire et des acteurs-cibles potentiels

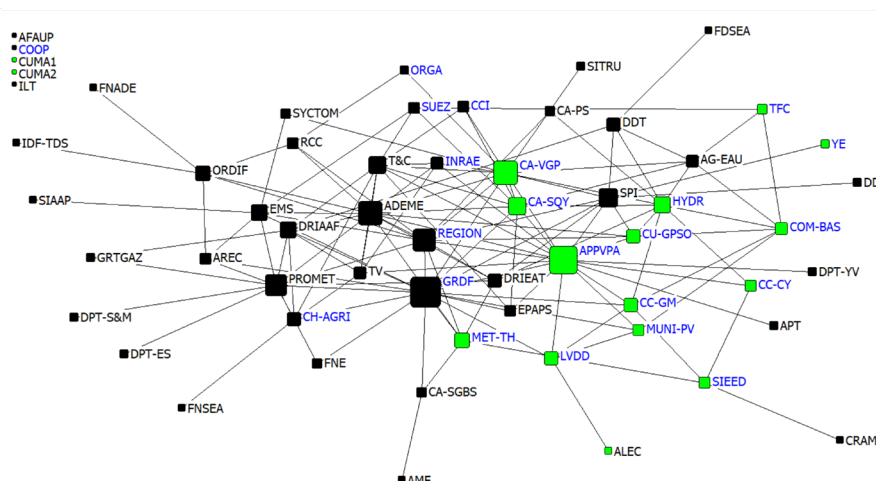
Les sous-réseaux composés des acteurs au cœur du système-territoire et des acteurs-cibles pertinents ne constituent pas des « sous-systèmes » au même titre que les ceux analysés dans le paragraphe précédent. Ils montrent cependant une densité notablement supérieure à la densité globale du SGPRO, et même supérieure à celle des autres sous-réseaux, de l'ordre de la densité observée dans certaines symbioses industrielles (Zhang *et al.*, 2013). Cela montre que ces acteurs partagent déjà une certaine proximité organisationnelle. Il y a un certain recoupement entre ces réseaux. En effet, comme nous l'avons déjà remarqué à la section 8.2.6, une partie importante des acteurs au cœur du système-territoire correspond également à des acteurs-cibles pertinents. L'inverse est moins marqué, car seulement 60% des acteurs-cibles pertinents sont au cœur du système-territoire. Mis à part quelques spécificités, leur composition est similaire à celle du réseau complet. Une différence notable est la présence plus importante, dans ces deux sous-réseaux, des producteurs et de transformateurs de PRO. Cela suggère que ces acteurs, effacés dans le réseau complet par le système d'influence, retrouvent une importance lorsque le réseau se resserre sur une aire géographique réduite –le périmètre de l'APPVPA– ou sur une problématique – la concertation. En termes d'acteurs d'influence, le cœur du système-territoire comporte, en proportion, plus d'acteurs fédérateurs et moins d'apporteurs de solution et d'animateurs que le groupe des acteurs-cibles pertinents. Cette observation suggère que, dans l'initiation d'une concertation, les potentiels animateurs et apporteurs de solution ne sont pas forcément à circonscrire au sein d'un périmètre délimité. Certains acteurs sont clés dans les deux réseaux, comme les agriculteurs (en tant qu'acteur

générique), Sepur, et l'APPVPA. Remarquons que la communauté de communes de GM apparaît comme centrale parmi les acteurs au cœur du système-territoire, mais pas au sein des acteurs-cibles pertinents. Cela traduit le fait que cette collectivité, très ancrée au système-territoire – la seule dont les limites administratives sont comprises dans le périmètre – est cependant très rurale et ne dispose pas des mêmes possibilités d'interaction que les communautés de communes plus grandes comme VGP. Il en résulte qu'elle est moins active sur la question des PRO et interagit moins au sein du réseau des acteurs-cibles pertinents. Dans ce même réseau, notons également que les acteurs génériques producteurs de PRO (entreprises, habitants, centres équestres) ressortent comme centraux, ce qui démontre l'intérêt de les inclure au sein du périmètre de concertation. Le fait que le réseau des acteurs-cibles pertinents soit plutôt dense est un indicateur positif concernant à l'initiation d'une concertation. Cela signifie que les acteurs qui y participeraient partagent déjà, dans une certaine mesure, des modalités d'action communes dans le SGPRO, qui pourraient faciliter leur mise en relation dans une symbiose territoriale (Posch, 2010). Cette observation questionne l'hypothèse de la « rupture territoriale » supposée dans le Chapitre 1. Celle-ci suggérait que l'absence de synergie était liée à l'absence de liens entre les différents acteurs. Or nous observons, dans cette étude, que les acteurs du SGPRO interagissent déjà entre eux et forment un réseau plutôt cohérent, d'autant plus si l'on s'intéresse à des sous-parties de ce réseau. Les « liens » observés ne traduisent ni l'intensité ni la qualité de ces liens. La conclusion à tirer de cela est que, dans une symbiose territoriale, l'objectif serait sans doute autant « d'épaissir » certains de ces liens que d'en établir de nouveaux.

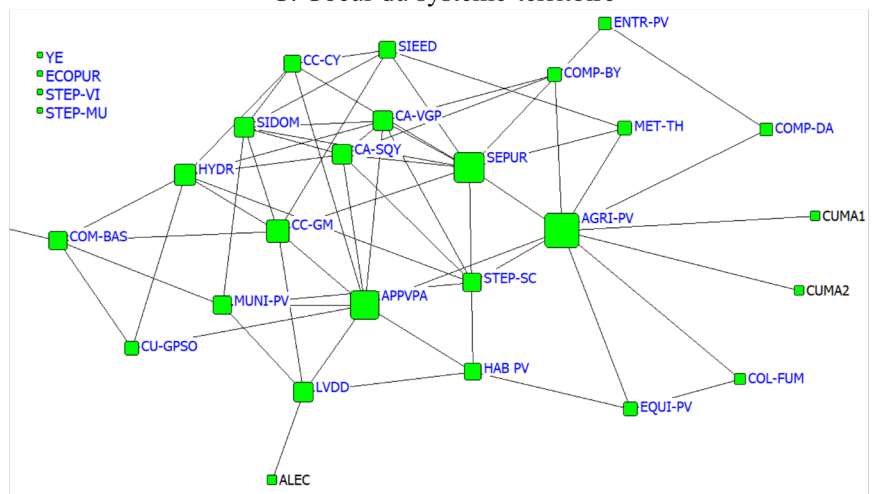
A. Système d'interactions physiques



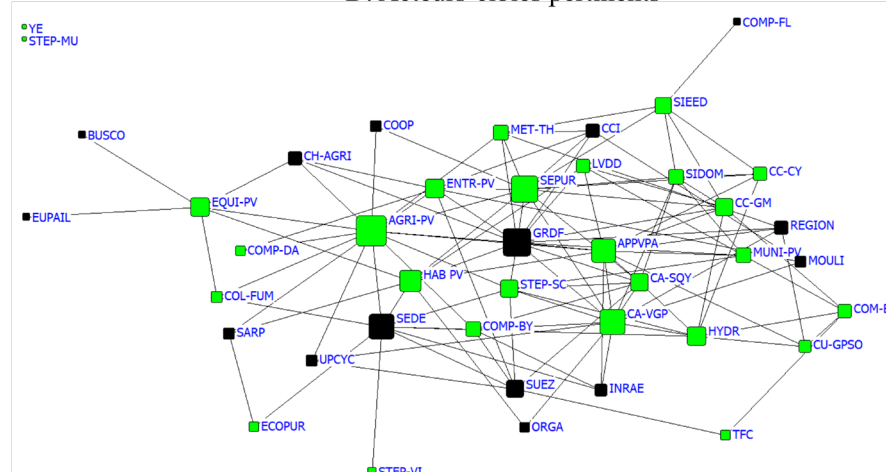
B. Système d'influence



C. Cœur du système-territoire



D. Acteurs-cibles pertinents



■ Cœur du système-territoire ■ Acteurs-cibles pertinents

Figure 67 : Représentation graphique des sous-réseaux étudiés. La taille des structures est proportionnelle à leur centralité.

8.3.4. Aspects stratégiques de l'initiation d'une concertation

L'interprétation de l'analyse de réseaux sociaux dépend de la signification qui est donnée à la centralité des acteurs. La centralité dans le réseau se traduit par un accès facilité aux informations et aux ressources. Ces caractéristiques traduisent la capacité d'un acteur à exercer une influence sur le système. Cette influence est souvent interprétée comme une forme de pouvoir (Alemu, 2017), même s'il ne s'agit pas là d'un pouvoir politique. D'ailleurs, les acteurs disposant de ce type de pouvoir formel – ceux notamment qui endossent le rôle de régulateurs – ne sont que peu présents parmi les acteurs-clés du SGPRO. Malgré le fait qu'aucun des rôles ne se distingue par un niveau élevé de centralité, il existe de fortes hétérogénéités dans la structure du SGPRO. La présence de telles disparités d'influence interroge sur la manière d'initier et conduire une concertation. L'intégration d'acteurs très influents est un levier intéressant pour augmenter la portée de la concertation. Ces acteurs disposant de nombreuses connexions peuvent permettre de toucher un ensemble d'autres acteurs moins faciles à mobiliser directement. Cependant, cette inégalité d'influence pourrait se traduire, au sein de la démarche, par un déséquilibre en faveur des intérêts des acteurs les plus influents – au lieu de se focaliser sur l'enjeu clé de la rupture métabolique. L'acteur initiateur se voit donc confronté à un dilemme entre pouvoir et légitimité.

Légitimité et Pouvoir

La légitimité et le pouvoir sont deux dimensions identifiées par Brulot dans la catégorisation des parties prenantes potentielles à une démarche d'écologie industrielle et territoriale (Brulot, 2009). Malgré la compréhension acquise du SGPRO comme terrain potentiel d'une telle démarche, ces deux qualités sont extrêmement complexes à associer aux acteurs. La légitimité peut être traduite par ce que nous avons appelé le périmètre de concertation, c'est-à-dire l'ensemble des acteurs qui pourraient être parties prenantes d'une démarche, et donc les acteurs-cibles pertinents pour l'initiation de celle-ci. Nous avons vu que la présence au cœur du système-territoire est un facteur essentiel de cette légitimité, mais que des acteurs distants du périmètre ou n'ayant pas d'activité sur celui-ci peuvent également être légitimes. La centralité globale des acteurs représente un indicateur de leur influence et donc, dans une certaine mesure, de leur pouvoir au sein d'une symbiose territoriale. La distinction entre légitimité et pouvoir renvoie à deux aspects de la concertation susceptibles de s'opposer. Il existe premièrement une approche **stratégique** de la concertation qui peut être rapprochée de l'analyse stratégique de la gestion environnementale (Mermet *et al.*, 2005). Celle-ci consiste, pour un acteur initiateur, à focaliser son attention sur les acteurs dominants, du fait de leur capacité à représenter de forts atouts s'ils se joignent au processus de concertation, ou au contraire de gros risques de blocage s'ils s'y opposent. Cette approche consiste, de fait, à mobiliser en priorité les acteurs-clés dans un cercle de concertation restreint, afin de d'entraîner les acteurs soumis à leur influence. Son désavantage est d'orienter très tôt la concertation vers l'intérêt des acteurs dominants, qui pourrait être remis en cause par d'autres acteurs légitimes. La seconde approche de la concertation, que l'on pourrait nommer **inclusive**, en référence au cadre de l'innovation inclusive (Hoffecker, 2021), consiste plutôt à intégrer, dès le début, l'ensemble des acteurs-cibles pertinents, afin que les questions qui sont discutées au cours du processus soient représentatives de la volonté générale de ces acteurs (Trébuil *et al.*, 2018). Cette analyse ne permet pas de trancher entre les deux approches, mais fournit des outils pour

se saisir de l'une comme de l'autre. La répartition des acteurs du SGPRO selon ces deux dimensions est alors donnée par la Figure 68. Elle montre que la plupart des acteurs-clés du SGPRO sont également légitimes, et constitueraient ainsi l'ensemble privilégié d'acteurs à mobiliser dans une approche stratégique. Elle montre également qu'il existe un nombre important d'acteurs légitimes mais disposant de peu d'influence, ce qui implique une difficulté opérationnelle de la démarche. Pour lever ces difficultés, Queste et Wassenaar proposent une conduite de concertation qui se déroule en arènes distinctes, c'est-à-dire des espaces de concertation au sein desquelles les acteurs qui échangent entre eux partagent des normes et des codes communs (Questo et Wassenaar, 2019). La conduite d'une démarche telle qu'ils la proposent implique donc que tous les acteurs ne font pas partie de toutes les arènes : elle se déroule en plusieurs moments distincts, avec des groupes d'acteurs distincts. L'analyse de réseaux sociaux montre qu'il existe effectivement de tels sous-groupes, plus cohérents, notamment un système d'influence et un système d'interactions physiques qui fonctionnent de manière relativement indépendante. Ces deux sous-systèmes dessinent respectivement les contours d'une arène institutionnelle et d'une arène technique, proposées par les auteurs. Les contours de l'arène scientifique, dont ils montrent également l'importance, ne ressortent en revanche pas clairement de cette étude. Dans une symbiose territoriale entreprise de manière inclusive, un des enjeux de l'acteur initiateur scientifique est donc d'identifier et d'institutionnaliser une telle arène, pour établir un lien entre les enjeux techniques et les enjeux politiques de la symbiose territoriale.

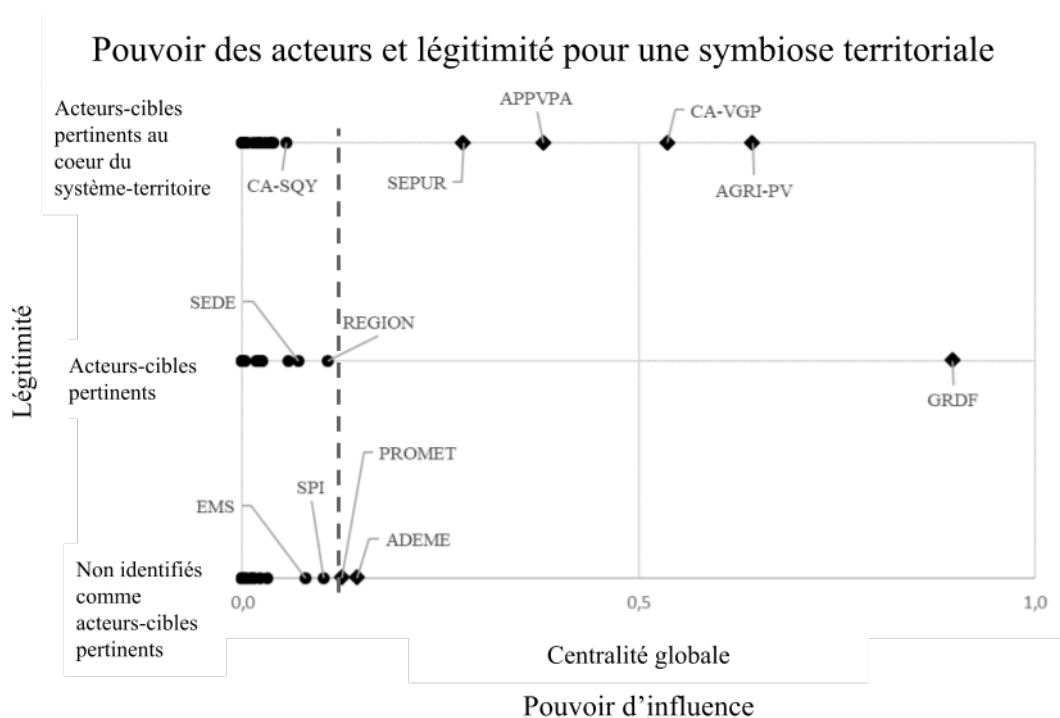


Figure 68 : Représentation du pouvoir et de la légitimité des acteurs. La ligne verticale en pointillés représente le seuil de coupure pour définir les acteurs-clés.

Les agriculteurs : un rôle clé... à condition de représenter un collectif !

Afin de conclure sur cette partie, revenons sur un point de discussion qui a été évoqué dans le Chapitre 5. Dans celui-ci, au vu du rôle souvent périphérique de l'agriculture dans les symbioses industrielles, nous indiquions qu'un des problèmes clés à lever était le moyen d'impliquer le monde agricole en tant qu'acteur pivot d'une démarche, compte tenu des

spécificités de cette activité (décentralisée, sur de larges espaces). Dans l'analyse de réseaux sociaux, il apparaît effectivement que les agriculteurs, vus comme un acteur générique - c'est-à-dire comme un collectif homogène- sont un des acteurs les plus centraux du SGPRO. Ils sont par exemple acteurs-clés de tous les sous-réseaux auxquels ils appartiennent. Néanmoins, cette agrégation ne permet pas de comprendre la logique de cohésion interne de ce groupe d'acteurs, ni à quel point il peut effectivement se comporter comme un acteur monolithique. Elle ne permet pas non plus de représenter la diversité des pratiques et des activités au sein de cette profession. Le pouvoir observé de cette catégorie d'acteurs révèle qu'une concertation a très peu de chances d'aboutir si les agriculteurs n'y participent pas (encore une fois, en tant que collectif). Néanmoins, il semble difficile de mobiliser individuellement l'intégralité des agriculteurs du système-territoire, et peu probable que l'ensemble de ces acteurs ait une position convergente. L'existence d'un acteur fédérateur et animateur tel que l'APPVPA offre la perspective de représenter les utilisateurs de PRO, cet acteur étant par ailleurs bien inséré dans le système d'influence. La préoccupation principale de cet acteur n'est cependant pas la gestion des PRO, et il semble peu probable qu'il devienne moteur à ce sujet. Un autre acteur fédérateur, disposant de plus d'un pouvoir formel de régulation, est la chambre d'agriculture, qui pourrait avoir une posture motrice dans ce type de démarche. Il apparaît cependant que cet acteur n'est pas un acteur clé du SGPRO, ni même du système d'influence au sein duquel il agit. Il en va d'ailleurs de même pour la CCI, qui est également un acteur pouvant être moteur sur l'animation de démarches liées à l'économie circulaire, comme les démarches d'EIT. L'analyse de réseaux sociaux suggère qu'une concertation, si elle était entreprise en l'état par l'un de ces acteurs animateurs, pour qui ce serait pourtant une action légitime, risquerait de ne pas atteindre l'intégralité du groupe des acteurs-cibles pertinents. L'initiation d'une concertation par un acteur de la recherche risquerait d'ailleurs de se confronter au même type de problématique. Etant donné qu'aucun acteur n'a une posture idéale pour un tel projet, une approche plus stratégique pourrait consister à formuler une promesse plausible adressée à nombre restreint d'acteurs-clés du SGPRO, pour maximiser les chances de mobiliser tous les acteurs légitimes, et notamment le monde agricole. Comme nous l'avons montré dans le Chapitre 6, la constitution d'un tel groupe de contrôle qui s'étend ensuite progressivement est une pratique courante des démarches d'EIT. Pour évaluer les promesses plausibles dans le cadre de cette étude (Chapitre 10), une telle approche stratégique ne sera pas envisagée. Afin de comprendre les mécanismes d'engagement de la diversité d'acteurs qui serait mobilisée dans la symbiose territoriale (par la promesse plausible initiale ou non), il est en effet nécessaire de rencontrer un ensemble représentatif de cette diversité.

Chapitre 9. Elaboration du contenu technique de promesses plausibles sur la plaine de Versailles

Le diagnostic établi dans le Chapitre 8 montre que les nutriments contenus dans les PRO sont potentiellement suffisants pour pourvoir au besoin en intrants des systèmes agricoles du système-territoire. Ce constat descriptif du SGPRO actuel correspond au scénario à court terme S1 (cf. Chapitre 7), qui peut à lui seul constituer le contenu technique d'une promesse plausible. Dans la stratégie de recherche visant à comparer différentes promesses entre elles, il est nécessaire d'élaborer des contenus techniques plus prescriptifs s'engageant sur les évolutions possibles du SGPRO. Ce chapitre a pour objectif, en accord avec l'objectif (B), de concevoir un contenu technique pour les scénarios à moyen et long terme, respectivement S2 et S3. Il est pour cela nécessaire, en se basant sur ces données, de conceptualiser, de modéliser et d'évaluer la modification de l'affectation des PRO vers de nouvelles filières de traitement et vers de nouveaux moyens de valorisation, notamment agricoles. Ces scénarios ne correspondent pas à un objectif exact à atteindre, mais plutôt à des exemples spécifiques de ce qu'il serait possible de réaliser au cours d'une symbiose industrielle. La méthodologie générale incluant la conceptualisation, la modélisation et l'évaluation de tels scénarios est présentée dans la section 9.1, en introduisant notamment un formalisme de représentation « affectation-transformation ». La section 9.2 présente les principes technologiques retenus pour les scénarios, ainsi que les indicateurs d'évaluation obtenus par la modélisation. La section 9.3 met ces résultats en perspective de l'objectif de circularité des symbioses territoriales, et apporte des réflexions sur les défis résultants pour les symbioses territoriales basées sur de telles promesses.

9.1. Méthodologie de conceptualisation, modélisation et évaluation de symbioses territoriales par un formalisme affectation-transformation.

Objectifs de la modélisation pour la formulation de promesses plausibles

L'objectif principal de ce chapitre est d'alimenter les promesses plausibles qui seront formulées aux acteurs du système-territoire avec un contenu technique établi de manière rigoureuse sur des perspectives d'évolution du SGPRO. Conformément à la stratégie développée au Chapitre 7, ces promesses plausibles comprendront plusieurs niveaux de détail, dont un niveau très développé. Pour obtenir des indications sur un tel niveau, il est donc nécessaire de modéliser ces évolutions, afin de quantifier leurs conséquences sur la base de données et de connaissances. L'exercice de modélisation et d'évaluation nécessite également de faire de nombreux choix et hypothèses fortes quant à l'évolution du SGPRO. Cet ensemble de choix techniques prédéfinis n'a cependant pas pour vocation à s'imposer comme un objectif impératif lors de la symbiose territoriale proposée aux acteurs-cibles, qui reste basée sur la co-construction. Les scénarios ainsi conçus doivent donc être pensés comme des **exemples quantifiés de ce qu'il serait possible de réaliser**. En ligne avec les ambitions d'une promesse plausible, ils constituent **un projet technique inabouti, largement perfectible par les acteurs-cibles**. Cet exercice requiert une représentation systémique du SGPRO, sans pour autant prétendre à une extrême *précision*. Il nécessite en revanche que les résultats aient une bonne *justesse*, c'est-à-dire qu'ils représentent une estimation réaliste du potentiel. Les données quantifiées chercheront à s'exprimer sur des ordres de grandeur étayés, de manière à contraster les différents contenus techniques. L'élaboration du contenu technique requiert trois phases successives représentées sur la Figure 69 : (1) la conceptualisation de scénarios prenant en compte les objectifs de recherche (9.1.1), (2) la modélisation de ces scénarios permettant de quantifier les évolutions du SGPRO (9.1.2) et (3) l'évaluation de ces modifications de manière à pouvoir les comparer entre eux (9.1.3). Ces résultats permettront *in fine* aux scénarios de s'intégrer dans les promesses plausibles qui seront formulées aux acteurs du système-territoire.

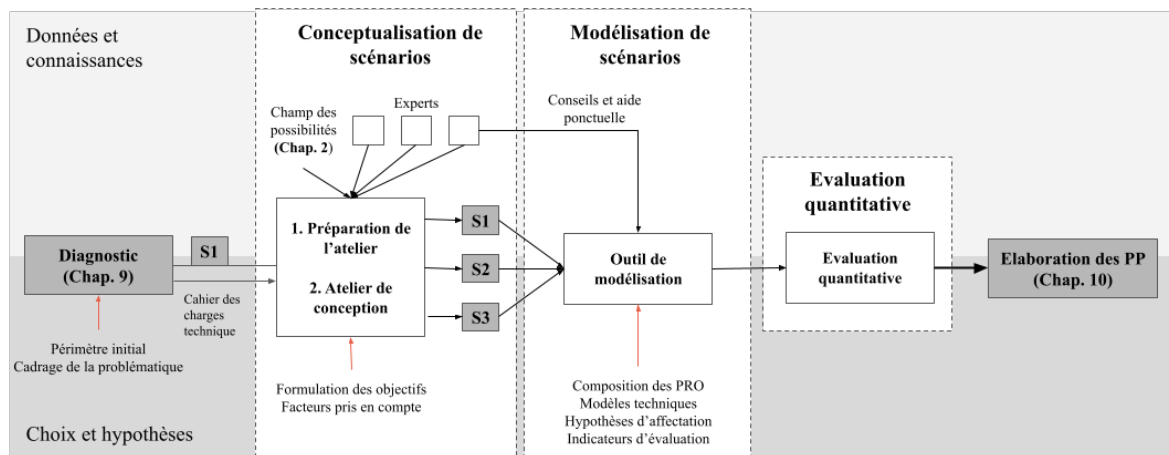


Figure 69 : Du diagnostic au scénario : élaboration de contenu technique pour alimenter la formulation de promesses plausibles.

9.1.1. Méthodologie de conceptualisation de scénarios par la conduite d'un atelier pluridisciplinaire

Présentation générale de la phase de conceptualisation

La première étape de l'élaboration du contenu technique consiste à conceptualiser des scénarios d'évolution du SGPRO qui pourraient être mis en œuvre dans une symbiose territoriale. L'objectif de la phase de conceptualisation est de déterminer les lignes directrices et les grands principes de ces scénarios (Petit et al., 2019). Cela consiste à réduire l'ensemble du **champ des possibles**, c'est-à-dire l'ensemble des moyens de traitements des PRO existants (cf. Chapitre 2 et annexe A-2), à un ensemble de possibilités pertinentes pour le système-territoire et la problématique étudiés. Dans le cas présent, les objectifs des scénarios sont de deux natures :

- (1) D'une part, ils visent à **améliorer le recyclage des PRO**, en répondant à un « **cahier des charges** » technique identifié par le diagnostic, présenté à la section 8.1.3.
- (2) D'autre part, ils doivent répondre au **besoin expérimental** de comparer des promesses plausibles mobilisant deux scénarios d'évolution contrastés par rapport à la situation initiale (voir section 7.2.3).

Conceptualiser de tels scénarios nécessite de passer d'une posture descriptive à une posture prescriptive, et donc de faire des choix importants et structurants. Afin d'augmenter la robustesse de ces choix, cette étape a été réalisée de manière pluri-experte. Pour cela, les scénarios ont été établis au moyen d'un atelier de conceptualisation en intelligence collective réunissant au sein d'un même groupe de réflexion des personnes d'expertises variées. Il a mobilisé un ensemble de chercheurs de Veolia Recherche et Innovation dans les différents domaines concernés : procédés biologiques, procédés thermiques, procédés en voie liquide, agronomie, analyse environnementale, sociologie. La conceptualisation des scénarios s'est déroulée en trois étapes principales, toutes effectuées en lien avec les experts de Veolia : (1) une phase préparatoire fixant le cadre de l'atelier et des éléments permettant d'alimenter les réflexions lors de celui-ci, (2) l'atelier à proprement parler, dont les résultats ont abouti à un ensemble de recommandations techniques pour les scénarios et (3) un travail de finalisation, postérieur à l'atelier, visant à arrêter des choix techniques spécifiques en fonction de ces recommandations et à aboutir aux scénarios S2 et S3 finaux. La phase la plus importante est celle de préparation, de manière à cadrer les échanges lors de l'atelier, et des objectifs de conceptualisation atteignables dans un temps en commun limité. Cette phase a été accompagnée, de manière bilatérale, par les experts sollicités pour l'atelier. Elle s'est focalisée sur deux éléments : l'explicitation des objectifs et du cadre de l'atelier de conceptualisation, ainsi que la pré-identification d'un ensemble de solutions technologiques afin d'alimenter les échanges.

Objectifs de conceptualisation

En cohérence avec la stratégie de recherche présentée au Chapitre 7, l'objectif de la phase de conceptualisation est d'élaborer deux scénarios contrastés par rapport à la situation actuelle. Un **scénario** correspond à l'introduction de modifications dans le SGPRO actuel, impliquant possiblement la modification ou l'ajout d'une ou plusieurs filières de traitement, la

modification de l'affectation des PRO dans ces filières, les répercussions que cela entraîne en aval de la transformation (nouveaux flux, diminution des anciens flux, voies de valorisation...) et enfin les nouvelles voies de valorisation agricoles. Ces éléments ont été présentés au cours de l'atelier par les illustrations de la Figure 70.

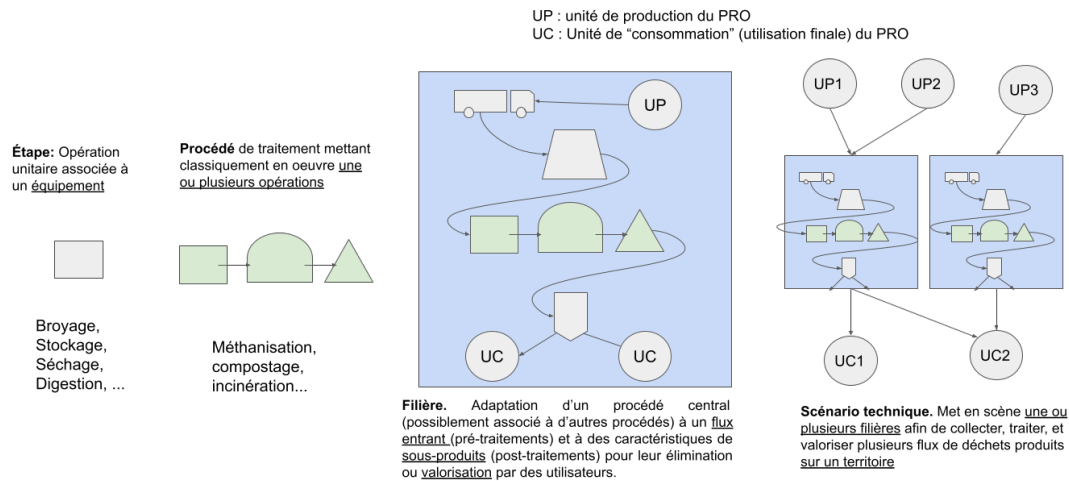


Figure 70 : Diagramme synoptique utilisé pendant l'atelier pour définir les différents éléments composant un scénario.

Dans la stratégie de recherche présentée au Chapitre 7 (voir section 7.2.3, Tableau 17), les grandes orientations des scénarios ont été déterminées. Le scénario **S2** devra répondre à une logique de moyen terme, basée sur un schéma de ressources métaboliques et visant plutôt à optimiser le SGPRO existant. Le scénario **S3** devra répondre à une logique de long terme basée sur un schéma de bioraffinerie métabolique et impliquera une modification plus profonde du SGPRO. Dans le cadrage de l'atelier, ces principes ont été traduits en objectifs de conceptualisation de scénarios de la manière suivante :

S2 - Objectif Zéro Gaspi : L'objectif à atteindre est de valoriser d'une manière ou d'une autre (matière, énergie...) un maximum de résidus organiques aujourd'hui non valorisés sur le territoire (incinérés, stockés ou exportés). La valorisation agricole est une des voies de valorisation parmi d'autres sans être privilégiée. Cet objectif vise une valorisation à court ou moyen terme, en s'appuyant sur des technologies disponibles.

S3 - Objectif Agri Max : L'objectif à atteindre est la maximisation de la substitution d'intrants en agriculture par des PRO dans une vision assez prospective, en suivant un cahier des charges techniques. Cela nécessite notamment une forte concentration de l'azote et probablement des technologies innovantes. Il est envisageable de mobiliser des gisements externes au territoire (ex : déchets de Paris).

Pré-identification de facteurs de choix

Afin que le contenu technique des promesses plausibles soit le plus pertinent possible, il est nécessaire de **maximiser leur réalisme**, ce qui requiert d'introduire de nouveaux critères. Plus que de critères, il convient de parler de **facteurs de sélection**, pour souligner le fait qu'aucun n'est indispensable à proprement parler dans la conceptualisation du scénario.

Insistons sur la différence entre cette approche et l'analyse multicritère¹⁴¹ (Greco *et al.*, 2016). Les facteurs de sélection sont, dans ce cadre, simplement utilisés comme des guides de conceptualisation. En cohérence avec les facteurs d'influence identifiés au Chapitre 8 – section 8.2 –, les facteurs retenus dans l'élaboration des scénarios sont les suivants :

Les **leviers identifiés par le diagnostic comme un « cahier des charges »** de la symbiose territoriale (cf. section 8.1.3), qui correspondent au fait que le PRO transformé **permette la substitution** d'un produit, qu'il soit sous une forme **facilement manipulable**, que le **risque de pollution soit limité** et qu'il soit **facile à incorporer dans les pratiques agricoles**¹⁴².

Environnemental : L'objectif de substitution n'est pas le seul critère environnemental sur lequel il est possible de juger les scénarios. Il est possible notamment de s'inspirer des critères existants en ACV (changement climatique, toxicité, épuisement des ressources...). Les facteurs environnementaux retenus pour l'analyse préliminaire se déclinent en facteurs liés aux émissions de gaz à effets de serre, à la pollution des milieux naturels et à la consommation de ressources. Les facteurs liés à **l'émission de gaz à effet de serre** incluent les émissions liées à la **collecte** des PRO, au **procédé** utilisé – **énergie** et **hors énergie**, sans tenir compte des émissions de CO₂ biogénique – à **l'utilisation ou l'élimination** du produit, ainsi que ceux évités du fait du la **substitution de produit** et du **stockage de carbone** dans le sol. Les facteurs liés à la pollution concernent la pollution de l'air, la pollution de l'eau, la pollution des sols. Les facteurs liés à la consommation de ressources incluent la consommation **d'eau potable**, la consommation de **réactifs**, la production **d'énergie renouvelable** et la production de **déchets finaux**.

Économique : Le coût des alternatives proposées et leur capacité à s'autofinancer sont des variables déterminantes dans la possibilité de mise en œuvre des scénarios et doivent donc être estimés. Les facteurs économiques retenus sont le coût de la filière en **investissement (Capex)** et en **exploitation (Opex)**, ainsi que le **revenu possible à obtenir des sous-produits**.

Réglementaire : Le volet réglementaire intègre à la fois les contraintes législatives actuelles (normes de rejet), les orientations réglementaires nationales (économie circulaire, bioéconomie...) et régionales (PRPGD). Les facteurs réglementaires retenus sont la **cohérence avec ces réglementations**, ainsi que la possibilité pour les solutions envisagées de bénéficier de **dispositifs de soutien institutionnel** (appel à projet, tarifs de rachat, subventions, ...).

Social : L'acceptabilité sociale et politique est une dimension que la concertation a vocation à assurer. Il est cependant possible d'estimer en amont les impacts sociaux des nouvelles technologies envisagées. Les facteurs retenus concernant cet aspect sont **l'acceptabilité du procédé** et **l'acceptabilité du produit**.

Technologique : La technologie doit être suffisamment éprouvée pour être crédible dans un scénario territorial, en particulier dans le scénario moyen terme. Par ailleurs, il est

¹⁴¹ Celle-ci n'a pas été retenue car elle nécessite une formalisation trop avancée des critères et une attribution des poids qui serait arbitraire dans la conception d'une promesse plausible (voir Chapitre 2).

¹⁴² La section 8.1.3 présente un élément supplémentaire à ce cahier des charges, la réduction de la pression sociale sur le monde agricole. Cet aspect, plus lié aux facteurs sociaux que techniques, a été écarté des objectifs de conception centrés sur les évolutions techniques.

important de prendre en compte les contraintes et limites techniques associées à chaque procédé envisagé. Les facteurs techniques retenus sont la **maturité technologique** et la **compacité du procédé**.

En vue de conceptualiser les scénarios de gestion alternatifs, certaines filières ont pu être identifiées comme potentiellement intéressantes à la suite du cahier des charges établi à la section 8.1.3. Afin d'éclairer les débats sur le choix entre ces différentes filières au cours de l'atelier – tout en laissant la possibilité d'en inclure de nouvelles – une analyse qualitative des différents facteurs de plausibilité listés ci-dessus a été effectuée au travers de bibliographie générale et d'échange bilatéraux avec les experts de Veolia. La description obtenue en préparation de l'atelier est représentée dans les Tableau 59 et Tableau 60, en annexe C-3.1.

Déroulement de l'atelier et finalisation des scénarios

L'atelier a été conduit et animé par une personne de Veolia formée aux techniques d'intelligence collective, et a réuni sept experts parmi ceux impliqués dans la conceptualisation des scénarios. Au cours de cet atelier j'ai adopté un rôle d'observation, de co-animation, et de prise de notes, afin de laisser toute la place aux experts pour s'exprimer. Dans un premier temps, une rapide présentation de la thèse et de la situation de départ sur le territoire d'étude a été faite. Puis les participants se sont divisés en deux groupes afin de travailler de manière collaborative sur deux scénarios différents. Plusieurs changements de table ont eu lieu afin de faire bénéficier à chaque scénario du regard de chacun. La construction des scénarios était fixée par les objectifs définis lors de la phase préparatoire. Pour accompagner les discussions, des "fiches mémo" ont été proposées aux participants afin de leur permettre de pouvoir rapidement identifier les informations techniques pertinentes. Ces éléments, ainsi que le déroulé exact de l'atelier sont présentés en Annexe C-3.1. Suite à celui-ci, les scénarios ont été retravaillés et finalisés, à nouveau de manière bilatérale avec les experts. Cette étape a conduit à préciser les opérations techniques précises qu'ils font intervenir, pour rendre possible l'analyse quantitative dans la phase de modélisation.

9.1.2. Méthodologie de modélisation par un couplage affectation-transformation

Les principes généraux identifiés par la phase de conceptualisation de scénarios ont été traduits et formalisés au travers d'un outil de modélisation créé pour l'occasion, qui permet de les évaluer et de les comparer sur des aspects quantitatifs. Le premier objectif de cet outil est de déterminer la quantité et les caractéristiques des matières qui circulent au sein du système, représentant ainsi l'évolution du métabolisme du SGPRO liée à chaque scénario. La quantification doit donner un ordre de grandeur réaliste de ces flux, en assemblant des étapes de transformation – faisant parfois intervenir des procédés innovants – et des étapes de valorisation agricole. La représentation détaillée des flux pourra ainsi constituer une base sur laquelle construire des indicateurs d'évaluation. Nous avons vu au Chapitre 2 que les outils de modélisation et d'évaluation existants pour représenter le SGPRO étaient d'une complexité qui dépassent les besoins de la thèse pour la conception d'une promesse plausible, qui nécessite de se focaliser sur la justesse plus que sur la précision. Un enjeu de ce chapitre est donc de trouver un système de représentation suffisamment simple et souple pour intégrer les diverses évolutions techniques envisagées, mais suffisamment élaboré pour produire des résultats techniquement fiables. L'outil élaboré au cours de la thèse pour répondre à ces objectifs repose

sur un couplage entre des **modèles de transformation**, évaluant la quantité et les caractéristiques physiques des PRO en sortie des procédés de traitement en fonction de celles des PRO en entrée, et des **hypothèses d'affectation** des PRO dans les différentes voies possibles. Notons que, si le métabolisme de S1 a déjà été étudié au Chapitre 8, il est indispensable de répéter ici cet exercice avec le formalisme et les hypothèses du modèle, afin de constituer une base de comparaison pertinente pour les scénarios prospectifs S2 et S3 modélisés avec le même formalisme. Les principes de modélisation sont présentés de manière synthétique ci-après, complétés par des annexes présentant en détail les calculs, données et hypothèses utilisées.

Principes généraux du modèle affectation-transformation

La représentation conceptuelle générique du SGPRO par ce formalisme affectation-transformation est donnée par la Figure 71.

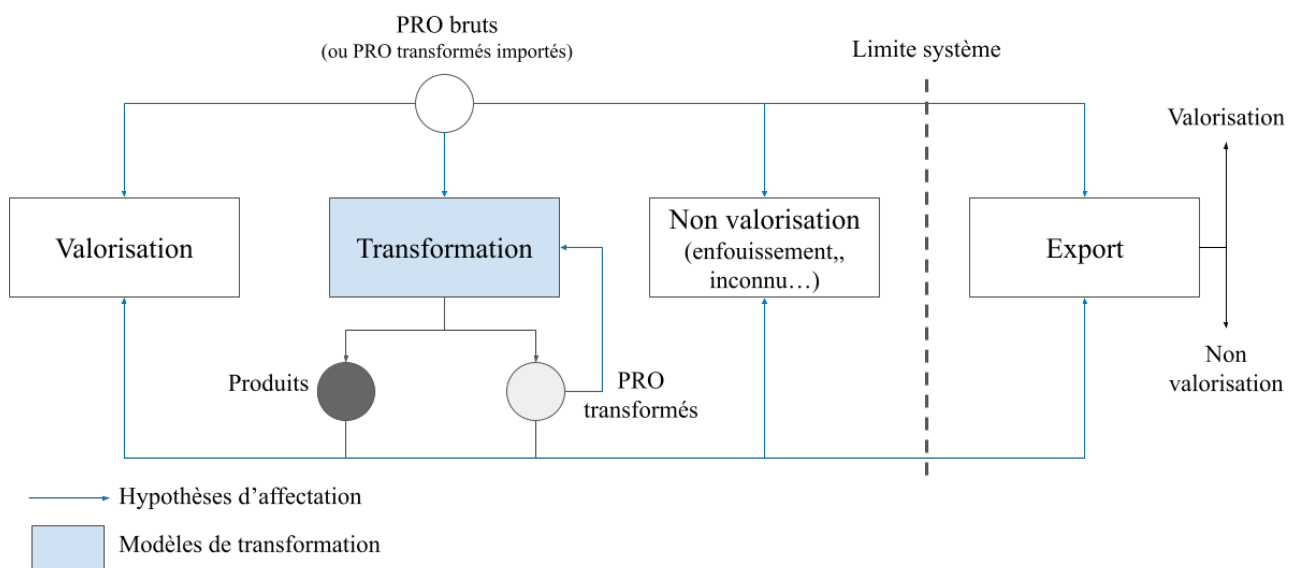


Figure 71 : Représentation conceptuelle générique d'un modèle affectation-transformation utilisé pour modéliser la symbiose territoriale.

L'analyse de la symbiose territoriale nécessite d'adopter une pensée en cycle de vie, c'est-à-dire intégrant l'intégralité des étapes subies par les PRO de leur production à leur utilisation finale. Le système étudié est délimité en amont par la **production ou l'import de PRO au sein du système-territoire**. Il peut donc s'agir d'un PRO brut produit directement par un acteur du territoire, ou d'un PRO transformé importé mais géré actuellement sur le territoire. Ces PRO peuvent subir plusieurs modalités de gestion, représentées par des **voies d'affectation** possibles. La première étape du modèle est donc de déterminer l'affectation quantitative de chaque PRO dans chacune des filières existantes ou envisagées dans des scénarios. Le modèle représente ensuite le devenir des PRO dans chacune des voies auxquelles ils sont affectés. Certaines de ces voies correspondent à des **étapes de transformation** au cours desquelles les propriétés des PRO vont être modifiées. Les nouveaux PRO (ou autres produits) obtenus suite à cette transformation sont alors soumis à de nouvelles hypothèses d'affectation, éventuellement vers de nouvelles étapes de transformation. Les PRO qui ne sont pas transformés sont affectés à des voies de valorisation, ou à des voies de non-valorisation, à l'intérieur ou à l'extérieur du système. En ce qui concerne la valorisation en agriculture en

particulier¹⁴³, la totalité de la matière retournant au sol n'est pas effectivement valorisée par les cultures (cf Chapitre 2 et section 8.1.1). Le modèle en tient compte en introduisant un **modèle agronomique**. La limite aval du système correspond à la dernière action de gestion entreprise sur le territoire, et aux conséquences de cette action en termes de valorisation.

PRO considérés dans le système-territoire

Le travail de diagnostic effectué au Chapitre 8 permet d'identifier et de définir l'ensemble des PRO qui font partie de la réflexion relative à la symbiose territoriale. L'inventaire initial utilisé pour représenter la situation est présenté dans le Tableau 29. Les quantités utilisées ici sont approximatives, et il serait inadapté de chercher davantage de précision. Ces approximations sont également une conséquence de l'idée de système-territoire, qui implique que tracer des frontières exactes n'a que peu de sens. Par ailleurs, une partie des PRO transformés importés recensés dans le Chapitre 8 n'a pas été intégrée dans cet inventaire, car ceux-ci n'entrent pas dans les scénarios d'évolution du SGPRO. Enfin, les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont considérées comme étant les PRO bruts du système d'assainissement. Cela implique que la quantité de boues de STEP n'est pas une donnée d'entrée, mais un flux de PRO transformé calculé en conséquence de la quantité d'ERU envoyée en STEP. Ce choix permet de représenter dans les scénarios les possibilités de gestion alternative de ces eaux¹⁴⁴.

Tableau 29 : Inventaire des PRO entrants dans le SGPRO de la plaine de Versailles utilisé comme base pour la constitution des scénarios.

<i>PRO</i>	<i>Import (t)</i>	<i>Produit (t)</i>	<i>Total (t)</i>
<i>Déchets Verts</i>	60 000	45 000	105 000
<i>Biodéchets ménages</i>	30 000	10 000	40 000
<i>BDAE</i>	-	4 500	4 500
<i>ERU</i>	12 000 000	9 000 000	21 000 000
<i>Fumier Cheval</i>	4 000	8 000	12 000
<i>Effluents Zoo</i>	-	500	500
<i>Autres effluents animaux</i>	-	10 000	10 000

Hypothèses d'affectation

L'affectation de ces PRO aux différentes voies prévues dans le cadre des scénarios nécessite de formuler des hypothèses du fonctionnement du SGPRO dans un état d'équilibre¹⁴⁵. Elles représentent les hypothèses de modification des filières faites dans les scénarios, et se

¹⁴³ La voie de valorisation privilégiée est l'agriculture, mais le modèle générique décrit par la Figure 71 offre la possibilité d'envisager d'autres voies.

¹⁴⁴ Par ailleurs, le changement de composition des ERU en fonction du taux de collecte des urines a également été pris en compte dans le modèle.

¹⁴⁵ Ce qui correspond donc à une représentation statique, cf Chapitre 2.

traduisent par l'affectation des flux de PRO dans l'une des filières prévues par les scénarios. Elles intègrent également les hypothèses quant à la destination de ces PRO après leur transformation, notamment le taux valorisé (localement ou non) en agriculture. Ces hypothèses reposent à la fois sur des choix techniques à faire pour optimiser les procédés de transformation (recettes d'intrants, par exemple), mais également sur des suppositions quant à l'évolution de la possibilité de mobiliser certains PRO dans certaines voies (par exemple, détermination d'un taux de valorisation des composts en agriculture, estimation d'un taux de collecte des biodéchets, estimation du flux de boues de STEP exporté...). La représentation du SGPRO actuel (scénario S1) fait également intervenir de telles hypothèses d'affectation, car toutes les modalités de fonctionnement de ce système ne sont pas connues. La traduction des scénarios S1, S2 et S3 en hypothèses d'affectation est présentée en Annexe C-3.3.

Détermination des caractéristiques des PRO par des modèles de transformation

Pour estimer l'intérêt des scénarios en termes de circularité et notamment la qualité de la valorisation agronomique des PRO, il est nécessaire de connaître leur composition. A ces fins, ils sont caractérisés par (1) leur quantité en matière brute (MB), (2) leur taux de matière sèche (MS) ; (3) leur taux de matière organique (MO) et (4) leur taux de carbone (C), d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K)¹⁴⁶. Ces caractéristiques peuvent être déterminées par la littérature générique concernant les PRO, qui inclut généralement toutes les propriétés étudiées (Avadí *et al.*, 2020 ; Benoît *et al.*, 2014a). Il existe également des données spécifiques aux PRO du territoire, permettant d'améliorer la précision des caractéristiques utilisées¹⁴⁷ (Dhaouadi, 2014). Si ces données peuvent être utilisées en première approche, comme cela a été proposé au Chapitre 8, elles ne peuvent pas être utilisées pour caractériser tous les PRO des scénarios. D'une part, des incohérences sont parfois observées en termes de conservation des éléments chimiques lors de bilans de masse lorsque les données de la littérature sont utilisées à la fois pour les PRO entrant et les PRO sortant d'un procédé de transformation¹⁴⁸. D'autre part, ces valeurs sont génériques, et ne sont pas adaptées pour estimer le changement de composition des PRO en sortie des procédés en fonction des PRO acceptés en entrée. Les modèles de transformation sont utilisés dans ces situations où les données de la littérature ne sont pas utilisables. Le désavantage de cette méthode est que les caractéristiques « théoriques » des PRO transformés ainsi calculées peuvent largement différer des plages de valeurs observées dans la littérature. Pour chaque PRO, il faut ainsi faire le choix d'une méthode de caractérisation – une hypothèse technique. Dans cette thèse, nous avons privilégié la conservation de ces éléments

¹⁴⁶ Notons que ce modèle n'inclut donc pas de caractéristiques correspondant à des flux de polluants potentiellement présents dans les PRO.

¹⁴⁷ Notons tout de même qu'il faut ici veiller à s'assurer que les modes de gestion des PRO du territoire n'aient pas fondamentalement changé depuis la réalisation des études ayant mesuré ces caractéristiques. Le SGPRO est en effet très variable, et un changement de procédé, d'intrants, de mode de collecte peuvent par exemple changer les propriétés des PRO de manière importante.

¹⁴⁸ On observe de telles incohérences, par exemple, si l'on regarde les taux d'abattement (cf. infra) entre les déchets verts entrants, caractérisés par des données génériques, et le compost de déchets verts sortant, caractérisé par des données spécifiques au territoire. Ces deux caractéristiques de la littérature ont été établies indépendamment, et n'ont de fait pas été conçues pour être cohérentes entre elles.

par rapport à la cohérence des caractéristiques des PRO transformés avec la littérature¹⁴⁹. Le Tableau 30 synthétise ces différentes méthodes de caractérisation, et les principes des choix effectués dans le modèle. L'inventaire complet des PRO bruts et transformés, leurs caractéristiques et les hypothèses techniques utilisées pour les déterminer sont présentées dans le Tableau 62 en Annexe C-3.3.

Tableau 30 : Méthode d'estimation des propriétés des PRO et principes des choix effectués dans l'étude

	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>	<i>Choix effectué</i>
<i>Littérature générique</i>	Souvent accessible pour une large gamme de matières.	Plages de valeurs parfois large. Inadapté pour la modélisation des PRO transformés.	Utilisation pour les PRO bruts lorsque des données locales ne sont pas disponibles.
<i>Littérature spécifique au territoire</i>	Caractéristiques au plus près des valeurs réelles.	Inadapté pour la modélisation des PRO transformés. Bilan de matière entrée-sortie parfois incohérent.	Utilisation par défaut pour les PRO bruts.
<i>Modèle de transformation</i>	Cohérence sur la conservation des éléments entre l'entrée et la sortie d'une étape de transformation.	Limité par le réalisme des modèles. Valeurs parfois incohérentes avec la littérature.	Utilisation par défaut pour les PRO transformés.

Principes de calcul des modèles de transformation

Comme précisé dans le Chapitre 2, les modèles de transformation les plus aboutis n'ont pas été utilisés dans l'outil de simulation. Ceux-ci exigent de connaître certaines des caractéristiques précises des PRO qui ne sont pas disponibles pour toutes les matières. Les modèles utilisés dans cette thèse se basent essentiellement sur des **principes de conservation de matière** et d'application de **taux de réduction**, représentés schématiquement par la Figure 72. Le modèle de transformation vise à déterminer pour chaque caractéristique X le taux d'abattement massique ΔM tel que

$$\Delta M(X) = \frac{M(X)_{in} - M(X)_{out}}{M(X)_{in}}$$

En entrée des procédés de transformation, les flux de MB des PRO sont connus (par les hypothèses d'affectation), ainsi que leurs caractéristiques. En connaissant la composition massique $C(X)$ en élément X, le flux en valeur absolue de cet élément en entrée de procédé $M(X)_{in}$ correspond donc à :

$$M(X)_{in} = C(X)_{in} MB_{in}$$

¹⁴⁹ En ce qui concerne les PRO transformés, un des objectifs principaux du modèle est d'estimer le bouclage des cycles des nutriments. Il est dans ce cas essentiel de maîtriser la cohérence des flux d'éléments chimiques au sein des modèles de transformation, pour comprendre à quels endroits se situent les pertes. C'est pour cela que la conservation des éléments a été priorisée dans les étapes de transformation.

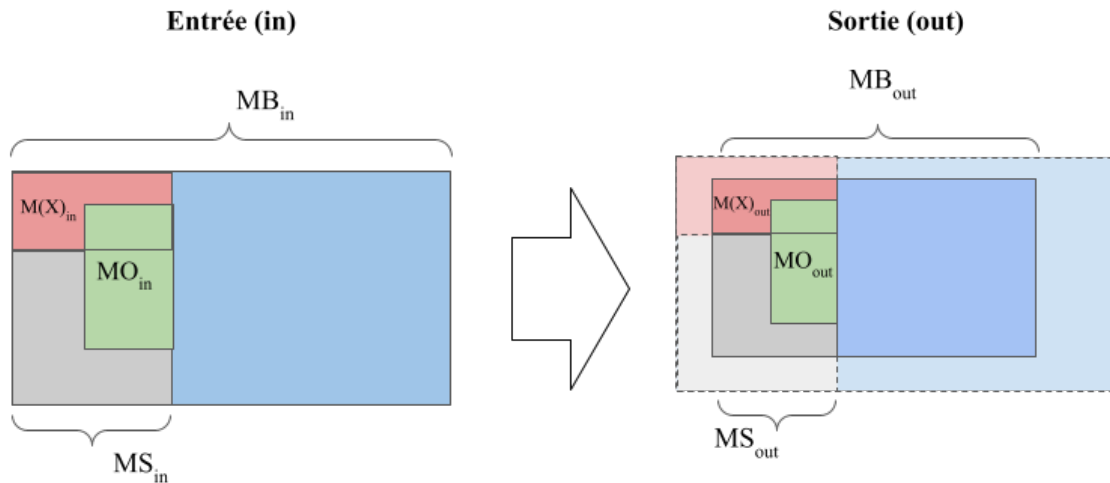


Figure 72 : Illustration du principe d'un modèle de transformation. X correspond aux différents éléments chimiques C, N, P et K.

Lorsque l'entrée d'un procédé est un mélange, les caractéristiques du PRO entrant sont recalculées simplement par la formule :

$$M(X)_{in,mélange} = \sum M(X)_{in}$$

Il y a ensuite deux configurations possibles : soit le taux de réduction $\Delta M(X)$ est connu – ou issu d'une hypothèse –, soit c'est la teneur en élément en sortie de procédé $C(X)_{out}$ ou $M(X)_{out}$ qui est connue – ou issue d'une hypothèse. Il est donc nécessaire, pour chaque procédé et chaque paramètre, de définir le taux d'abattement le plus pertinent. Selon les données disponibles et les inconnues, plusieurs méthodes permettent de déterminer ou d'estimer ces taux. De manière générale, ces modèles peuvent être basés sur (1) La connaissance de données en amont et en aval des procédés, (2) des mécanismes physiques connus, (3) des hypothèses arbitraires, ou (4) une combinaison de ces différentes méthodes. Des précisions concernant ces différentes méthodes, ainsi que la manière dont elles s'appliquent pour chaque procédé étudié, sont proposées respectivement en annexe C-3.5 et C-3.6.

Modèle de valorisation agronomique

Un des objectifs de la modélisation est d'observer en quoi la symbiose territoriale permet potentiellement la substitution d'engrais de synthèse. Pour cela, l'utilisation de coefficient d'équivalence Keq est particulièrement adapté, puisqu'il est un indicateur direct de la possibilité de substitution (voir Chapitre 2 et section 8.1). Ce coefficient n'est pas calculé par les modèles de transformation, mais basé sur la littérature et sur des dires d'experts. Il est principalement important pour le N, mais également implémenté pour P et K. Dans le modèle, on a donc pour chaque PRO i valorisé en agriculture :

$$M(N)_{i,eff} = M(N)_i \cdot Keq(N)_i; \quad M(P)_{i,eff} = M(P)_i \cdot Keq(P)_i; \quad M(K)_{i,eff} = M(K)_i \cdot Keq(K)_i$$

Par ailleurs, il est important que le modèle évalue la minéralisation du C, pour connaître l'augmentation du taux de matière organique dans le sol et la fourniture à long terme d'azote supplémentaire apporté naturellement par le sol (voir Chapitre 2). Pour cela, les PRO ont été associés à un coefficient d'humification h du carbone existant dans la littérature ou extrapolé à

partir de celle-ci. Les coefficients utilisés dans le modèle sont présentés en annexe C-3.7. Ces coefficients permettent d'estimer la variation du stock de carbone dans les sols. On peut donc, de la même manière que pour les autres éléments, obtenir :

$$M(C)_{i,\text{eff}} = M(C)_{i,\text{hi}}$$

Par ailleurs, ce carbone supplémentaire subit une minéralisation progressive qui libère, par la même occasion, de l'azote minéral qui est disponible pour les plantes et peut donc être comptabilisé comme azote substituant des engrais organiques¹⁵⁰. Pour ce calcul, nous avons suivi Moinard et al., 2021b, avec les détails de calculs donnés en annexe C-3.7. Cela permet de calculer un facteur de stockage annuel de carbone (C_{stock}) et un facteur de minéralisation annuel d'azote lié au stockage de carbone ($N_{C_{\text{min}}}$), proportionnels au carbone efficace stocké :

$$C_{i,\text{stock}} = 0,538.C_{i,\text{eff}}$$

$$N_{i,C_{\text{min}}} = 3,425E^{-3} C_{i,\text{eff}}$$

Le modèle de valorisation agronomique permet donc de représenter la quantité totale d'azote disponible pour les cultures se substituant à des engrais organiques, en sommant $N_{i,\text{eff}} + N_{i,C_{\text{min}}}$.

9.1.3. Méthodologie d'évaluation

L'affectation de chaque PRO brut et transformé dans différentes voies de transformation et d'utilisation permet de faire une analyse de flux de matière et de substance du SGPRO dans ces différentes voies, et ainsi de construire des indicateurs permettant la comparaison et l'évaluation des scénarios. Cette évaluation vise à servir de base informative dans le contenu technique des promesses plausibles, traduisant les flux physiques en informations supposées intéressantes pour les acteurs. En tant que problématique spatialisée et en cohérence avec les principes de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) territoriale (voir Chapitre 2), cette évaluation s'est focalisée sur les activités qui se déroulent à l'intérieur du système-territoire¹⁵¹. L'analyse de flux de substance se fait en multipliant la quantité en matière brute affectée à chaque voie par sa composition massique en éléments C, N, P et K. L'évaluation de ces flux de matières se fait en introduisant des indicateurs clés sur les performances du SGPRO en termes de circularité. Nous nous sommes pour cela appuyés sur le formalisme proposé par Harder et al. (2021) présenté au Chapitre 2, proposant de distinguer la circularité intrant et la circularité sortant, à l'intérieur et à l'extérieur du système étudié. Ces indicateurs de circularité correspondent à la capacité de ces différents scénarios à résorber la rupture métabolique, problématique d'intérêt pour l'observateur (il s'agit, pour rappel, de l'enjeu qui définit le système-territoire, cf. 7.2.1). Dans la perspective de concevoir des promesses plausibles, il convient cependant de ne pas se limiter à ces indicateurs, mais également de proposer des évaluations sur des dimensions qui sont susceptibles d'intéresser les acteurs-cibles. La modélisation effectuée donne la possibilité de se positionner sur deux types d'indicateurs : des

¹⁵⁰ Un raisonnement similaire pourrait être utilisé pour les autres nutriments P et K, mais n'a pas été réalisé, car la disponibilité de ces éléments sous forme minérale est moins critique que celle de l'azote

¹⁵¹ Comme évoqué dans la section 2.3.3 du Chapitre 2, il est également utile de considérer l'utilisation des PRO qui est faite hors du système, notamment lorsqu'il s'agit d'une valorisation directe, de manière à évaluer la circularité exportée du SGPRO.

indicateurs environnementaux (autres que la circularité) et des indicateurs économiques. Pour cela, les modèles de transformation sont complétés de manière à déduire, en fonction de la quantité de matière affectée dans les différentes voies, les répercussions en fonction des indicateurs sélectionnés.

Indicateurs de circularité et de recyclage de nutriments

L'analyse de flux de matière permet d'analyser la circularité des flux, et les pertes dans le système selon les principes méthodologiques proposés par Harder et al. (2021). Il est pour cela nécessaire de définir différents indicateurs dérivant du modèle conceptuel utilisé pour la symbiose territoriale. Les grandeurs nécessaires pour établir ces indicateurs sont représentées par la Figure 73. La **production primaire** (P_{prim}) correspond à la quantité de PRO initiaux qui doivent être gérés par le système (il s'agit de ceux rappelés dans le Tableau 29). La **transformation primaire** (T_{prim}) correspond à la quantité de PRO primaires qui sont envoyés vers une étape de transformation (et non vers l'export ou la valorisation directe en agriculture). La **transformation totale** (T_{tot}) indique la capacité de transformation du système, c'est-à-dire la quantité totale de PRO, bruts et transformés, entrant dans des procédés de transformation. La **production transformée finale** ($P_{T,final}$) correspond aux produits et PRO transformés qui ne subissent pas de nouvelles étapes de transformation sur le territoire. La **valorisation locale** (V_{terr}) correspond aux PRO bruts, transformés et aux produits utilisés localement en agriculture. La **valorisation totale** (V_{tot}) ajoute à ceux-ci les PRO valorisés en agriculture à l'extérieur du territoire. La **valorisation efficace** (V_{eff}) correspond à la fraction de la valorisation qui permet la substitution effective d'un engrais de synthèse, soit par l'application d'un coefficient d'équivalence, soit par la minéralisation d'azote liée à l'augmentation de la MO du sol (voir 2.1.3). Ces différentes valeurs peuvent, soit être évaluées en flux de matière brute, soit être distinguées par éléments chimiques C, N, P et K. Selon le formalisme de Harder et al. (2021), la circularité intrant (InC) et la circularité sortant (OutC) peuvent être déduites de ces indicateurs de la manière suivante :

$$InC = \frac{V_{eff}}{P_{prim}} ; \quad OutC = \frac{V_{tot}}{P_{prim}}$$

Au cours de leur transformation, une partie des nutriments devient inaccessible pour le recyclage, notamment du fait de fuites et de leur volatilisation¹⁵². Les flux de matière au sein du SGPRO permettent de mesurer dans chacun des scénarios ces **pertes par transformation** (ΔT) :

$$\Delta T = \frac{T_{prim} - P_{T,final}}{P_{prim}}$$

Par ailleurs, afin d'observer la nature du compromis entre valorisation matière et énergie, nous donnerons une indication sur le devenir du carbone, notamment la masse transformée en biogaz ($M(C)_{biogaz}$) et la masse stockée dans le sol ($M(C)_{stock}$) par rapport à la quantité disponible ($M(C)_{Pprim}$) :

$$C_{biogaz} = \frac{M(C)_{biogaz}}{M(C)_{Pprim}} \quad \text{et} \quad C_{sol} = \frac{C_{stock}}{M(C)_{Pprim}}$$

¹⁵² Pour rappel, voir l'ouverture du cycle de l'azote au Chapitre 1.

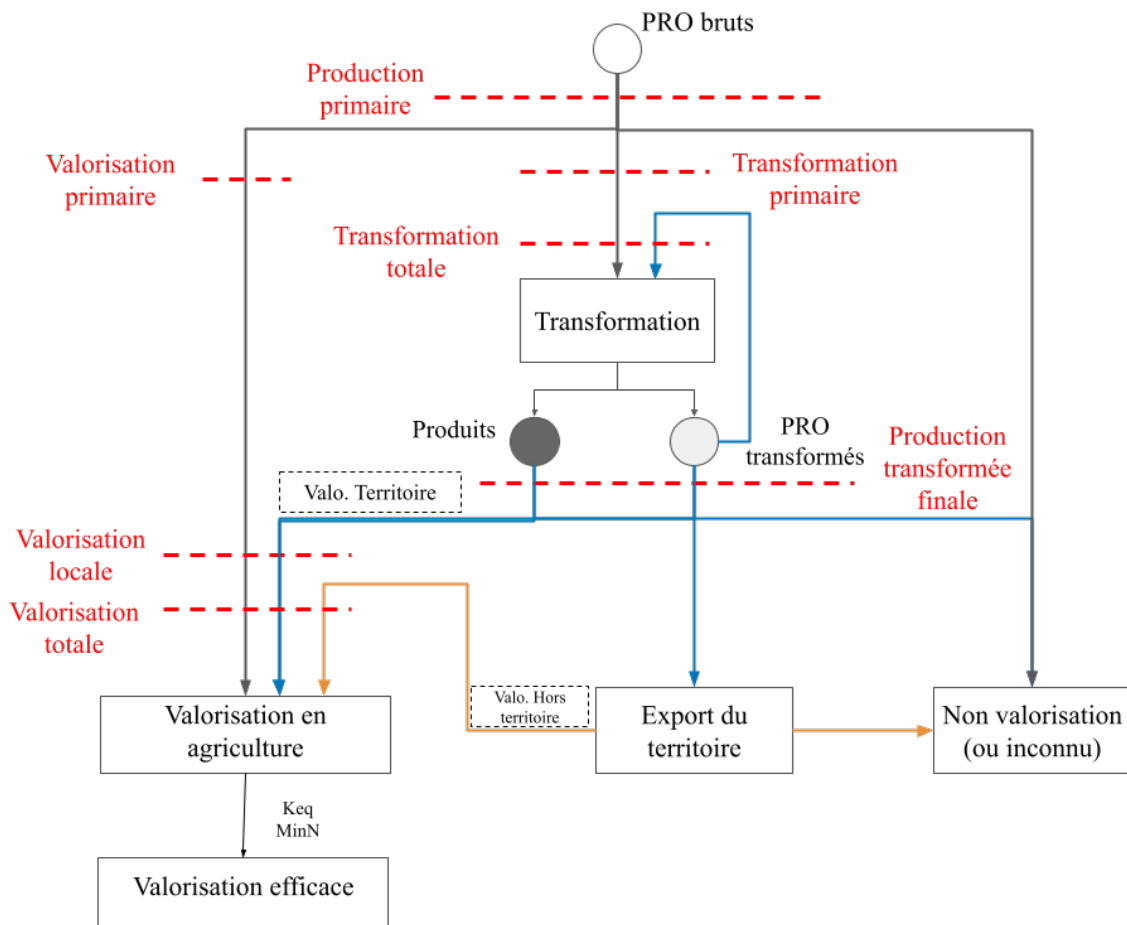


Figure 73 : Interprétation des flux de matières dans le modèle de simulation de symbiose industrielle pour évaluer leur circularité. Pour plus de détails sur le formalisme, se référer à la Figure 71.

Autres indicateurs d'analyse environnementale

L'analyse environnementale de procédés est généralement réalisée selon une pensée de cycle de vie, avec des outils dédiés (Aissani *et al.*, 2009), en exploitant les bases de données existantes (comme *ecoinvent*, Wernet *et al.*, 2016). Comme discuté au Chapitre 2, ces outils très exhaustifs sont cependant peu adaptés à l'analyse des scénarios modélisés. D'une part, des procédés innovants ou très spécifiques ne sont pas présents dans ces bases de données. Le choix d'une unité fonctionnelle est également très complexe dans le cas d'un système multifonctionnel comme le SGPRO. La conséquence est que les résultats de la modélisation réalisée sont peu compatibles avec ce type d'outil. Pour la formulation de promesses plausibles, il a été préférable de se focaliser sur un nombre restreint d'indicateurs, plus simples, choisis pour leur intérêt supposé *a priori* pour les acteurs du système-territoire. Les indicateurs proposés sont la production d'énergie renouvelable, la surface utilisée et la distance de transport des PRO. La production d'énergie renouvelable est un enjeu environnemental clé, auquel participe notamment la méthanisation. La surface utilisée est une donnée clé dans un système-territoire au sein duquel une large zone est soumise à de fortes restrictions en termes d'urbanisme. Enfin, la distance de transport peut être assimilée à la fois à des émissions de GES (un autre enjeu environnemental important, mentionné par certains acteurs au cours des

entretiens), à la consommation énergétique, et à des conséquences directes dans l'environnement perçu des habitants (la circulation accrue de camions). La manière dont sont calculés ces indicateurs à partir des données de modélisation est détaillée en annexe C-3.8. Ces calculs doivent notamment inclure des hypothèses quant au mode de valorisation du biogaz, qui influencent la lecture des résultats. L'hypothèse proposée est de 50% d'injection dans le réseau de distribution, et 50% de valorisation en cogénération¹⁵³.

Indicateurs d'analyse économique

L'analyse économique des scénarios proposés vise à prévoir les coûts totaux nécessaires pour la mise en place, l'évolution et l'entretien d'un SGPRO alternatif. Une telle analyse consiste à attribuer à chaque voie d'affectation un ensemble de coûts et de recettes liés aux activités et à la génération de sous-produits. Elle permet ainsi d'estimer le surcoût à payer pour atteindre les bénéfices environnementaux (externalités positives) mis en évidence. En revanche, elle ne permet pas d'être explicite sur les acteurs qui vont assumer les coûts ou sur la répartition entre gains et pertes par rapport au système actuel. Les indicateurs utilisés pour comparer les scénarios sont le **taux d'autofinancement**, qui correspond à la fraction du coût annualisé couvert par les recettes, le **coût total par habitant**, et le **coût total par kg d'azote substitué**. Les détails de ces calculs sont donnés en annexe C-3.9. Un autre indicateur de comparaison est le **coût marginal**¹⁵⁴ des externalités positives. Il s'agit ici d'estimer « l'efficacité » du surcoût par rapport au scénario S1 – c'est-à-dire, pour 1€ supplémentaire par rapport à S1, quels avantages apportent respectivement S2 et S3 ? Le coût marginal CM de l'indicateur X du scénario Sn est exprimé par :

$$CM_{X,Sn} = \frac{X_{Sn} - X_{S1}}{C_{TOT,Sn} - C_{TOT,S1}}$$

9.2. Présentation des scénarios et de leurs indicateurs de performance

Cette section présente les principaux résultats de l'évaluation des scénarios S1, S2 et S3. La section 9.2.1 présente la conceptualisation des scénarios, c'est-à-dire leurs grands principes techniques. Les sections 9.2.2 et 9.2.3 présentent respectivement l'évaluation des indicateurs de circularité et des autres indicateurs environnementaux et économiques. Enfin, la section 9.2.4 expose les principes retenus pour la formulation des promesses plausibles sur la base de ces scénarios.

¹⁵³ Le mode de valorisation majoritairement utilisé à l'heure actuelle est la cogénération, mais dans les stratégie de production d'énergie renouvelable, l'injection de biogaz dans le réseau de distribution a vocation à fortement se développer (Ademe, 2021)

¹⁵⁴ Ce calcul serait également possible à réaliser avec les émissions marginales de CO₂, ce qui permettrait de comparer le « coût » environnemental des scénarios à service fourni équivalent. Cela nécessite cependant les données d'un bilan carbone complet des scénarios, qui n'a pas été réalisé.

9.2.1. Présentation des scénarios

L'évaluation préalable réalisée pour préparer l'atelier de conceptualisation est présentée en annexe C-3.1, qui présente également les recommandations formulées par les experts lors de l'atelier. Partant de ces recommandations et à la suite du travail de finalisation, les principes technologiques des deux scénarios ont pu être déterminés. La conceptualisation finale des scénarios S2 et S3 est respectivement représentée par la Figure 74 et la Figure 76.

S2 - Scénario « Zéro Gaspi »

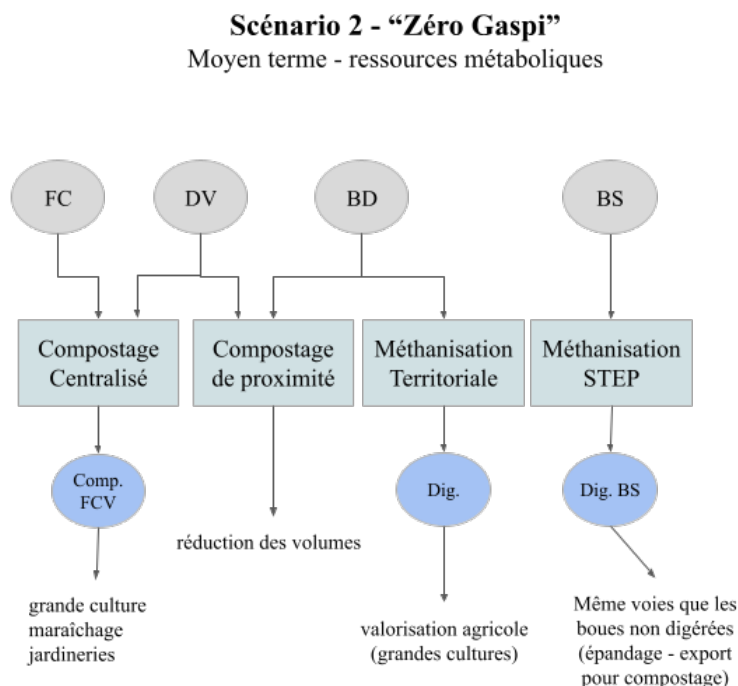


Figure 74 : Schéma de principe du scénario S2 - zéro gaspi. Seules les modifications par rapport au SGPRO actuel sont représentées. FC : Fumiers de chevaux, DV : déchets verts, BD : biodéchets, BS : boues de STEP, Comp FCV : Compost de fumier de chevaux, Dig : Digestat, Dig BS : Boues de STEP digérées.

Dans l'optique où la valorisation agricole n'est pas centrale dans ce scénario, un déploiement du compostage de proximité est proposé afin de réduire le volume de matières à traiter (et donc, l'impact environnemental du système de gestion de déchets). Cette filière capterait une partie des déchets verts pour équilibrer le ratio C/N en entrée. Néanmoins, le compost issu de cette filière ne serait pas considéré comme valorisé en agriculture, les quantités étant trop petites et dispersées. Les biodéchets des ménages restants sont envoyés dans les installations existantes de méthanisation, pour lesquelles un redimensionnement pourrait être nécessaire. Cela permet de produire de l'énergie et d'obtenir un digestat dont on est en mesure d'espérer une bonne acceptabilité pour l'agriculture céréalière. Une partie de ces digestats pourra également être mélangée avec le compost de déchets verts pour enrichir celui-ci. Par ailleurs, des unités de méthanisation pourraient également être implantées pour traiter les boues de STEP – lorsque ce n'est pas déjà le cas. La méthanisation ne permettrait pas nécessairement une meilleure valorisation agricole de ces boues, mais plutôt une production d'énergie renouvelable sur le territoire. Enfin, les fumiers de chevaux qui sont actuellement exportés pourraient être compostés sur des plateformes centralisées, afin de produire un compost plus

riche que celui de déchets verts, et potentiellement intéressant pour les agriculteurs, maraîchers, ou pour la distribution en jardinerie¹⁵⁵.

S3 - Scénario « Agri Max »

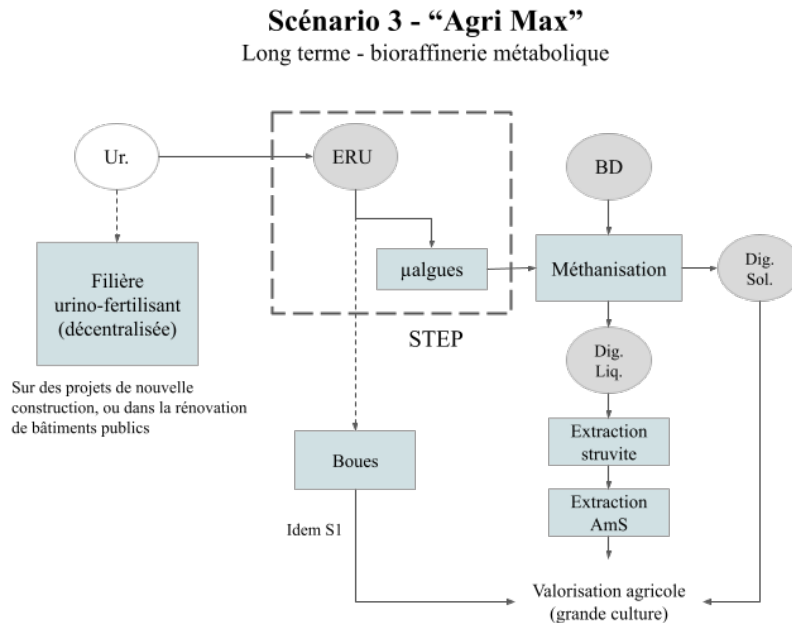


Figure 75 : Schéma de principe du scénario S3- Agri Max. Seules les modifications par rapport au SGPRO actuel sont représentées. Ur. : Urines, ERU : Eaux résiduaires urbaines, μalgues : traitement des eaux par micro-algues, BD : biodéchets, Dig. Liq/Sol : Digestat liquide / solide. AmS : Sulfate d'ammonium.

Ce scénario propose une modification du système d'épuration des eaux usées existant de manière à ce que les nutriments soient conservés grâce à une filière d'épuration par des microalgues. Une étape de méthanisation des microalgues, mélangées à des biodéchets, est ensuite proposée afin de transformer l'azote organique en azote minéral. Cette étape fait apparaître un risque de déséquilibre dans le rapport C/N de la recette en entrée, à laquelle il faudrait éventuellement ajouter des déchets verts peu ligneux pour contrebalancer la forte concentration en azote. A la suite de ce procédé, le digestat serait séparé en une phase solide qui est directement épandue, et une phase liquide qui subirait des procédés d'extractions. Les deux procédés qui semblent les plus prometteurs sont la récupération de struvite, et le stripping de l'ammoniac avec une capture sur acide sulfurique pour former du sulfate d'ammonium. Ces deux procédés sont envisagés en série, car le potentiel de récupération d'azote par la struvite est très limité par la concentration en phosphore. Les produits extraits pourraient ensuite éventuellement être formulés pour répondre au mieux au besoin de l'agriculture (cette étape de formulation n'ayant pas été intégrée à la modélisation). En parallèle de cette filière, une collecte sélective des urines est proposée pour un développement à titre expérimental. Elle serait déployée de manière marginale sur de nouveaux bâtiments (ou éventuellement dans le cadre de la rénovation de bâtiments à usage collectif type bâtiments publics), avec une approche de traitement décentralisé pour limiter le transport de liquide.

¹⁵⁵ Dans la modélisation effectuée, seule la valorisation en grande culture est comptabilisée dans la part de valorisation agricole. Comme exposé à la section 8.1.2, les données actuelles du territoire ne permettent pas réellement de déterminer un besoin en nutriments pour les systèmes maraîchers et arboricoles, car la fertilisation n'est pas raisonnée de manière aussi stricte qu'en grande culture.

Résultats de la modélisation pour les différents scénarios

La modélisation et l'évaluation, selon les principes décrits dans les sections 9.1.2 et 9.1.3, a été implémentée dans le logiciel Microsoft Excel. Les indicateurs évalués pour les trois scénarios sont représentés comparativement dans le Tableau 31. Pour faciliter la lecture, les valeurs des scénarios S2 et S3 différentes du scénario S1 ont été colorées dans ce tableau – sans de condition sur l'importance de l'écart. Les cases vertes indiquent les différences sont souhaitables dans la symbiose territoriale, tandis que les cases rouges indiquent les différences sont problématiques. Les paragraphes suivants présentent plus en détail ces résultats.

Tableau 31 : Résultats complets de la modélisation et de l'évaluation des scénarios avec le modèle affectation-transformation.

Indicateurs de circularité			
Bilan masse (tMS)	S1	S2	S3
Production primaire	86210	84935	84935
Taux importation	55%	54%	54%
Valorisation Primaire	6%	6%	7%
Export Primaire	4%	3%	1%
Transformation Primaire	90%	91%	92%
Transformation Totale (capacité de transformation)	93%	96%	106%
Production transformée finale	46%	47%	49%
Perte par transformation	45%	44%	43%
Valorisation locale	30%	37%	45%
Valorisation totale (output circularity)	41%	41%	50%
Export total	25%	19%	11%
Bilan nutriments			
<i>Carbone</i>			
Production primaire (t)	27962	27317	27317
Perte par transformation	32%	24%	12%
Recyclage brut total (output circularity)	54%	54%	65%
Recyclage brut local	40%	49%	60%
Recyclage effectif local	30%	37%	45%
Efficacité du recyclage	75%	76%	75%
Carbone biométhane	3%	9%	17%
Stockage annuel sur le territoire	16%	20%	24%
<i>Azote</i>			
Production primaire (t)	2038	2004	2004
Perte par transformation	54%	48%	29%
Recyclage brut total (output circularity)	39%	40%	65%
Recyclage brut local	22%	30%	58%
Recyclage effectif local	0%	3%	30%
Efficacité du recyclage	3%	20%	50%
Reliquats territoire lié à l'augmentation de MO (t)	29	35	42
Taux de substitution des intrants (Input circularity)	1%	8%	48%
<i>Phosphore</i>			
Production primaire (t)	760	739	739

Partie III

Perte par transformation	29%	30%	35%
Recyclage brut total (output circularity)	46%	49%	52%
Recyclage effectif local	22%	33%	42%
Efficacité du recyclage	100%	100%	100%
Taux de substitution des intrants (Input circularity)	81%	120%	154%
<i>Potassium</i>			
Production primaire (t)	1451	1445	1445
Perte par transformation	40%	40%	24%
Recyclage brut total (output circularity)	50%	49%	71%
Recyclage effectif local	36%	43%	66%
Efficacité du recyclage	100%	100%	100%
Taux de substitution des intrants (Input circularity)	77%	93%	141%
Autres indicateurs environnementaux			
Bilan énergétique (MWh)			
Biométhane produit	7185	23534	44768
Biométhane injecté	3161	10 355	19 698
Chaleur produite	3659	5 567	10 239
<i>dont biométhane</i>	1581	5 177	9 849
Electricité produite	3779	4 125	7 395
<i>dont biométhane</i>	1106	3 624	6 894
Total EnR	5849	19 157	36 441
<i>Couverture Energie PV</i>	0%	0,6%	1,2%
<i>Couverture Gaz PV</i>	0,4%	1,2%	2,2%
<i>Couverture chaleur PV</i>	6,3%	9,5%	17,5%
<i>Couverture elec PV</i>	0,5%	0,6%	1,1%
Surface requise			
TOTAL (ha)	10	11	108
Compostage	6	7	7
STEP	4	4	2
Microalgue	0	0	99
Transport			
Transport Total (kt.km)	7796	7649	8674
Dont transformation locale(kt.km)	48%	44%	22%
Dont valorisation locale (%)	14%	19%	46%
Dont export	38%	36%	32%
Emissions CO2 (tCO2e)	624	612	694
Indicateurs économiques			
Bilan économique			
<i>Coûts</i>			
Coût TOTAL	23 600 019 €	26 840 521 €	40 354 223 €
<i>Coûts collecte et transport</i>	1 493 678 €	4 800 979 €	4 523 752 €
<i>Coûts compostage</i>	1 117 765 €	1 442 525 €	1 442 525 €
<i>Coût méthanisation</i>	1 428 576 €	3 962 017 €	9 288 612 €
<i>Coûts ERU</i>	15 960 000 €	15 960 000 €	24 094 688 €
<i>Coût incinération</i>	3 600 000 €	675 000 €	675 000 €
<i>Recettes</i>			
Recette TOTAL	- €	- €	- €
<i>Recettes compost</i>	1 523 458 €	2 676 629 €	5 078 881 €
	1 055 145 €	1 142 701 €	1 150 366 €

Recettes biogaz	468 313 €	1 533 929 €	2 917 968 €
Recettes produits synthèse	- €	- €	1 010 547 €
Indicateurs			
Balance économique	-22 076 561 €	-24 163 892 €	-35 275 342 €
Surcoût	- €	3 240 502 €	16 754 203 €
Taux autosuffisance	6%	9,97%	12,59%
Coût par habitant	142 €	156 €	228 €
Coût par tonne traitée (MS)	256 €	284 €	415 €
Coût par kg d'azote substituée	1 387 €	245 €	56 €
Coût Marginal énergie supplémentaire (€/Mwh)		244 €	548 €
Coût Marginal carbone stocké (€/tCstock)		3 423 €	8 168 €
Coût Marginal azote supplémentaire (€/tNeff)		53 138 €	28 109 €

9.2.2. Indicateurs de circularité

Les résultats associés aux indicateurs de circularité présentés dans le Tableau 31 sont représentés graphiquement sur la Figure 76.

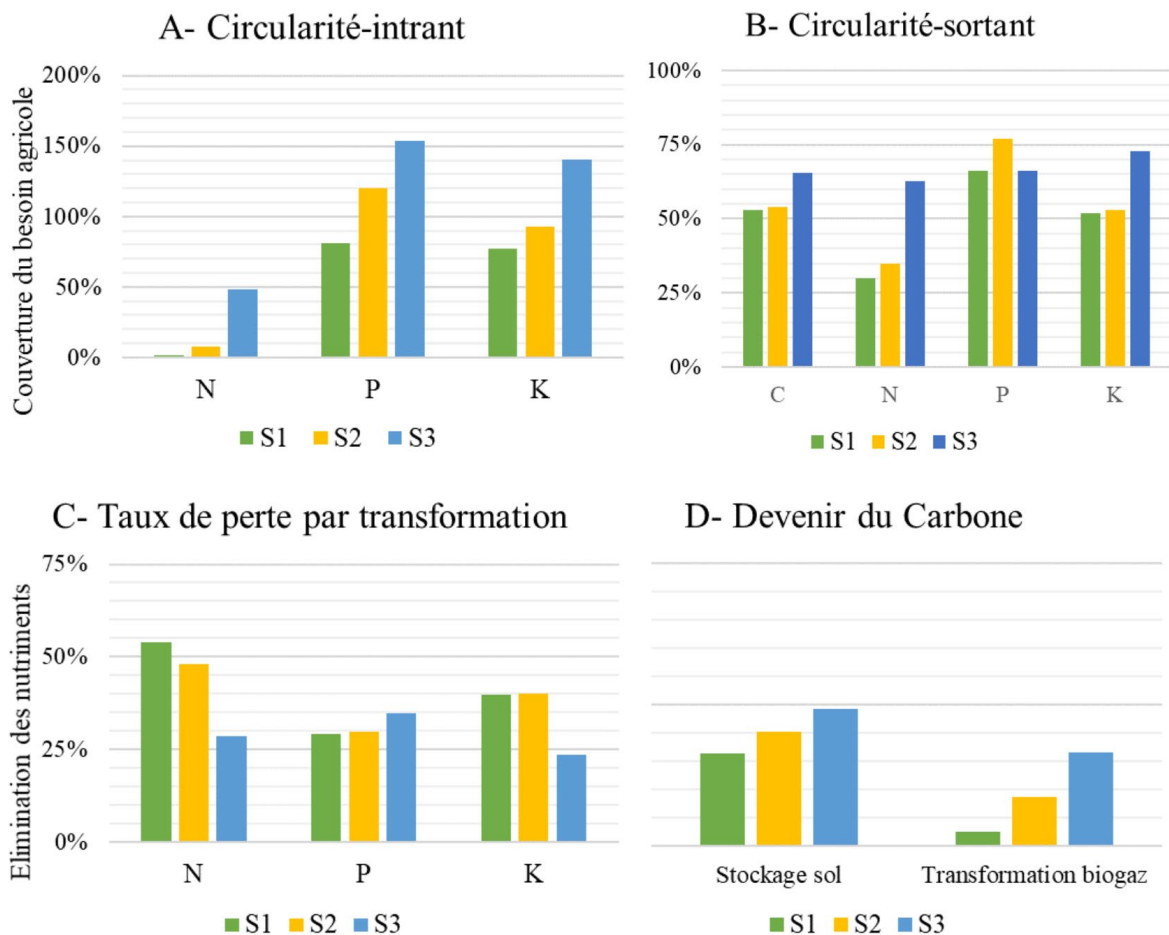


Figure 76 : Résultats de la modélisation sur les principaux indicateurs de circularité.

Concernant la circularité intrant, on observe que S3 obtient un taux bien meilleur que S1 et S2 sur l'azote, avoisinant 50% de substitution sur le territoire. Comme nous l'avons mis

en évidence au Chapitre 8, le taux d'azote substitué dans S1 est très faible. Pour le phosphore (P), les taux de substitution, déjà élevés dans S1, sont supérieurs à 100% dans S2 et S3. Pour le potassium (K), S1 a un taux de substitution d'environ 80%, qui atteint les 90% dans S2 et 140% pour S3. La quantité de P apportée par les PRO est donc supérieure aux besoins agricoles du système-territoire dans S3. Cela montre que l'augmentation de l'utilisation de PRO dans l'optique de substituer de l'azote risque d'introduire un déséquilibre sur les autres éléments, et potentiellement d'accroître le risque de pollution. Concernant la circularité sortant, l'amélioration liée à la symbiose territoriale dans S2 et S3 est moins marquée, même si cette circularité est toujours supérieure ou égale à celle de S1. La représentation du taux de perte par transformation permet d'observer qu'environ 55% de l'azote est éliminé dans le scénario de base, taux qui peut descendre à 30% dans S3. L'analyse du devenir du carbone permet de constater, dans le cas de S3, que le retour au sol ne s'oppose pas à la valorisation énergétique. Ce scénario est en effet meilleur que le scénario S2 sur les deux aspects.

9.2.3. Indicateurs économiques et environnementaux

La Figure 77 présente les résultats sur les aspects environnementaux évalués dans le Tableau 31 : la production d'énergie, le besoin en surface et le transport. Dans S2, on constate que dans un scénario à 50% de cogénération, la chaleur et l'électricité produites sont supérieures à celles produites par l'incinération dans S1. Dans S3, la production d'énergie est plus importante que dans S1 et S2. En revanche, ce scénario requiert environ 10 fois plus de surface au sol que les deux autres, essentiellement du fait du procédé d'épuration par microalgues. Ces scénarios impliquent aussi des distances de transport différentes. Par rapport à S1, S2 permet une diminution des transports. A l'inverse, S3 conduit à une augmentation, liée à l'augmentation du volume de matière traitée qui doit donc être transportée, principalement sur des courtes distances.

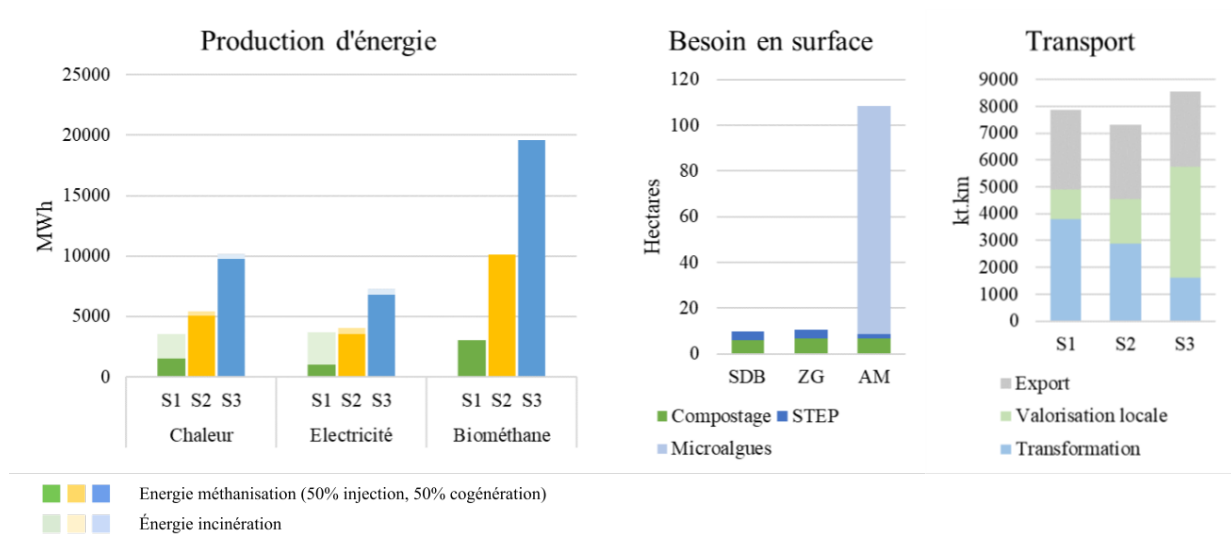


Figure 77 : Production d'énergie renouvelable et besoin en surface des scénarios. Ces indicateurs n'ont pas été introduits précisément.

Les principaux résultats de l'analyse économique sont représentés sur la Figure 78. Il apparaît que le coût de S2 est légèrement plus élevé que celui de S1 à la tonne traitée, et que le coût de S3 est presque deux fois plus élevé que celui de S1. Cependant, le désavantage du scénario S3 doit être nuancé sur deux aspects. Premièrement, il est beaucoup plus efficace par

tonne d'azote recyclé que S1. Deuxièmement, les coûts importants sont mieux couverts, proportionnellement, par les revenus des sous-produits. Dans les conditions actuelles, S3 reste toutefois peu réaliste économiquement. Dans la répartition des coûts, il est notable que le coût de gestion des ERU représente, dans tous les scénarios, un composant majeur du coût total du SGPRO. Dans S2 et S3, le coût de la collecte et du transport augmente de manière significative, du fait de la collecte séparée.

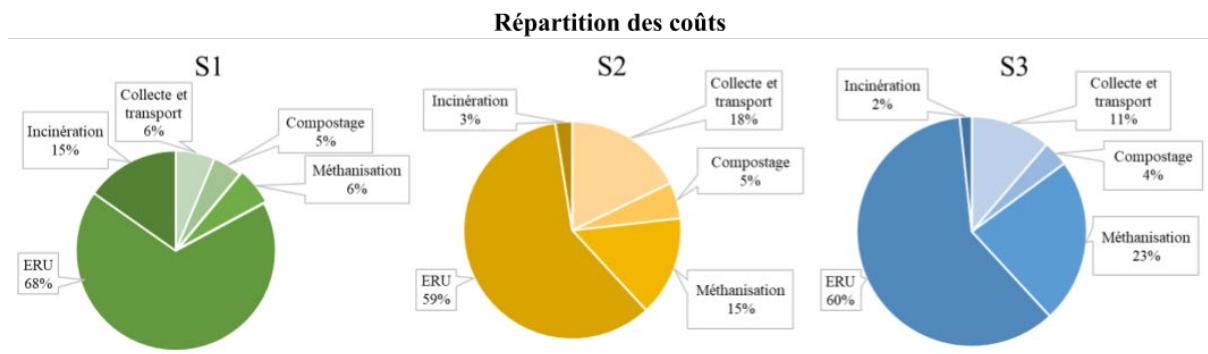
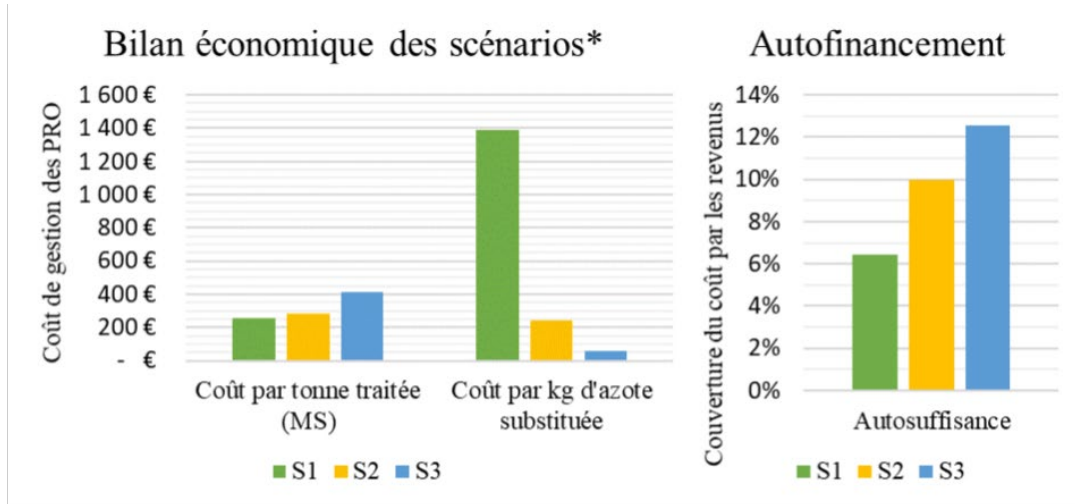


Figure 78 : Bilan économique des scénarios. *Le bilan économique prend en compte l'autofinancement des scénarios (et représente donc le coût restant après cet autofinancement).

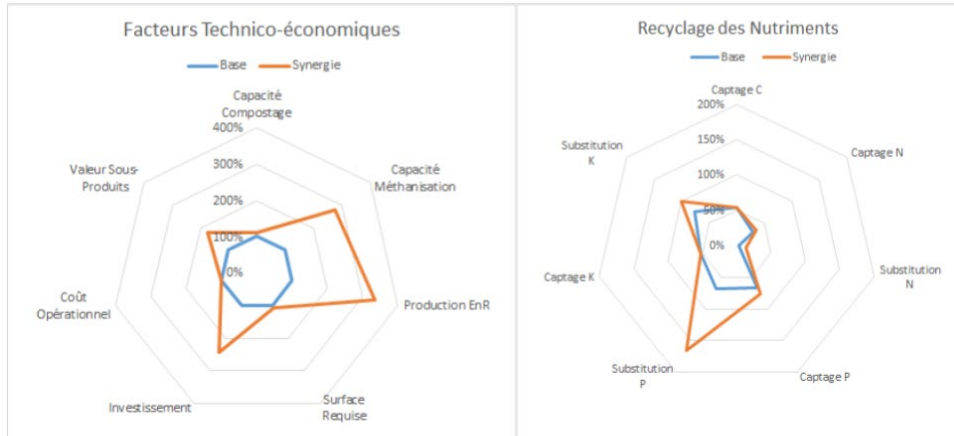
Le calcul du coût marginal a été réalisé pour trois indicateurs clés présentés dans le Tableau 32. Il permet de voir que le coût marginal de S3 associé à la production d'énergie renouvelable et au stockage de carbone est plus élevé que dans S2. Cette analyse souligne que, malgré le fait que S3 est meilleur en valeur absolue sur ces deux aspects, l'avantage supplémentaire par rapport à ce qu'apporte déjà S2 est relativement coûteux. Le scénario S3 comporte en revanche un coût marginal de substitution d'azote plus faible que S2.

Tableau 32 Comparaison des coûts marginaux de S2 et S3 par rapport à l'énergie produite, au carbone stocké et à l'azote substitué.

Indicateurs de comparaison	S2	S3
Coût marginal par MWh supplémentaire (€/Mwh)	244 €	548 €
Coût marginal par carbone stocké (€/tCstock)	3 402 €	8 168 €
Coût marginal par azote supplémentaire substitué (€/tNeff)	53 138 €	28 109 €

9.2.4. Du scénario quantifié à la promesse plausible

S2



S3

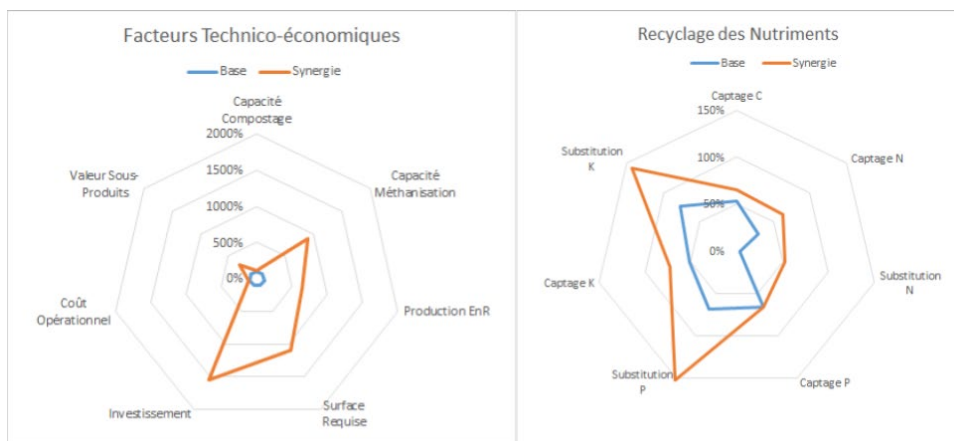


Figure 79 : Représentation graphique des résultats de la modélisation intégrés dans la formulation de promesses plausibles. Note : ces diagrammes représentent les résultats de modélisation tels qu'ils étaient au moment de concevoir le matériel d'enquête, qui ont légèrement évolué par la suite avec l'affinage des hypothèses utilisées dans le modèle.

Les données obtenues permettent d'alimenter, avec un fort niveau de détail, les promesses plausibles qui seront construites à destination des acteurs du territoire. Par extension, une simplification de ces données pourra être intégrée dans les promesses plausibles à faible niveau de détail (comme le nécessite la stratégie élaborée au Chapitre 7). La manière exacte dont ces scénarios et les indicateurs sont intégrés à la formulation des promesses plausibles est présentée dans le Chapitre 10, et dans l'annexe C-4.1. Rappelons une nouvelle fois que ces scénarios ne constituent pas des propositions techniques abouties, mais des bases d'évolution qui pourraient démontrer aux acteurs-cibles le potentiel d'une symbiose territoriale. L'intérêt de présenter des données quantitatives dans ces promesses plausibles est d'ailleurs autant d'apporter ces arguments que de démontrer que l'acteur initiateur, scientifique, dispose d'un niveau de connaissance poussé du territoire. Dans le niveau de détail le plus élevé, nous proposons de mettre en avant l'existence d'un outil de modélisation, et sa disponibilité pour informer la concertation. Pour ce faire, certains indicateurs clés issus de l'évaluation des scénarios seront montrés graphiquement, par les diagrammes radars présentés par la Figure 79. Les indicateurs sélectionnés sur un premier diagramme sont la capacité de compostage, la

capacité de méthanisation, la production d'énergie renouvelable, la surface requise, l'investissement nécessaire, le coût opérationnel et la valeur des sous-produits. Ces indicateurs sont comparés (en pourcentage) à S1. Un deuxième diagramme est proposé, permettant de représenter la circularité par le captage des éléments C, N, P et K par le SGPRO, et la substitution d'engrais par le N, P et K issus des PRO.

9.3. Discussions : perspectives pour la symbiose territoriale

Les résultats obtenus permettent d'atteindre l'objectif principal du présent chapitre, qui était de définir un contenu technique pour construire un ensemble de promesses plausibles. Ils constituent des projections possibles et restent soumis à de fortes incertitudes, en partie liées à l'évolution possible du contexte économique et social. Cependant, l'exercice de modélisation permet également de représenter, en tenant compte de ces incertitudes, le potentiel de la symbiose territoriale à répondre à son objectif initial, c'est-à-dire résorber la rupture métabolique. Dans cette section de discussion, nous proposons dans un premier temps de revenir sur les avantages conceptuels du modèle et sur la fiabilité des résultats (9.3.1). Dans un second temps, nous proposons d'utiliser les résultats de ces scénarios pour donner quelques ordres de grandeur sur le potentiel de la symbiose territoriale (9.3.2). Enfin, nous mettrons en avant certaines limites aux scénarios S2 et S3, s'ils étaient entrepris en l'état, qui illustrent les défis que devra parvenir à résoudre la symbiose territoriale (9.3.3).

9.3.1. Fiabilité de l'évaluation et pistes d'amélioration du modèle

Avantages du modèle conceptuel affectation-transformation

L'outil développé s'est cantonné aux besoins de la thèse et ne prétend ni formuler les meilleures hypothèses, ni effectuer les meilleurs choix méthodologiques. Néanmoins, le modèle conceptuel d'affectation-transformation présenté par la Figure 71 comporte des avantages marqués en termes d'adaptation possible à d'autres situations d'étude. Le fait de lister explicitement les hypothèses d'affectation et de transformation permet une amélioration continue et évolutive du modèle. Si certaines hypothèses techniques ou sociotechniques apparaissent plus pertinentes que celles choisies initialement, ce formalisme permet de les prendre en compte facilement. Par ailleurs, le fait de connaître précisément la répartition des masses de PRO dans les divers procédés du système permet d'envisager ultérieurement un développement plus conséquent des analyses environnementales et économiques. Il s'agit donc d'un outil très souple, qui peut également prendre en charge de nouveaux procédés, même innovants, à condition de formuler de nouvelles hypothèses. Il permet de proposer des modèles très simples de transformation, qui permettent malgré tout de représenter une complexité systémique du SGPRO transposable sur d'autres systèmes-territoires. Sa principale limite réside dans les fortes simplifications qu'il implique : un tel outil ne peut produire que des ordres de grandeur.

Analyse de sensibilité des résultats

Afin de vérifier la fiabilité de l'évaluation, la sensibilité des résultats de la modélisation à certaines hypothèses a été testée. Tous les calculs ont été répétés en modifiant la valeur p d'un unique paramètre par une valeur p' résultant d'une autre hypothèse¹⁵⁶, toutes choses égales par ailleurs. La variabilité V liée à p' s'exprime par la différence dans chaque scénario Si avec les résultats obtenus par la modélisation initiale, sur la gamme d'indicateurs $I_n(p)$ (N indicateurs) présentée par le Tableau 31 :

$$V(p') = \frac{1}{3} \sum_{Si} \frac{1}{N} \sum_{I_n} \sqrt{\left(\frac{I_n(p') - I_n(p)}{I_n(p)} \right)^2}$$

Pour une meilleure compréhension des parties du modèle affectées, la variabilité V peut être calculée par groupe d'indicateurs, distinguant les indicateurs de circularité, énergétiques, environnementaux et économiques, également représentés sur le Tableau 31. L'analyse de sensibilité de quelques paramètres est présentée dans le Tableau 33. Cette analyse montre une relative stabilité des résultats, malgré des variations fortes de certaines hypothèses structurantes (comme le taux arbitraire de conservation d'azote, ou de réduction de masse pour le compostage). La variabilité observée sur le total des indicateurs est comprise entre 0 et 10%, mais peut monter jusqu'à 65% pour certains groupes d'indicateurs. Ces hypothèses peuvent être distinguées en deux groupes : les **hypothèses sociotechniques**, qui correspondent à des hypothèses sur le comportement des acteurs (choix d'affectation, choix du mode de valorisation...); et les **hypothèses techniques** qui correspondent aux approximations et simplifications de calcul des modèles utilisés. Nous observons que la variation induite par ces deux types d'hypothèses est du même ordre de grandeur. Quand bien même l'amélioration de la fiabilité des modèles techniques utilisées permettrait d'améliorer la précision des scénarios, nous pouvons noter qu'il restera toujours une part de variabilité sociotechnique qu'aucun modèle ne pourra réduire.

Tableau 33 : Analyse de sensibilité de quelques paramètres du modèle

	Valeur base (p)	Valeur testée (p')	V_Circ	$V_Energie$	V_Enviro	V_Eco	V_Tot
A-Hypothèses sociotechniques (scénarios, affectation...)							
Injection de biogaz	50%	100%	0%	65%	0%	4%	9%
Cogénération	50%	100%	0%	65%	0%	4%	9%
Compostage centralisé des biodéchets S2	0%	50%	3%	10%	2%	3%	3%
Compostage centralisé des biodéchets S2	0%	100%	5%	20%	3%	10%	8%
Taux de modification du système d'épuration S3	50%	100%	6%	18%	14%	9%	9%

¹⁵⁶ Pour les hypothèses sociotechniques, les valeurs p' testées proposent des arbitrages d'affectation différents que ceux qui ont été retenus dans les scénarios. Pour les hypothèses techniques, les valeurs p' testées correspondent des variations significatives de certains choix de paramètres structurants dans la modélisation.

Chapitre 9

	Valeur base (p)	Valeur testée (p')	V_Circ	V_Energie	V_Enviro	V Eco	V_Tot
<i>B-Hypothèses techniques (paramètres des modèles de transformation)</i>							
<i>Taux de réduction MB compostage</i>	50%	30%	8%	0%	3%	6%	6%
<i>Taux de réduction MB compostage</i>	50%	70%	8%	0%	3%	6%	12%
<i>Taux abattement N méthanisation</i>	5%	10%	0,4%	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%
<i>Keq boues</i>	0,1	0,6	0,9%	0,0%	0,0%	0,6%	0,5%

9.3.2. Quel potentiel pour la symbiose territoriale ?

L'exercice réalisé informe sur des ordres de grandeur, qui n'ont pas vocation à intégrer en tant que tel le contenu de promesses plausibles, mais qui donnent du relief au potentiel que peut ou ne peut pas réaliser une symbiose territoriale. Attardons-nous sur certains d'entre eux, qui mettent en avant des aspects clés de ces symbioses.

Contribution à la production d'énergie renouvelable

L'énergie renouvelable produite par les scénarios peut, à l'instar des nutriments, être comparée au besoin du système-territoire. L'objectif des scénarios – et de la symbiose territoriale envisagée dans cet exercice – n'est pas de prétendre couvrir un tel besoin énergétique, mais cette comparaison fournit un point de repère sur la contribution des scénarios à la production d'énergie renouvelable. Les données du Réseau francilien d'Observation Statistique de l'Energie (Institut Paris Région, 2022) concernant la consommation sur les communes de l'APPVPA sont présentées dans le Tableau 34. Avec une production supplémentaire de 12 GWh par rapport à S1, le scénario S2 ne permettrait de couvrir que 0,6% des besoins énergétiques de la plaine de Versailles, et le scénario S3 1,2%. S'il est évident que la transition énergétique n'est pas basée sur une transformation du SGPRO, ce calcul souligne que l'énergie produite ne pourra constituer qu'une part marginale du besoin en énergie de la société.

Tableau 34 : Consommation d'énergie sur la plaine de Versailles en MWh (données : ROSE) et contribution des scénarios. Les pourcentages sont donnés par vecteur énergétique. (La production de chaleur est comparée à la consommation en chauffage urbain).

Unité : MWh	TOTAL	Bois	Charbon et produits pétroliers	Gaz naturel	Electricité	Chauffage urbain
<i>Energie consommée</i>	3023110	82170	1305410	885350	691880	58390
<i>Prod S1</i>	5618			3036	3735	3597
<i>%</i>	0,2%			0,3%	0,5%	6,2%
<i>Prod S2</i>	18722			10120	4043	5450
<i>%</i>	0,6%			1,1%	0,6%	9,3%
<i>Prod S3</i>	36199			19567	7349	10173
<i>%</i>	1,2%			2,2%	1,1%	17,4%

Vers une substitution d'énergie ?

Au vu des infrastructures supplémentaires nécessaires dans S3 et de leurs impacts économiques et environnementaux, il ne semble pas moins plausible de répondre aux besoins des agriculteurs en substituant l'énergie fossile de production des engrais azotés par de l'énergie renouvelable issue du SGPRO. D'une part, la production de biogaz par méthanisation est aujourd'hui une des technologies de transformation les plus matures, qui ne nécessite pas de pari risqué sur des procédés peu éprouvés. D'autre part, les procédés techniques de production d'azote synthétique sont également matures et ont été optimisés, par des logiques d'efficacité industrielle (Smil, 2001). La production industrielle de 1kgN nécessite environ 12 kWh d'énergie primaire (Matassa *et al.*, 2015). Pour produire les 1308 tN nécessaires aux exploitations agricoles du système-territoire, il faut donc, (sans compter le transport) environ 15,7 GWh. Cette valeur est comparée à l'énergie renouvelable produite dans les scénarios S2 et S3 dans le Tableau 35.

Tableau 35 : Energie produite par S2 et S3 et comparaison avec l'énergie nécessaire pour produire les engrais azotés du système-territoire.

	Biogaz injecté	Energie totale produite
S2	10,3 GWh	19,2 GWh
Couverture énergie engrais N	66%	122%
S3	19,7 GWh	36,4 GWh
Couverture énergie engrais N	125%	232%

Nous voyons donc qu'en ordre de grandeur, l'énergie que l'on peut obtenir par la méthanisation des PRO est similaire à celle nécessaire pour produire les intrants de synthèse. Notons cependant que cela ne réglerait qu'une partie du problème. Les risques liés à la rupture métabolique ne concernent pas uniquement la sécurité d'approvisionnement du système alimentaire, mais également la quantité de nutriments excédentaires dans les milieux naturels (Voir l'ouverture du cycle de l'azote au Chapitre 1). Un maintien actuel du niveau d'utilisation d'intrants de synthèse ne serait pas durable d'un point de vue de la capacité des écosystèmes à absorber des nutriments excédentaires.

Potentiel de valorisation des urines

Grâce à l'analyse de flux de matières, la modélisation permet également de mesurer dans un cas concret le potentiel de recyclage des nutriments lié à la valorisation des urines. Nous pouvons en effet voir que, dans S1, 62% de l'azote des PRO bruts est contenu dans les ERU contre 9% dans les biodéchets des ménages (biodéchets qui sont actuellement incinérés). Alors que les politiques d'économie circulaire se concentrent essentiellement sur ce second flux, nous pouvons constater que c'est le premier qui est le plus significatif en termes de rupture métabolique. Dans S1, le modèle permet d'évaluer que 43% de l'azote total contenu dans les PRO bruts est éliminé dans le système d'épuration, alors que 9% de cet azote est éliminé par

l'incinération. L'azote contenu dans les ERU provient à 79% des urines humaines¹⁵⁷ (Friedler *et al.*, 2013), pour lesquelles il existe des moyens de collecte et gestion séparative (Esculier, 2018). Si les techniques de transformation des urines en urinofertilisant ne sont pas encore complètement matures et nécessitent des recherches (Martin, 2017 ; Martin *et al.*, 2020), ce flux constitue une part essentielle du gisement à capter. Le développement de filières de gestion séparée de l'urine constitue ainsi, à l'heure actuelle, la piste la plus prometteuse en ce qui concerne l'évolution du SGPRO dans l'optique de le rendre circulaire. Un problème de ces filières reste leur consommation élevée en énergie et/ou réactifs, résultant en un coût de l'azote et un impact environnemental élevés (Matassa *et al.*, 2015). L'émergence de telles filières doit donc se faire de manière durable et en concertation avec les agriculteurs, pour qui les réserves restent importantes (Brun, 2018). Il s'agit d'un important défi scientifique et technologique dans les années à venir, concernant la résorption de la rupture métabolique, qui a commencé à être alimenté par des travaux innovants, par exemple sur des approches « *low tech* »¹⁵⁸ et décentralisées (Andreev *et al.*, 2017 ; Etter *et al.*, 2011).

9.3.3. Les défis de la symbiose territoriale

Les scénarios S2 et S3 ont été conçus pour constituer le cœur de promesses plausibles, c'est-à-dire des pistes d'évolutions techniques, inabouties, d'évolution du SGPRO. Le principe de la promesse plausible est que les solutions réellement mises en œuvre ne sont pas nécessairement celles qui sont proposées lors de l'initiation, mais que celles-ci constituent des bases qui ont pour vocation à être améliorées. Les résultats de la modélisation proposée ne constituent donc pas une projection prédictive des performances d'une symbiose territoriale, mais plutôt un horizon spéculatif. Ils n'ont pas été conçus pour représenter un état désirable du SGPRO, mais comme un état possible, suffisamment prometteur pour y engager des acteurs. L'outil de modélisation et d'évaluation n'a pas été utilisé à des fins d'amélioration et d'optimisation des scénarios. Une telle utilisation pourrait être envisagée, mais impliquerait de nouveaux questionnements qui n'avaient pas vocation à être soulevés dans ce chapitre. Du fait de leur caractère inabouti et perfectible, les scénarios obtenus présentent certaines limites. En effet, la circularité ne doit pas être vue comme une fin en soi, mais comme un moyen d'améliorer la durabilité des systèmes (Harris *et al.*, 2021). Si S2 et S3 apportent des avantages indéniables sur certains aspects de la circularité, *meilleur* ne veut pas nécessairement dire *suffisant*. Ces limites ne remettent pas en question l'utilité de la question de recherche – étudier la performativité des promesses plausibles – ni même la pertinence de la symbiose territoriale sur la plaine de Versailles, car ce contenu technique ne constitue qu'un point de départ. Elles informent, en revanche, sur les défis majeurs auxquels devra faire face une symbiose territoriale pour *tenir sa promesse* de résorber la rupture métabolique.

S2 : Des avantages certains, mais un potentiel qui reste inexploité

Le scénario 2 montre plusieurs avantages par rapport à S1, avec des risques économiques et environnementaux qui semblent maîtrisés. La production d'énergie est plus élevée, le recyclage du P et K est suffisant pour couvrir les besoins agricoles du système-territoire, une quantité non négligeable de carbone est stockée dans le sol, pour un surcoût qui,

¹⁵⁷ Ainsi que 47% du P et 71% du K

¹⁵⁸ Pour un tour d'horizon de cette terminologie, voir La Fabrique Ecologique, 2019

ramené à la tonne ou l'habitant, est relativement faible. Compte tenu des incertitudes du modèle, il est tout à fait plausible qu'un tel scénario tienne ses promesses et améliore réellement certaines dimensions du système-territoire. Cependant, il n'a pas été explicitement conçu pour résorber la rupture métabolique, et cela s'observe dans le recyclage de l'azote, qui est l'élément le plus critique. Le taux de recyclage augmente mais ne parvient à couvrir que 10% du besoin. Cela signifie que 90% de l'azote nécessaire doit continuer d'être importé et produit par des procédés consommateurs d'énergies fossiles. Bien que cette réduction ne soit pas négligeable, le problème de la dépendance du système agricole n'est pas réglé. Si elle se cantonne à des objectifs à moyen terme raisonnés avant tout sur une base de circularité-sortant, la portée de la symbiose territoriale reste donc limitée. En tant que promesse plausible, ce scénario montre aux acteurs les 'gains faciles'¹⁵⁹. Pour atteindre de meilleurs niveaux de substitution, une symbiose territoriale qui serait issue d'une telle promesse devrait se donner les ambitions, après l'initiation, d'évoluer vers des transformations plus profondes du SGPRO.

S3 : Le prix de la circularité

En faisant intervenir les techniques les plus prometteuses pour améliorer le recyclage des nutriments, S3 permet d'augmenter considérablement le taux de substitution du N sur le territoire, et ainsi de couvrir la moitié des besoins agricoles. Toutefois, il s'agit d'un scénario de changement structurel du SGPRO particulièrement ambitieux. Vu sous cet angle, le taux de substitution de 50% peut être interprété comme une approximation du taux maximum qu'il est possible d'envisager. Par ailleurs, ce scénario 3 permet de réduire grandement la perte par transformation de l'azote, mais cela se fait au prix d'une masse supplémentaire importante de matières à gérer. En effet, alors que l'azote était minéralisé dans S1 au cours du traitement de nitrification / dénitrification, il est dans S3 assimilé par des micro-algues, qui mobilisent également du CO₂ atmosphérique dans leur croissance. De ce fait, la masse de PRO acceptée en entrée des installations de traitement dépasse celle de la production primaire de PRO du système-territoire (106%). Ce nouveau PRO, qui n'était pas produit auparavant, génère des impacts lors de sa transformation et de son transport. Notons que, malgré le fait que ces micro-algues contiennent le flux d'azote que l'on cherche à recycler, elles seraient considérées aux yeux de la loi – et probablement des acteurs du système-territoire – comme des *déchets*, sous-produit du traitement des ERU et à ce titre potentiellement polluées. Cette augmentation du volume de matières à traiter va à l'encontre des orientations politiques actuelles, qui prônent au contraire la réduction des déchets. Par ailleurs, bien que produisant une quantité bien plus importante d'énergie que les deux autres scénarios, le coût de gestion des déchets augmente fortement dans S3. Le Tableau 36 compare le prix par unité d'azote substitué de S3 avec le prix de l'azote sur le marché des fertilisants minéraux. Si le prix comparé à S1 et S2 est bien plus faible, il reste 20 fois plus élevé que les prix du marché, au niveau le plus élevé observé ces derniers mois (eux-mêmes environ 5 fois plus élevés qu'il y a deux ans). L'intégralité du coût des scénarios n'est bien entendu pas destinée à être compensée par l'achat d'azote. Ce calcul démontre cependant qu'il est illusoire d'imaginer compenser le surcoût de S3 par la vente d'azote.

¹⁵⁹ A l'instar de certaines pratiques en symbiose industrielle qui se focalisent sur des Quick Wins, comme la méthodologie NISP (Deboutière *et al.*, 2017)

Chapitre 9

Tableau 36 : Comparaison du prix de l'azote avec le coût de S3 ramené à la tonne substituée. *source : web-agri.fr, consulté en août 2022)

Référence	Cotation ammonitrate* 33,5	Prix de l'azote
Avant 12/20	240 €/t	720 €/t
Taux médian 10/21 – 07/22	780 €/t	2 300€/t
Max 09/03/22	1200€/t	3 600€/t
Coût substitution S3	/	54 000€/t

Le surcoût de S3, supporté par la collectivité et au final les citoyens, nécessiterait d'être justifié par des certitudes sur la pertinence du scénario, *a minima* environnementale. Il serait pour cela nécessaire de l'évaluer dans le cadre d'une ACV complète répondant aux standards internationaux (NF EN ISO 14040 et NF EN ISO 14044), qui sort de l'exercice réalisé dans le cadre de cette thèse. L'indicateur d'occupation des sols des scénarios¹⁶⁰ fait par ailleurs apparaître que la mise en place d'un scénario type S3 nécessiterait d'augmenter significativement la surface allouée à des infrastructures de traitement. Ceci constitue un véritable défi dans le cas particulier de la plaine de Versailles, où le foncier est cher et l'urbanisme fortement encadré, avec une pression des citoyens très forte et va à l'encontre de la stratégie actuelle de "zéro artificialisation nette" du Gouvernement. Ces incertitudes sur le plan économique et environnemental sont un « prix à payer » pour se donner les ambitions d'un changement structurel du SGPRO. Dans une symbiose territoriale initiée avec une telle promesse plausible, le principal enjeu serait de trouver des leviers (par exemple, politiques) pour rendre la situation (économique, sociale, politique) plus favorable à sa réalisation.

Défis concernant la valorisation et la substitution en agriculture

Un point d'attention de ces scénarios conceptuels est que, malgré le fait qu'ils aient été conçus pour répondre aux besoins du monde agricole, leur évaluation ne permet pas de savoir si les conditions techniques de mise en œuvre des scénarios sont réalistes pour les agriculteurs. L'épandage d'une quantité importante de digestat peut par exemple être problématique, car sa concentration en nutriments reste faible. La circularité réelle atteinte par les symbioses territoriales dépendra fortement de cette adéquation, qui devra faire partie intégrante de la concertation.

Par ailleurs, le risque de surfertilisation identifié pour certains éléments, entraînant un risque de pollution, représente également un point d'attention lors d'une symbiose territoriale. Les synergies pourraient inclure des étapes de formulation – qui n'ont pas été étudiées dans les scénarios – visant à équilibrer la composition des PRO avec la demande en nutriments. La définition de recommandations techniques d'apport au champ (fréquence, taux de substitution) constitue un autre moyen pour considérer ce risque.

Enfin, dans les hypothèses de modélisation et selon le cadrage de cet exercice (voir Chapitre 4), les évolutions possibles des trajectoires agricoles¹⁶¹ ont été écartées des scénarios. Cela signifie donc qu'ils portent uniquement sur le système agricole tel qu'il existe actuellement, sans questionner les besoins intensifs en intrants minéraux. Le scénario S3, que

¹⁶⁰ Cet indicateur a été choisi car il avait été identifié dans la phase de préparation des scénarios comme potentiellement problématique.

¹⁶¹ Comme expliqué au Chapitre 4, cet élément était volontairement mis de côté dans le cadrage de la thèse.

l'on peut voir comme un « maximum technique » – du moins, dans la situation actuelle – suggère qu'une évolution seule des procédés de transformations des PRO, permettra difficilement de réduire la dépendance des systèmes agricoles en ressources non renouvelables. Pour tenir ses promesses de résorber la rupture métabolique, la symbiose territoriale doit dépasser ce cadrage en ouvrant la concertation à l'évolution des modalités de production agricole. Cela pourrait nécessiter la formulation de promesses plausibles mettant mieux en avant cette évolution, ce qui n'a pas pu être réalisé dans le cadre de ces travaux. Remarquons que cette limite n'est pas spécifique à cette situation. De manière générale, la symbiose industrielle consiste à exploiter un potentiel de symbiose entre des structures (industries, entreprises...) existantes. Elle ne vise nullement à remettre en question le mode de fonctionnement de ces structures pour l'adapter aux matières localement disponibles.

Le potentiel de résorption de la rupture métabolique

Le potentiel de recyclage qui semblait très important sur la plaine de Versailles apparaît moindre en tenant compte des solutions techniques nécessaires à implémenter pour qu'il soit exploité. Cet exercice d'évaluation illustre l'écart qu'il peut y avoir entre l'existence d'un potentiel de valorisation de nutriments, et la difficulté technique à faire en sorte que ces nutriments soient restitués de manière efficace aux cultures. Dans la situation étudiée, il reste des verrous sociotechniques importants à lever pour mettre en œuvre un système complètement circulaire pour les nutriments. Cela interroge quant aux études de métabolismes régionaux, qui suggèrent qu'une meilleure circularité du système alimentaire serait possible (Billen *et al.*, 2021 ; Wielemaker *et al.*, 2019). De telles études sont d'une grande importance pour identifier les situations de rupture métabolique territorialisées. Cependant, ces situations ne permettent pas nécessairement de mesurer le potentiel *réel* de substitution tenant compte des possibilités disponibles. Pour cela, il faut s'assurer qu'il existe des moyens techniques matures pour l'exploiter, c'est-à-dire considérer avec attention les procédés et filières à mettre en œuvre pour résorber cette rupture. De cela dépend, entre autres, la pertinence des réponses qui pourront être apportées par une symbiose territoriale. Par ailleurs, le problème aurait sans doute été d'autant plus marqué si nous avions intégré une vision élargie de la bioéconomie, incluant notamment la substitution de matière première dans d'autres secteurs que celui de l'agriculture – étant donné que la symbiose envisagée peine à pourvoir ce seul secteur, avec lequel le potentiel de recyclage est pourtant le plus élevé.

Chapitre 10. Mise à l'épreuve de promesses plausibles auprès des acteurs du SGPRO

Les chapitres précédents apportent des connaissances précieuses et diversifiées sur le système-territoire, qui ne correspondent pas encore à des promesses plausibles. Ce dernier chapitre de la Partie III a pour but de concevoir de telles promesses, de manière à les mettre à l'épreuve en les présentant à un ensemble représentatif d'acteurs-cibles pertinent (objectif (C) de ce dernier chapitre). Pour ce faire, une seconde phase d'entretiens a été conçue et conduite pour répondre spécifiquement à cet objectif (voir section 7.3.2). La première étape de cette étude, présentée dans la section 10.1, est de donner corps à la gamme de promesses plausibles de manière à permettre leur évaluation par des acteurs du système-territoire, ainsi que de détailler une méthodologie d'analyse combinant des aspects quantitatifs et qualitatifs. La section 10.2 présente les résultats obtenus, en mettant ces deux types d'analyse en discussion. Enfin, une discussion est proposée dans la section 10.3, pour apporter un retour général sur cette étude qui conclut la Partie III de la thèse.

10.1. Méthodologie pour la mise à l'épreuve de promesses plausibles

La compréhension du SGPRO déterminée par le Chapitre 8 et la modélisation de scénarios réalisée au Chapitre 9 fournissent les informations nécessaires pour concevoir la gamme de promesses plausibles présentée au Chapitre 7. Celles-ci doivent à présent être formalisées selon les neuf modalités prévues dans la section 7.2.3, de manière appropriée à la présentation et à l'évaluation dans le cadre d'un entretien d'une durée raisonnable. La conception du matériel d'enquête utilisé pour évaluer les promesses plausibles est d'une importance déterminante pour l'analyse des résultats, et représente une originalité méthodologique qui mérite une explication détaillée, proposée dans la section 10.1. La méthodologie utilisée doit permettre non seulement de comparer les évaluations d'un entretien à l'autre, mais également de comprendre et comparer les justifications sous-jacentes de ces évaluations, combinant ainsi des aspects quantitatifs et qualitatifs. Cette méthodologie couplée est présentée dans la section 10.2.

10.1.1. Elaboration d'une gamme de promesses plausibles et du matériel d'entretien

La forme donnée aux promesses plausibles dans les entretiens correspond à un discours oral d'une durée courte, qui pourrait par exemple être énoncé lors d'un appel téléphonique. Ce discours est formulé comme une invitation à une démarche de concertation, portant sur l'évolution du SGPRO de la plaine de Versailles. Les démarches de concertation sont fictives, mais le répondant a pour consigne de se placer dans le cas où celles-ci seraient réelles. Il s'agit d'un exercice de **mise en situation** (Ferber et Guérin, 2003). D'après Etienne : « *L'explicitation par mise en situation consiste à demander à un thématicien (qui est bien souvent acteur du système représenté dans le cadre des démarches de modélisation d'accompagnement) d'expliquer à voix haute les actions qu'il entreprendrait par rapport à différentes situations qui lui sont présentées. Cette technique permet d'expliciter les connaissances tacites de la personne en stimulant l'introspection, c'est-à-dire la capacité à rendre conscientes des zones de flou ou de dissonances entre émotions, pensées et actes (...)* » (Etienne, 2010, pp 81-82). Ce format amène donc le répondant à expliciter le positionnement et les actions de sa structure en fonction de ces discours, en permettant de maintenir une durée d'entretien raisonnable. Afin que chaque acteur soit soumis exactement au même message, **les discours ont été pré-enregistrés, et diffusés sous forme d'extraits audios lors des entretiens.**

Intégration des trois scénarios dans trois sessions

Comme cela a été explicité au Chapitre 7, l'élément variable d'une promesse plausible à l'autre varie selon sa **situation**, c'est-à-dire la justification collective pour laquelle les actions sont entreprises, qui se traduisent par deux axes, la **temporalité** (court terme / long terme) et le **niveau de définition** (mal défini / bien défini), chacun décliné selon **trois modalités** (conduisant à un total de 9 promesses plausibles, voir le Tableau 16 du Chapitre 7). Pour cela, les promesses plausibles ont été déclinées dans trois sessions correspondant à chacune un horizon temporel (ou scénario) distinct, dont les éléments clés sont synthétisés par le Tableau 37. La **Session 1** (S1) correspond au diagnostic de la situation actuelle, élaboré dans le Chapitre

8 (notamment la section 8.1). Il représente des enjeux à **court terme**, puisque les acteurs sont appelés à agir immédiatement face à une situation existante insatisfaisante sans que les perspectives technologiques ne soient précisées. La **Session 2** (S2) correspond au scénario dit « Zéro Gaspi » du Chapitre 9 (scénario 2). Elle se projette dans un horizon **moyen terme**, cherchant à optimiser le système de gestion des PRO par rapport à sa configuration actuelle. Elle fait intervenir des procédés de transformations maîtrisés, comme le compostage et la méthanisation, poursuivant les dynamiques d'évolutions techniques et politiques en cours. La **Session 3** (S3) correspond au scénario dit « Agri Max » du Chapitre 9 (scénario 3). Elle se projette dans un horizon **long terme**, guidée par la problématique de la substitution des nutriments. Elle fait notamment intervenir le traitement séparé des urines ou l'épuration des eaux usées par micro-algues, puis la méthanisation de ces micro-algues, qui sont des technologies plus difficiles à mettre en place, moins matures et moins encouragées. Bien que certaines perspectives soient mises en avant dans les sessions S2 et S3, toutes les sessions précisent que la réflexion porte sur l'ensemble des flux de matière organique et présente la concertation comme ouverte à toutes les alternatives concernant ces flux.

Tableau 37 : Présentation synthétique du contenu technique des sessions.

<i>Sessions</i>	<i>Contenu technique (cf. Chapitre 9)</i>	<i>Horizon temporel</i>	<i>Perspectives technologiques mises en avant</i>
<i>S1</i>	Diagnostic	Court terme	Aucune perspective technologique particulière. L'accent est mis sur l'intérêt de la concertation.
<i>S2</i>	Scénario « Zéro Gaspi »	Moyen terme	Gestion de proximité, Compostage, méthanisation.
<i>S3</i>	Scénario « Agri Max »	Long terme	Gestion séparée des urines, traitement des eaux par micro-algues et méthanisation, extraction de nutriments.

Déclinaison de chaque scénario en trois niveaux de détail

Le niveau de détail tel qu'il a été défini dans le Chapitre 6 correspond à la mesure dans laquelle l'interprétation des discours est ouverte à l'interprétation par les acteurs-cibles. Chacune des sessions a été divisée en trois promesses plausibles présentant un niveau de définition croissant. Afin de les rendre comparables d'une session à l'autre, les discours des promesses plausibles ont été construits comme une **succession d'arguments** dont la nature dépend de la modalité de détail, présentés dans le Tableau 38. Dans leur construction, ils sont structurés en distinguant ce qui porte sur (1) les objectifs de la concertation, (2) les éléments de contexte général dans le système actuel dont sont issus ces objectifs (enjeux), (3) les moyens envisagés pour atteindre les objectifs et (4) les retombées possibles après la concertation (perspectives). Le discours **peu détaillé** (D1) présente les objectifs en employant un terme générique semblable à un idéogramme, des enjeux non chiffrés et des moyens non spécifiques. Le discours **détaillé** (D2) précise les objectifs en des termes explicites, appuie les enjeux et perspectives avec des chiffres et donne des perspectives techniques spécifiées. Le troisième niveau de détail (D3) présente des **détails élargis** – chiffrés lorsque c'est possible – sur les plans réglementaires, économiques et environnementaux, en plus de préciser la disponibilité d'un outil de modélisation dynamique en montrant les résultats obtenus grâce à cet outil sur le

Chapitre 10

système-territoire¹⁶². Présentés à la suite, **les niveaux de détail se cumulent aux précédents**. Les niveaux de détail D2 et D3 s'appuient sur les modélisations et les études effectuées lors de la modélisation de scénarios au Chapitre 9. Certaines précisions sur des facteurs non-techniques sont également issues de la compréhension du système-territoire (Chapitre 8). La formulation exacte de ces différentes modalités est décrite dans l'annexe C-4.1. Enfin, afin d'accentuer le contraste entre les extraits, la durée des extraits audio a également été conçue de manière à être croissante avec l'éloignement de l'horizon temporel (à niveau de détail équivalent) et croissante avec le niveau de détail (à session équivalente).

Tableau 38 : Présentation de la variation du niveau de détail des promesses plausibles.

Niveau de détail	Argument	Nature du discours	Données d'appui
D1	Objectifs mal définis	Utilisation d'un idéographe (cf. Partie III) Formulation sujette à interprétation	Principe scénario (section 7.2.3 et section 9.2.1)
	Enjeux qualitatifs	Peu de précisions, non chiffrées	
	Moyens génériques	Pas de perspectives technologiques	Principe scénario (section 7.2.3 et section 9.2.1)
D2	Objectifs explicites	Formulation peu sujette à interprétation	Principe scénario (section 7.2.3 et section 9.2.1)
	Enjeux et perspectives chiffrés	Flux de nutriments chiffrés Potentiels de substitution de nutriments ou de production d'énergie chiffrés	Résultats Chapitre 8 et Chapitre 9
	Perspectives technologiques détaillées	(Pour S2 et S3 seulement) Exemples de technologies pouvant être mises en débat au cours de la concertation.	Hypothèses technologiques Chapitre 9
D3	Précisions réglementaires, et environnementales	Indication de leviers réglementaires	Connaissance SGPRO Chapitre 8
	Précisions économiques	Détail des conséquences économiques	Résultats Chapitre 9
	Précisions environnementales	Détail des impacts sur l'environnement	Résultats Chapitre 9
	Modélisation technique illustrée	Présentation d'un outil de modélisation disponible pour accompagner la concertation, et d'une image illustrant cet outil.	Résultats Chapitre 9

Caractéristiques constantes

En plus de ces modalités variables, certains aspects des discours étaient identiques dans chaque session. Il s'agit notamment des autres dimensions clés de la promesse plausible : l'acteur initiateur, la réponse collective et les acteurs-cibles. En cohérence avec les principes donnés dans le Chapitre 7, voici les choix fait concernant ces éléments :

¹⁶² Cet outil n'existe pas au niveau de maturité prétendu dans les enquêtes à l'heure actuelle. Pour les mises en situation, il a été présenté comme étant disponible, en illustrant cela par des images et données obtenues sans un tel outil (voir la suite).

Acteur initiateur : Dans le cadre des promesses plausibles formulées, l'acteur initiateur est **un chercheur, dont l'affiliation n'est pas précisée**, afin que les réactions des acteurs du territoire ne portent pas sur une entité académique spécifique (INRAE, Cirad, ...).

Réponse collective : Dans les promesses plausibles présentées, la concertation intègre les acteurs-cibles à la gouvernance de la démarche, en laissant ouvertes toutes les perspectives. Les éléments de spécification donnés ne servent qu'à orienter les objectifs de la concertation, mais celle-ci pourrait se dérouler de la même manière dans les trois sessions. Cette réponse correspond à une action de co-construction, telle que définie dans le Chapitre 6.

Acteurs-cibles : Dans les consignes générales données avant l'exercice, il est indiqué que la concertation concerne tous les acteurs du SGPRO. Dans les extraits audio, aucune précision n'est donnée sur les autres acteurs contactés.

Ordre de présentation des promesses plausibles.

Les trois sessions et les trois niveaux de détails correspondent ainsi aux 9 promesses plausibles présentées au cours des entretiens de phase 2, et illustrées par la Figure 80. Par la suite, une promesse plausible sera donc définie par sa session (S) et son niveau de détail (D). Par exemple, S1-D1 désigne la promesse plausible de niveau de la session 1 (« Diagnostic ») avec les éléments de détails D1 (« Objectifs, enjeux et moyens mal définis »). Les sessions sont indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire que la première promesse plausible d'une session (D1) se présente systématiquement comme un nouveau projet de concertation. En revanche, **le niveau de détail est cumulatif** : les promesses plausibles plus détaillées prennent pour acquises les niveaux de détails moins détaillés. De cette manière, la PP de niveau D2 correspond en réalité à D1+D2, et la PP de niveau D3 correspond à D1+D2+D3. Etant donné la composition de cette gamme de promesses plausibles, leur ordre de présentation auprès des répondants ne peut être aléatoire. Au cours d'une session, il est ainsi impossible de présenter D2 sans avoir préalablement présenté D1, ni de présenter D3 sans avoir préalablement présenté les D1 et D2. De plus, les contenus techniques des sessions S2 et S3 donnent des perspectives technologiques qui risquent de biaiser la lecture des sessions ayant un horizon temporel plus restreint, et en particulier la S1. Celle-ci doit donc impérativement être présentée avant les deux autres. Il a été également décidé que la S2 serait systématiquement présentée avant la S3. Ainsi, l'ordre de présentation des promesses plausibles est identique pour tous les entretiens, et représenté sur la Figure 80. Au cours des entretiens, comme dans les chapitres suivants, les promesses plausibles ont été associées à un code couleur représentant leur session et niveau de détail, qui apparaît également sur la Figure 80.

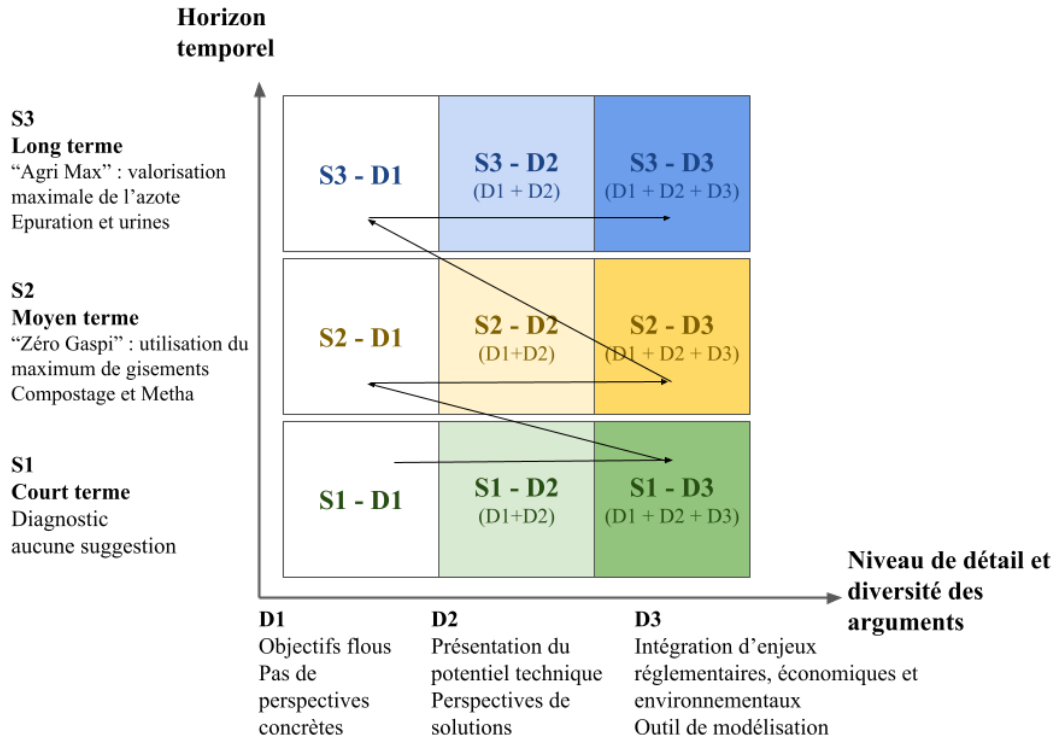


Figure 80 : Synthèse des promesses plausibles présentées, ordre de présentation dans les entretiens, et code couleur utilisé pour les représenter.

Utilisation d'un plateau descriptif et de cartes-arguments

Un des risques identifiés lors des extraits audio est que, compte tenu de leur densité en informations, tous les arguments énoncés ne soient pas correctement identifiés par les répondants. Afin de faciliter l'identification et la remémoration de ces arguments, des cartes symboliques et un plateau de présentation ont été utilisés en parallèle de la diffusion des extraits audio. Pour ce faire, chaque argument a été représenté par une **carte-argument** présentant un symbole et/ou un très court texte permettant de se le remémorer. Lors de la lecture des extraits audio au cours de l'entretien, au moment où un argument est énoncé, la carte-argument correspondante est déposée sur un plateau de présentation, de manière visible par le répondant. Le plateau, présenté par la Figure 81, est lui-même décomposé en espaces différents, associés à la nature des arguments – cette nature étant effectivement commune pour chaque promesse plausible d'une session à l'autre, comme le montre le Tableau 38. Une partie du plateau est consacrée au rappel des consignes. Afin de permettre la distinction entre les sessions et les promesses plausibles, les cartes-arguments ont utilisé le code couleur de la Figure 80 pour les différencier. Le détail de ces cartes et du moment où elles interviennent dans chaque session est donné en Annexe C-4.1.

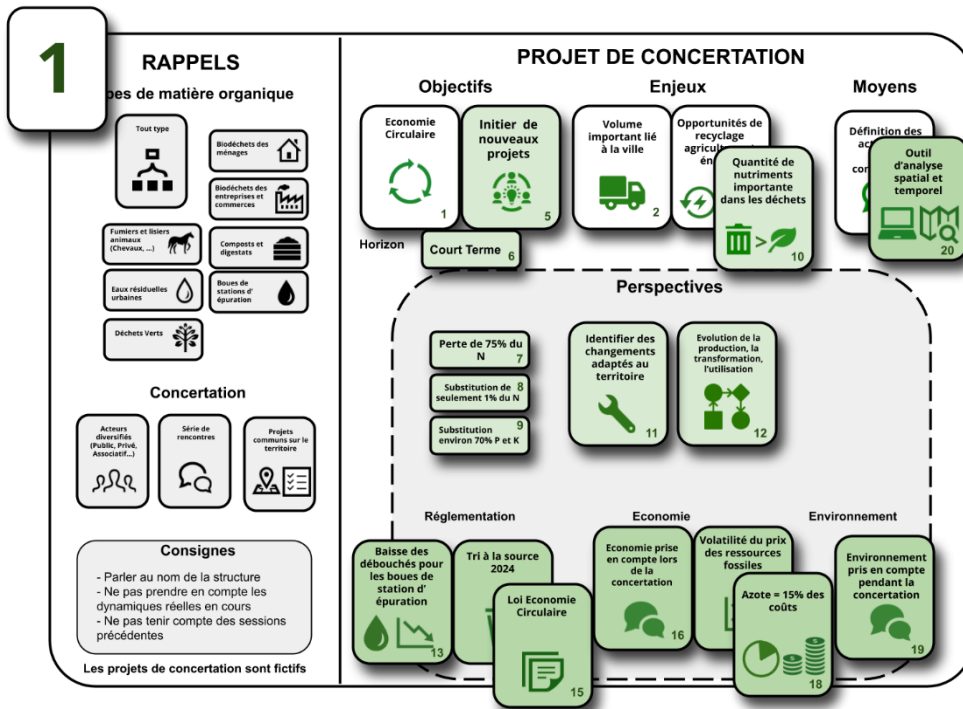


Figure 81 : Plateau de présentation complet pour la session 1. Les cartes vertes et blanches sont celles qui sont déposées au fur et à mesure de l'extrait 1. La partie gauche du plateau est imprimée, et rappelle les consignes. Les cartes sont montrées au fur et à mesure que sont diffusés les extraits audio.

Au cours des PP de niveau D3, une image format A4 a été montrée, en plus des cartes-arguments, afin d'appuyer l'existence d'un outil de modélisation et de montrer graphiquement des résultats obtenus au Chapitre 9. L'image présente l'interface fictive d'un tel outil, accompagnée des diagrammes radars réalisés à cet effet (voir 9.2.4), comme le montre la Figure 82.

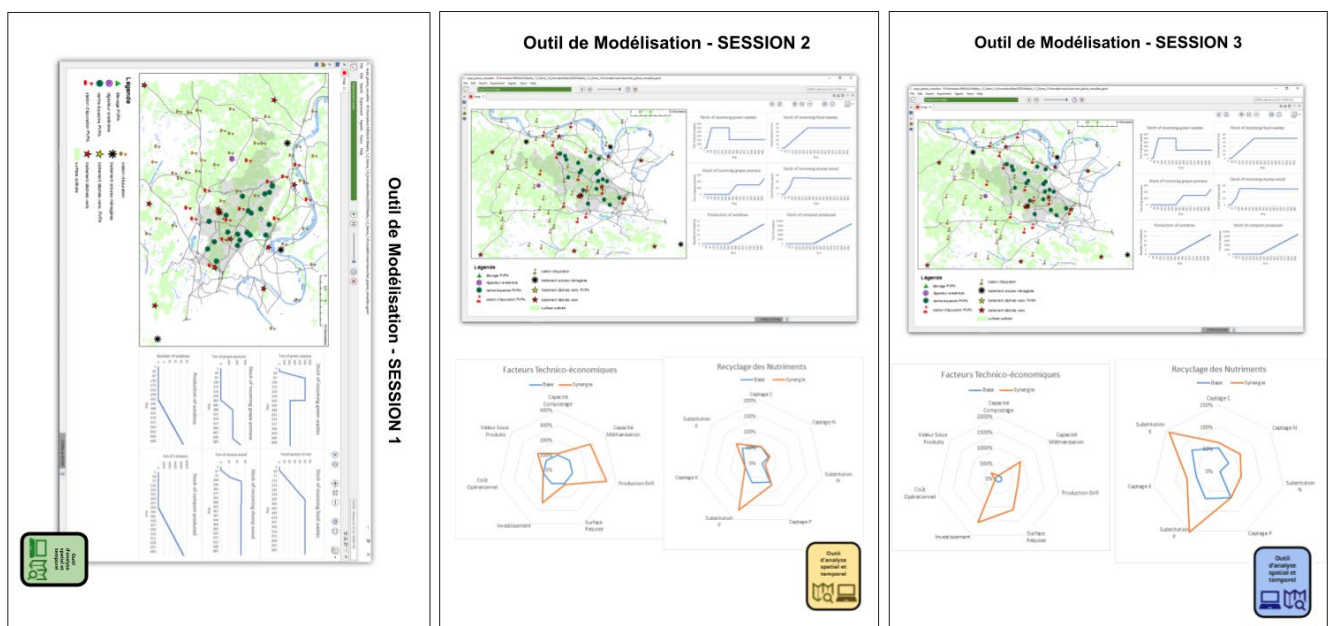


Figure 82 : Images complémentaires (format A4) montrées aux répondants lors de la promesse plausible de niveau de détail D3.

Grille d'évaluation des promesses plausibles

Les promesses plausibles ainsi construites sont évaluées selon deux aspects : leur **performativité** – i.e. leur capacité à mobiliser les acteurs au sein d'une démarche de concertation –, et leur **crédibilité** – i.e. le degré avec lequel les acteurs partagent la situation justifiant l'action. La performativité a été évaluée par un indicateur appelé « intérêt », et la crédibilité par un indicateur appelé « réalisme ». Ce vocabulaire plus simple et accessible correspond en réalité à une transposition des aspects évalués par l'acteur initiateur dans le point de vue de l'acteur-cible (c'est-à-dire le répondant). Ces deux dimensions, présentées par le Tableau 39, sont évaluées de manière quantitative et qualitative. Cette double évaluation permet de tester l'hypothèse (H2) présentée au Chapitre 7, c'est-à-dire que l'intérêt des acteurs-cibles se base, au moins en partie, sur le partage du constat d'une situation issue d'une connaissance scientifique du territoire.

Tableau 39 : Vocabulaire et questions utilisées pour évaluer la performativité et la crédibilité des promesses plausibles.

<i>Dimension évaluée (du point de vue de l'acteur initiateur)</i>	<i>Dimension évaluée (du point de vue de l'acteur-cible)</i>	<i>Question type posée aux répondants</i>
<i>Performativité</i>	Intérêt	Viendriez-vous à la concertation ?
<i>Crédibilité</i>	Réalisme	Les éléments énoncés vous semblent-ils réalistes ?

Pour uniformiser l'évaluation quantitative des promesses plausibles, une grille identique a été remise à chaque répondant. La grille permet une notation indépendante de l'intérêt et du réalisme pour chaque promesse plausible, en utilisant une échelle discontinue allant de 1 à 10 – 1 étant associé à un très faible niveau d'intérêt ou de réalisme, et 10 étant associé à un très fort niveau. Cette échelle présente l'avantage de permettre l'utilisation de méthodes d'analyse numériques et statistiques pour évaluer et comparer les scores obtenus. Elle permet également aux répondants d'exprimer de légères variations dans leurs notes, et ainsi de comparer les écarts de notes d'une promesse plausible à l'autre. A la fin de chaque session, il est demandé aux répondants d'évaluer l'intérêt et le réalisme de l'intégralité de la session, c'est-à-dire les trois extraits à la suite. Cette évaluation finale est appelée **moyenne globale**, par opposition à la moyenne calculée des notes données aux trois extraits (les deux moyennes n'étant pas systématiquement égales). Il s'agit d'un moyen de validation de la cohérence des réponses des répondants. Cette évaluation est également complétée, une fois que toutes les promesses plausibles ont été présentées, par un classement de préférence (sur l'intérêt et le réalisme) des sessions entières. La grille d'évaluation complète est présentée en Annexe C-4.4. L'évaluation qualitative se fait par des questions ouvertes et semi-directives, afin de comprendre la notation des répondants. Après avoir rempli la grille, ils sont amenés à commenter en détail leur positionnement sur leur intérêt, et le réalisme qu'ils ont attribué aux extraits audio. La grille d'évaluation sert ainsi de support de discussion pour identifier les justifications des acteurs. Une attention particulière a été donnée pour qu'ils commentent leurs changements de position d'un extrait à l'autre.

10.1.2. Sélection des acteurs-cibles : identification des répondants à la seconde phase d'entretiens

La sélection des répondants pour la Phase 2 passe par trois étapes : (1) identification des structures éligibles (2) sélection d'un panel représentatif et équilibré de structures éligibles et (3) identification des personnes qualifiées pour s'exprimer en tant que représentantes des structures sélectionnées.

Pour qu'une structure puisse être éligible, elle doit être identifiée comme étant un acteur-cible pertinent au vu des résultats du Chapitre 8. Un premier mode d'identification des structures éligibles consiste à demander directement, lors d'un entretien conduit au cours de la Phase 1, si le répondant estime que sa structure pourrait être partie prenante lors d'une concertation. Lorsque c'est le cas, la structure est éligible à un entretien pour la seconde phase. Le deuxième mode d'identification fait appel à une prospection, basée sur la connaissance préalable du SGPRO ou sur des informations acquises lors des entretiens précédents.

Pour des raisons de diversité et de représentativité, toutes les structures éligibles ne sont pas sélectionnées. Le choix fait pour la sélection a été de déterminer à l'avance le nombre d'acteurs attendu dans des catégories afin qu'il soit comparable d'une catégorie à l'autre. Ces catégories se fondent sur les rôles identifiés au sein du SGPRO (cf. 8.2.5), chaque acteur étant ramené à un rôle « principal » - pour rappel, un acteur peut avoir plusieurs rôles au sein du SGPRO. Le nombre maximal d'entretiens possibles pour certaines catégories d'acteurs est limité. En effet, les opérateurs et prestataires dans la gestion des déchets organiques sont, à l'échelle du territoire, en nombre relativement faible, de même que les acteurs politiques, institutionnels et associatifs (communautés d'agglomérations et syndicats de collecte et traitement des déchets, chambre d'agriculture, association patrimoniale, associations citoyennes). A l'inverse, les producteurs et utilisateurs de PRO (agriculteurs, centres équestres, PME, restaurants...) sont nombreux, mais leur poids individuel est plus faible dans le système global. Ces profils sont nécessaires à intégrer dans la campagne d'entretiens mais ne doivent pas être surnuméraires afin de ne pas déformer les résultats. Prenant en compte cette disparité, les efforts de prospection pour trouver de nouvelles structures ont été priorisés pour équilibrer la diversité globale du panel au vu des entretiens déjà réalisés. Au sein d'une même catégorie, la diversité et complémentarité des profils a été recherchée. En agriculture notamment, une attention a été portée, dans la sélection, sur la variété des pratiques agricoles et des caractéristiques des exploitations (maraîchage, grande culture céréalière, localisation proche des zones urbaines ou non, agriculture bio).

Une fois la structure identifiée, un répondant pertinent et disponible est identifié au sein de cette structure. Les répondants de cette phase doivent, soit disposer d'un pouvoir de décision au sein de la structure, soit être en mesure de s'exprimer comme s'ils en disposaient (voir section 7.3.2). Cela établi, un critère de réalisation déterminant est la possibilité de contacter les acteurs au sein des structures identifiées, et la disponibilité de ces acteurs pour participer à l'entretien. Ce dernier critère ne peut pas être maîtrisé, et a contribué à configurer les caractéristiques de l'échantillon. La sélection obtenue, classée en fonction du rôle principal des acteurs dans le SGPRO est donnée dans le Tableau 40.

Chapitre 10

Tableau 40 : Acteurs rencontrés pour l'évaluation des promesses plausibles par type de rôle. Les acteurs, classés en fonction de leur rôle principal (celui le plus proche de leur cœur d'activité), peuvent occuper d'autres rôles. Voir le Chapitre 8, section 8.2 pour des précisions concernant le rôle de ces acteurs.

<i>Rôle principal</i>	<i>Acteurs rencontrés</i>
<i>Producteurs</i>	Entreprise de restauration collective
<i>Transformateurs</i>	Centre équestre Sepur Bio Yvelines Services STEP Carré de Réunion Thoiry Bioénergie
<i>Collecteurs</i>	Moulinot Collecteur fumier
<i>Utilisateurs</i>	5 agriculteurs : Maraîcher, Maraîcher-céréaliériste Céréaliériste AB Céréaliériste conventionnel Céréaliériste conventionnel et AB
<i>Animateur</i>	Association LVDD
<i>Fédérateur</i>	Chambre d'Agriculture APPVPA
<i>Apporteur de solution</i>	Organeo UpCycle
<i>Régulateur</i>	Versailles Grand Parc SIEED

10.1.3. Déroulement des entretiens

Déroulement général

Les entretiens se déroulent en trois grandes parties décrites par la Figure 83. Après un premier temps introductif présentant les objectifs de la thèse, une première phase semi-directive est proposée, similaire à celle des entretiens compréhensifs du SGPRO, ayant pour but de consolider la formalisation du système-territoire proposée au Chapitre 8¹⁶³. La deuxième partie correspond à l'évaluation à proprement parler des promesses plausibles, à l'aide des extraits audio et du plateau de présentation, par le biais d'une grille d'évaluation et de questions complémentaires, visant à combiner une analyse quantitative et qualitative. Enfin, selon la disponibilité des répondants, un échange final est proposé, moins formel, visant à donner un retour sur l'exercice ou des compléments. Les détails de ces différentes parties, représentés sur la Figure 83, sont explicités ci-dessous. Avec l'accord des répondants, les entretiens ont été enregistrés, puis retranscrits. Le guide complet d'entretien est présenté en Annexe C-4.3.

¹⁶³ Les résultats de cette partie compréhensive des entretiens de phase 2 sont intégrés dans l'analyse proposée au Chapitre 8.

Partie III

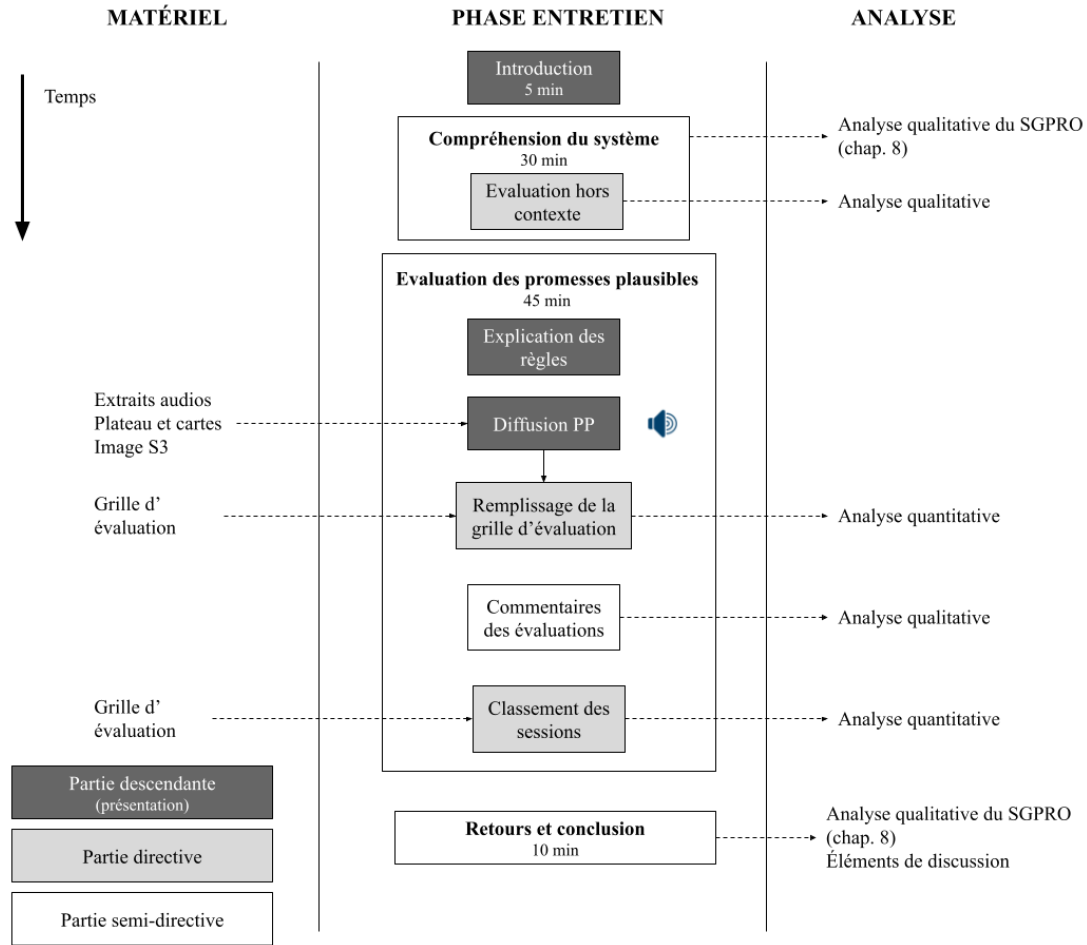


Figure 83 : Déroulement des entretiens visant à évaluer les promesses plausibles, matériel utilisé et type d'analyse effectué

Partie semi-directive et évaluation hors contexte de l'intérêt pour la concertation

Les thèmes abordés lors de la première partie sont assez similaires à ceux de la Phase 1, structurés de la manière suivante : (1) Présentation du répondant et de sa structure ; (2) Place de la matière organique dans les activités de la structure ; (3) Démarches de concertations actuelles ou passées, dans lesquelles est impliquée la structure. Cette partie permet de comprendre la place du répondant au sein du SGPRO, son expertise, son niveau de connaissance sur les sujets abordés et ses expériences passées. Elle favorise également sa mise en confiance dans l'exercice d'entretien. En conclusion de cette partie, les acteurs sont amenés à exprimer leur intérêt pour participer à une concertation en l'absence de tout contexte. La question posée est alors la suivante : « *Sans plus de précisions, accepteriez-vous de participer à une démarche de concertation autour de la gestion de la matière organique résiduelle du territoire ?* ». Cette **évaluation hors contexte** constitue un témoin qui vise à comparer l'influence du contenu des promesses plausibles par rapport à l'intérêt initial des acteurs pour ce sujet. Cela permet de tester l'hypothèse (H1) décrite dans le Chapitre 7, c'est-à-dire que le contenu d'une promesse plausible a effectivement une influence sur l'intérêt des acteurs-cibles pour participer à la concertation. Contrairement à l'évaluation de l'intérêt pour les autres promesses plausibles qui impliquait une notation, l'intérêt pour cette question hors contexte est évalué uniquement qualitativement.

Partie d'évaluation des promesses plausibles

Avant la séquence de présentation des promesses plausibles, des indications et consignes sont données. Le cadrage de l'exercice en termes de PRO concernés et de démarche de concertation est rappelé. Les répondants ont pour consigne (1) de s'exprimer au nom de la structure (2) de considérer chaque session comme indépendante et d'évaluer uniquement le dernier extrait écouté et (3) de faire abstraction, le cas échéant, de dynamiques de concertation similaires dans lesquelles leur structure serait déjà impliquée. Concernant ce dernier point, la promesse plausible est en effet supposée être une promesse *initiale* (voir Chapitre 6), et donc intervenir dans un contexte vierge de toute initiative concurrente. Comme présenté précédemment (section 10.1.1) l'évaluation des promesses plausibles est découpée en trois sessions, chacune composée de trois niveaux de détails, correspondant à des promesses plausibles matérialisées par des extraits audio. Ceux-ci sont diffusés, un par un, toujours dans le même ordre (voir Figure 80), et illustrés par des cartes disposées sur un plateau de présentation (voir Figure 81). A la fin de chaque extrait, le répondant est invité à remplir la grille de notation. A ce stade, certains commentent spontanément leurs notes, mais dans le cas contraire l'extrait suivant est diffusé. A la fin de chaque session (groupe de trois extraits), le répondant est invité à commenter, s'il ne l'a pas déjà fait, chacune des notes données en intérêt et en réalisme au cours de la session. A la fin des trois sessions, le répondant est amené à hiérarchiser celles-ci, avec l'aide d'un document de rappel synthétisant les principaux points de chaque session.

Séquence conclusive

La dernière partie de l'entretien, généralement plus courte, constitue un retour sur l'exercice et des compléments de la part du répondant. Les thèmes semi-directifs suivant peuvent y être abordés, de manière ni systématique ni exhaustive : (1) le rôle de l'acteur scientifique et intérêt de l'outil de modélisation, (2) les conditions idéales pour initier une concertation (3), les éléments manquants dans les extraits, ou encore (4) un retour sur l'exercice de mise en situation qu'ils viennent de vivre.

10.1.4. Méthodologie d'analyse

L'objectif général de cette étude est d'identifier les principales attentes des acteurs à l'initiation d'une concertation, et la manière dont elles interviennent dans les différentes sessions. Pour cela, les objectifs d'analyse sont découpés de la manière suivante :

- (1) Identifier des objets d'intérêt et de réalisme au sein des discours afin de comprendre leur importance dans la justification des acteurs
- (2) Décrire et interpréter les notes obtenues par les différentes PP en fonction de leurs caractéristiques
- (3) Identifier la nature du lien entre la crédibilité des PP et leur performativité.

L'objectif n'est ainsi pas de produire des résultats statistiquement robustes vis-à-vis des paramètres des PP, mais plutôt de comprendre les logiques sous-jacentes aux réponses des acteurs en tant que représentants d'une structure.

Analyse quantitative des notes données aux PP

La nature du problème et la limitation du nombre de répondants rendent peu pertinentes les méthodes de statistiques analytiques classiquement utilisées pour juger de la significativité d'une mesure. L'évaluation réalisée par la grille d'évaluation ne correspond pas à une mesure dont il est possible de déterminer une valeur « objective » hors du cadre d'expérimentation. Par ailleurs, le panel de répondants a été sélectionné afin de représenter une diversité d'acteurs du SGPRO de la plaine de Versailles, et sa taille est intrinsèquement limitée du fait des conditions expérimentales. Ce panel permet d'évaluer une diversité d'opinions auprès d'acteurs de position contrastées, mais n'est pas représentatif de l'ensemble des acteurs du SGPRO. Pour ces raisons, l'analyse quantitative priorise une approche descriptive, présentant les moyennes, les écarts-types et la distribution des réponses, afin d'identifier des tendances qui donneront un point d'entrée pour l'analyse qualitative.

Chaque PP est notée avec deux **notes**, l'une portant sur l'intérêt et l'autre portant sur le réalisme. Sur les 20 entretiens, 19 ont été exploités¹⁶⁴, comprenant donc 342 notes, ou 171 couples de notes intérêt-réalisme. Dans le schéma expérimental, les extraits sont systématiquement proposés dans le même ordre, induisant une augmentation progressive du niveau de détail (en passant de D1 à D2, puis de D2 à D3), et de l'horizon temporel des perspectives proposées (en passant de S1 à S2, puis de S2 à S3). Afin de mesurer l'effet de ces évolutions, des **notes relatives** sont construites. Les notes relatives peuvent être construites de deux manières : (1) la différence entre un niveau de détail et le niveau précédent, pour une session constante, notée $S_j - (D_k - D_i)$, et (2) la différence entre la note donnée à un niveau de détail équivalent dans deux sessions différentes, notée $(S_k - S_j) - D_i$. Chaque entretien permet ainsi d'établir deux jeux de 12 notes relatives (ou 6 couples de notes), soit 228 notes relatives ou 114 couples intérêt-réalisme relatifs¹⁶⁵. En plus de ces notes, les participants ont donné à chaque session une **moyenne globale**, après avoir entendu tous les extraits, et un **classement** relatif aux autres sessions, à la fin. Ces variables indiquent l'appréciation globale des sessions de plusieurs manières différentes, et permettent une validation des moyennes calculées.

Les PP sont comparées les unes aux autres avec des indicateurs de statistique descriptive : la moyenne¹⁶⁶ des notes, et leur coefficient de variation, correspondant à l'écart type divisé par la moyenne, qui permet de mesurer la dispersion des résultats. Cet indicateur a l'avantage d'être normalisé, ce qui facilite la comparaison des PP entre elles¹⁶⁷. Les notes

¹⁶⁴ Au cours d'un des entretiens, l'acteur a systématiquement donné la note « 1 » pour l'intérêt, témoignant d'une position fermée par rapport à la concertation, peu importe le contenu de la PP. Cette fermeture à la concertation rend les réponses de cet acteur peu comparables à celles des autres. Cet entretien a donc été retiré de l'analyse, et il a été vérifié que cette exclusion ne changeait pas la nature des résultats.

¹⁶⁵ Dans cette notation relative, D3 peut être comparée soit à D2, soit à D1, et S3 peut être comparée soit à S2, soit à S1. Ces deux comparaisons sont différentes, mais ne sont pas indépendantes. Lorsqu'il est nécessaire de choisir entre les deux, la comparaison de D3 et de S3 a été faite respectivement par rapport à D2 et S2, afin de représenter l'évolution suivie lors des entretiens. Les conclusions de l'analyse des notes relatives ne changent pas si cette comparaison est faite par rapport à D1 et S1.

¹⁶⁶ La moyenne est préférée à la médiane car elle permet d'établir un classement plus franc des PP, étant donné que plusieurs PP partagent la même médiane.

¹⁶⁷ Il n'est cependant pas utilisable pour la comparaison des notes relatives, car la moyenne de celles-ci s'approche de 0. Dans ce cas, c'est l'écart type non normalisé qui est utilisé.

moyennes par session et par promesse plausible sont également calculées. En ce qui concerne les sessions, les moyennes calculées à partir de toutes les notes au sein d'une session donnée sont comparées aux moyennes globales données directement par les répondants. Au-delà des indicateurs statistiques, une analyse de la distribution des résultats est effectuée. Pour cela, les notes ont été regroupées en un nombre limité de classes. Les classes retenues pour représenter la variabilité des notes données sont : [0;2] (notes mauvaises) ;]2;4] (notes médiocres) ;]4;6] (notes moyennes) ;]6;8] (notes bonnes) et]8;10] (notes excellentes). Pour les notes relatives, ces classes sont : [-10;-2[(forte baisse) ; [-2 – 0[(faible baisse) ; [0] (stagnation) ;]0;2] (faible augmentation) ;]2;10] (forte augmentation).

Une analyse de la corrélation entre intérêt et réalisme a été effectuée en calculant la covariance normalisée (Andraszewicz et Rieskamp, 2014) des deux variables sur l'ensemble des observations. Ce calcul a été fait pour les notes absolues et pour les notes relatives. Si la valeur de cet indicateur est proche de 1, cela indique une forte dépendance entre les variables, et une forte indépendance de celles-ci si elle est proche de 0. Un second indicateur est le coefficient de corrélation (R^2) de la droite d'interpolation linéaire calculée pour l'ensemble des notes, également compris entre 0 et 1, et dont l'interprétation est similaire.

Analyse des justifications des notes

Les commentaires et justifications donnés par les participants ont fait l'objet d'une analyse qualitative dédiée, suivant les principes généraux établis à la section 7.3.2 et complétés en annexe C-1.1, suivie d'une caractérisation et d'une quantification des arguments dans les discours. Cette question se rapproche fortement de cadres développés par la sociologie pragmatique, comme celui de la *justification* développée par Boltanski et Thévenot (Boltanski et Thévenot, 1991) ou de la *prise* de Bessy et Chateauraynaud (Bessy et Chateauraynaud, 1995). Dans l'analyse qualitative, de tels cadres préétablis n'ont cependant pas été utilisés, pour deux principales raisons. La première est que le cadre d'application est différent, car l'analyse vise ici à identifier les justifications et stratégies de structures morales, et non d'individus. La transposition de ces cadres plutôt développés pour analyser le mode de raisonnement d'individus est loin d'être évidente, et une approche plus inductive laisse ainsi plus de place à la compréhension des phénomènes observés. La seconde raison réside dans l'objectif opérationnel de cette analyse, qui vise à tirer des conseils quant à la conception des promesses plausibles. Il est pour cela nécessaire d'interpréter les réactions des acteurs au plus proche du terrain, en fonction de la manière dont ont été construites les promesses plausibles pour l'expérience. Cette analyse qualitative s'est effectuée en deux temps : (1) identification des objets d'intérêt et de réalisme et association avec des facteurs d'influence et (2) évaluation du poids et de la fréquence de ces éléments dans les entretiens. La première phase consiste à proposer une catégorisation des types d'objets d'intérêt et de réalisme qui sont comparables d'un entretien à l'autre – conduisant à cinq types : enjeux, processus, autres acteurs, perspectives et forme. Grâce au système d'encodage, il a ensuite été possible de rattacher ces objets aux familles de facteurs d'influence détaillées dans la section 8.2 – économique, environnemental, réglementaire, politique, social et technique. La seconde phase consiste à mesurer le **nombre de références** total à ces objets dans les entretiens (indicateur du *poids* d'un objet) –, ou le **nombre d'entretiens** présentant ces objets (indicateur de la *fréquence* d'un objet). Les détails méthodologiques sont donnés en Annexe C-4.6. La compréhension qualitative des réponses est mobilisée pour interpréter les évaluations hors contexte – sans promesse plausible – faites avant la présentation des extraits audio.

10.2. Description et analyse des notes données aux promesses plausibles par les répondants

Cette section présente les résultats en exposant de manière alternée des éléments d'analyse quantitative et qualitative. Les sous-sections suivantes suivent les objectifs d'analyse présentés au 10.1. Dans un premier temps (10.2.1), les objets d'intérêt et de réalisme des acteurs sont détaillés et mobilisés pour interpréter l'évaluation hors contexte de l'intérêt pour une concertation. Dans un deuxième temps (10.2.2), les notes sont analysées et mises en regard des justifications associées, afin d'identifier les logiques de réponses qui régissent chaque session. Dans un troisième temps (10.2.3), le lien quantitatif et qualitatif entre performativité et crédibilité est examiné.

10.2.1. Identification des objets d'intérêt et de réalisme au sein des discours

Identification des objets d'intérêt et de réalisme

Les **objets d'intérêt et de réalisme** correspondent à des éléments perçus et interprétés par les acteurs dans leur notation des PP, matérialisés sous la forme d'arguments. Cinq catégories d'objets ont été identifiées, s'appliquant aussi bien à l'intérêt qu'au réalisme, schématisées par la Figure 84 : les enjeux, les perspectives, le processus, les autres acteurs et la forme du discours. Les paragraphes suivants détaillent ces objets et les illustrent avec des citations issues des entretiens.

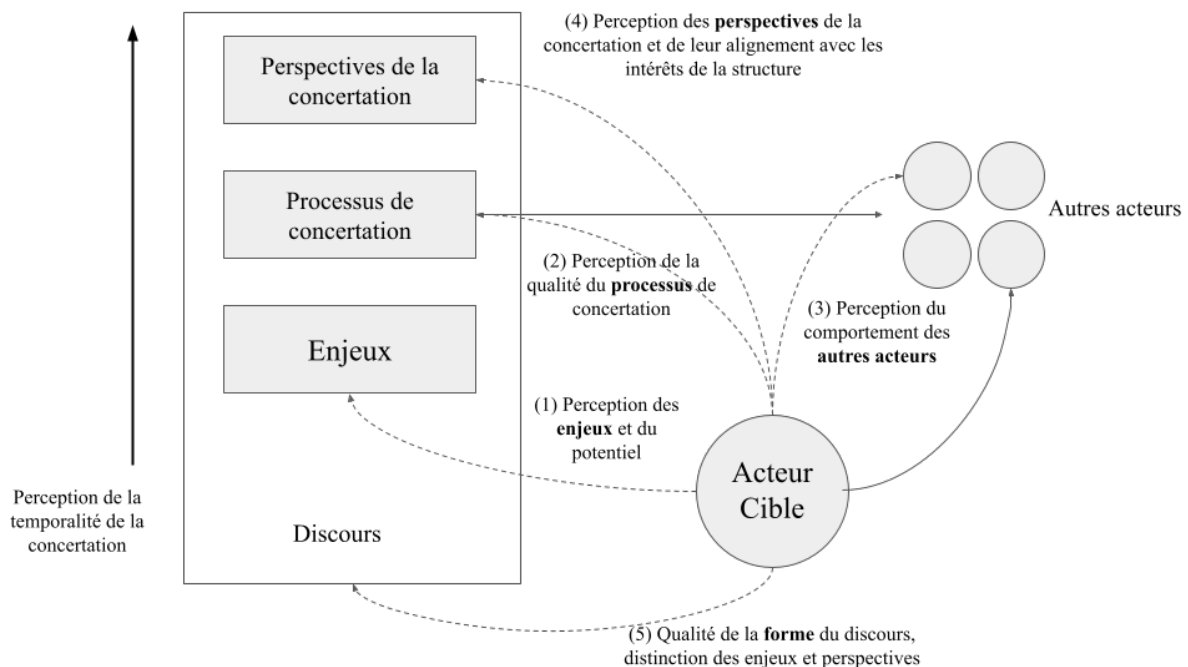


Figure 84 : Objets d'intérêt et de réalisme identifiés qualitativement dans les réponses des acteurs aux promesses plausibles.

Un nombre important de réactions porte sur les **enjeux** et constats qui sont présentés comme raisons de la concertation. Ces éléments correspondent aux connaissances sur l'état initial du système, avant la concertation, dont la description est plus ou moins partagée par les acteurs. Cela intègre notamment la réaction par rapport aux éléments chiffrés apportés dans les promesses plausibles.

Vous avez évoqué normalisation, homologation, sortie du statut de déchet, donc c'est bien le sujet, quoi.

Gestionnaire de déchets, S2, décembre 2021

Une autre dimension de la concertation abordée dans les réactions est celle du **processus** de concertation en lui-même. Il s'agit de la perception de la qualité de la démarche anticipée par les acteurs, en prenant parfois en compte leurs expériences similaires passées. Plusieurs éléments du processus peuvent être évoqués, comme la temporalité des actions, l'inclusivité des acteurs, la neutralité de l'animateur et de l'accompagnement.

En gros c'est – et c'est un peu binaire ce que je vais dire : est-ce qu'on va faire une concertation pour y ressortir quelque chose d'intéressant et une action, ou est-ce qu'on va y aller pour perdre son temps.

Acteur d'influence, conclusion, février 2022

L'anticipation du comportement des **autres acteurs** au cours de la concertation est également un objet d'intérêt et de réalisme. Cet objet correspond à la confiance accordée ou au manque de confiance exprimé envers certaines catégories d'acteurs, ce qui est un élément clé du bon déroulement de la concertation. Il permet aussi de comprendre les aspects liés à l'acceptabilité des solutions qui pourraient être mises en œuvre. Si la concertation semble s'opposer aux intérêts ou aux pratiques de certains acteurs, cela peut par exemple diminuer le réalisme des PP. Notons que cet objet peut être rattaché au processus, car c'est au cours de celui-ci que se manifesteraient les comportements imaginés, avec des répercussions positives ou négatives.

Après, moi je suis intéressé, à titre personnel, mais est-ce que tous les acteurs le seront ?

Gestionnaire de déchets, S1, janvier 2022

Dans la continuité du processus, beaucoup de réactions portent sur les **perspectives** de la concertation. Les perspectives peuvent être vues comme un aspect symétrique des enjeux : il ne s'agit plus d'un regard sur l'amont de la concertation, mais d'une estimation des conséquences en aval. Elles correspondent à la perception par les acteurs de l'issue possible ou probable de la démarche, de la pertinence avec laquelle elle apporterait une réponse aux enjeux, et des conséquences que celle-ci auraient sur leur activité.

Donc vraiment, tout est fait pour vous embêter. (...) Donc je peux comprendre peut-être certaines décisions politiques. Mais j'imagine plein de synergies sans nous, et j'imagine difficilement des synergies avec nous. Mais j'imagine plein de synergies sans nous, et j'imagine difficilement des synergies avec nous.

Enfin, le dernier objet qui ressort de l'analyse des arguments est la **forme des discours**. Il ressort ainsi que la formulation, le vocabulaire employé, le ton donné, sont explicitement pris en compte par certains acteurs pour justifier leur intérêt. Le fait de présenter les arguments sous une certaine forme (par exemple, en les appuyant de chiffres), ou le fait que le discours soit trop vague font également partie des éléments évalués.

Et puis aussi, comme je disais, sur la façon dont c'est amené, j'ai eu du mal à accrocher jusqu'à la fin de l'extrait.

Caractérisation des objets d'intérêt et de réalisme

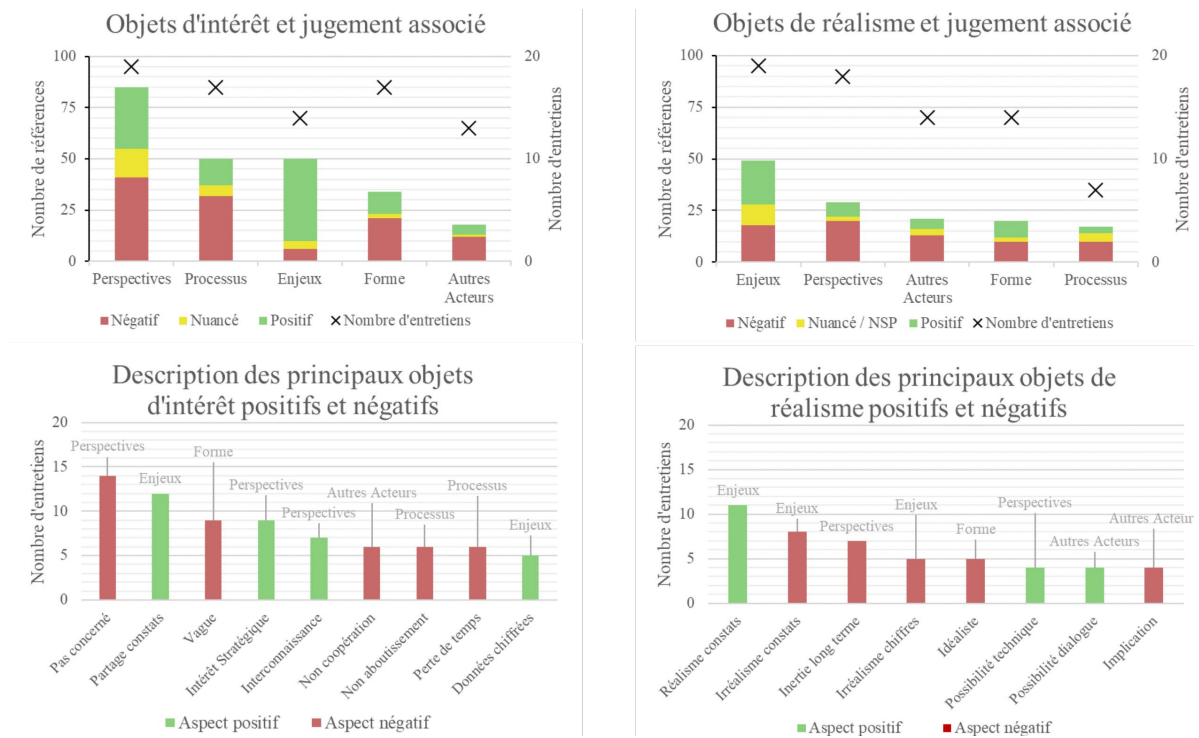


Figure 85 : Description qualitative des objets d'intérêt et de réalisme et de l'appréciation positive ou négative associée. Ils sont décrits dans le texte et illustrés par le Tableau 41 et le Tableau 42. Les étiquettes indiquent les objets auxquels sont associés ces arguments.

La Figure 85 représente les objets les plus fréquemment évoqués au cours des entretiens, leurs liens avec les différents facteurs d'influence, ainsi que l'appréciation positive ou négative associée à ces arguments. Au-delà de l'approche qualitative, cette caractérisation permet de comprendre le poids des différents objets dans la perception des PP par les acteurs. Les perspectives sont l'objet d'intérêt le plus influent, et peuvent autant représenter des freins que des leviers, au travers de deux logiques symétriques. Lorsque les perspectives sont évoquées dans un aspect négatif, la principale raison est le fait que celles-ci sont trop éloignées du secteur d'activité des acteurs et qu'ils ne se sentent donc **pas concernés**. Au contraire, lorsque les perspectives sont proches de leurs activités actuelles ou de leurs aspirations de développement, elles représentent pour eux un **intérêt stratégique**. Une des formes que peut prendre cet intérêt

est la perspective d'identifier les autres acteurs avec qui ils peuvent interagir, c'est-à-dire d'améliorer l'**interconnaissance** des acteurs à la suite du processus. Ces aspects montrent l'importance de l'alignement des perspectives perçues par les acteurs avec les intérêts de leur structure. Le processus de concertation est fréquemment évoqué et représente plutôt un frein à l'intérêt, notamment par la crainte du **non aboutissement** de celui-ci ou d'une **perte de temps**. Les enjeux et constats initiaux justifiant la concertation, lorsqu'ils sont évoqués, sont plus souvent un levier d'intérêt. Le fait que les acteurs **se reconnaissent dans la problématique**, et que les enjeux répondent à leur représentation et leurs attentes, peut ainsi susciter un fort intérêt à participer. Le fait que ces enjeux soient appuyés par des **données chiffrées** représente également un levier d'intérêt. Un frein notable à l'intérêt existe lorsque la forme du discours paraît trop **vague**. La crainte de la **non-coopération ou la non implication** des autres acteurs constitue aussi un autre frein. Les principaux objets d'intérêt sont synthétisés et illustrés dans le Tableau 41.

Tableau 41 : Illustration des principaux objets d'intérêt par des références issues des entretiens.

Objet d'intérêt	Description de l'objet	Illustration
Perspectives	Pas concerné	<i>En fait, moi là si je me positionne dans mon rôle de collecteur, traiteur, j'ai moins d'intérêt pour ce type de concertation. Beaucoup plus éloigné de ce que je peux faire, et de mes enjeux actuels.</i> Gestionnaire de déchets, S3, décembre 2021
	Intérêt stratégique	<i>Notre enjeu de toute façon c'est de déployer nos filières, notre modèle, de faire le maximum de choses. Donc on serait intéressés sur le principe, évidemment.</i> Gestionnaire de déchets, évaluation hors contexte, janvier 2022
	Interconnaissance	<i>C'est quelque chose que je retrouve vraiment par rapport à notre offre, donc c'est une concertation, je pense, à laquelle on serait très intéressés de participer. Mais plutôt dans le sens collecte de données, compréhension des enjeux de chacun des acteurs.</i> Gestionnaire de déchets, S1, décembre 2021
Processus	Non aboutissement	<i>Moi je veux bien être à l'initiative, faire des réunions pour mettre en place ces trucs-là, comme vous dites, c'est urgent, mais à chaque fois de toute façon ça accouche de pas grand-chose.</i> Agriculteur, S1, janvier 2022
	Perte de temps	<i>Sortir de là en se disant qu'on a perdu notre temps... On a autre chose à faire.</i> Agriculteur, S1, janvier 2022
Enjeux	Partage constats	<i>Ce qui me plaît, là c'est qu'on va vraiment au-delà de tout ce qu'on entend depuis 15 ans, 20 ans, dans des petites concertations, on tourne toujours autour du même sujet sans en sortir. Là vous prenez les choses de manière systémique, vous allez au-delà, vous considérez enfin un territoire, avec toutes ses ressources.</i> Gestionnaire de déchets, S3, décembre 2021
	Données chiffrées	<i>Je suis sensible aux chiffres, au concret, savoir ou on met les pieds, et là c'est ce qu'on a. On sait ce qui nous attend.</i> Producteur de déchets, S3, novembre 2021
Forme	Vague	<i>Ça reste intéressant, mais il faudrait un petit peu plus d'informations pour pouvoir se projeter dans le projet.</i> Agriculteur, S3, décembre 2021
Autres Acteurs	Non-coopération / non-implication	<i>Alors si on compte sur des agriculteurs pour financer quoi que ce soit, c'est mort d'avance, en ce qui me concerne. Je vais redescendre là parce que ça me paraît peu réaliste si on associe les agriculteurs. Si on associe les agriculteurs pour leur proposer un déchet à épandre, qu'ils le font gratuitement, il y aura pas de soucis. Si on leur demande de répercuter des coûts qu'ils auraient alors là c'est, pour moi, illusoire.</i> Acteur d'influence, S1, janvier 2022

Partie III

Pour le réalisme, les deux objets les plus évoqués sont les enjeux et les perspectives. Alors qu'ils étaient principalement un levier pour l'intérêt, les enjeux sont plutôt controversés en ce qui concerne leur réalisme. S'ils sont un facteur important de réalisme lorsqu'ils sont **reconnus**, ils peuvent cependant aussi être **mis en doute** (ou contrebalancés par d'autres enjeux) par les acteurs. Les **chiffres**, qui étaient plutôt identifiés comme un levier d'intérêt, peuvent en revanche être un frein au réalisme. Cela s'explique par le fait qu'il est parfois difficile pour les acteurs de faire confiance aux données avancées par un tiers. Ceux-ci ne se sentent parfois pas aptes à juger de leur validité, ce qui les place souvent en réserve par rapport au réalisme. En termes de perspectives, le réalisme est plutôt affecté négativement, principalement lorsque la projection dans le **long terme** se confronte avec la perception d'une inertie dans l'évolution du SGPRO. Cette inertie multifactorielle représente une incertitude importante, et crée une dissonance proportionnelle à l'ampleur perçue des changements à mettre en œuvre. A l'inverse, des perspectives semblant **techniquement réalisables** ont un effet positif sur le réalisme des discours. Le réalisme par rapport aux autres acteurs est également abordé de manière fréquente et ambivalente. D'une part, il semble réaliste de **discuter avec les autres acteurs**, peu importe l'aboutissement de ces discussions. En revanche, certains acteurs doutent de **l'implication** des autres dans la concertation, et font donc état du risque que cela entraîne pour son succès. Enfin, une forme du discours qui est perçue comme trop **idéaliste** entraîne une réaction de méfiance qui fait baisser la crédibilité de la PP.

Tableau 42 : Illustration des principaux objets de réalisme par des références issues des entretiens.

Objet de réalisme	Description de l'objet	Illustration
Enjeux	Reconnaissance des enjeux	<i>Le sujet des urines, des matières fécales, nous intéresse particulièrement en gestion de proximité parce que effectivement ces matières-là dans les réseaux d'épuration sont très problématiques, et on se rend compte qu'il y a énormément de nutriments qui sont perdus.</i> Gestionnaire de déchets, S3, novembre 2021
	Mise en doute des enjeux	<i>Dans la première grille d'écoute, il y a plus de choses entre guillemets pratico-pratiques qui sont avancées, et qui sont contestables, en tout cas qui vont me faire tiquer.</i> Acteur d'influence, S2, février 2022
	Irréalisme Chiffres	<i>C'est-à-dire que les chiffres c'est vous qui les avez, c'est vous qui les avancez, donc je ne peux qu'acquiescer pour l'instant (...).</i> Producteur de déchets, S1, novembre 2021
Perspectives	Inertie long terme	<i>Et dès qu'on va toucher aux enjeux réglementaires par rapport à ça, on se rend compte aussi que c'est très très verrouillé. Autant il y a des évolutions réglementaires sur les biodéchets qu'on a cité avant dans les autres sessions, autant sur ceux-là, je sens que ça va être beaucoup plus long.</i> Gestionnaire de déchets, S3, novembre 2021
	Possibilité technique	<i>Ouais, parce que c'est tout à fait réalisable, je pense. Il y a des plateformes de compostages. On tire une plateforme, on fout tout ça là-dessus, on composte, et puis basta, quoi.</i> Agriculteur, S2, janvier 2022
Autres acteurs	Possibilité dialogue	<i>Réalisme, réunir tout le monde et définir un schéma directeur, c'est ce qui est déjà en cours dans différentes strates, donc ça semble très réaliste, oui.</i> Acteur d'influence, S1, février 2022
	Manque implication	<i>Une concertation ça marche toujours, ça dépend qui est-ce que vous voulez réunir. Parce que si c'est des associatifs, ça va très bien marcher, si c'est des élus ça va être plus compliqué.</i> Acteur d'influence, S1, janvier 2022
Forme	Idéaliste	<i>Tout paraissait tout beau, tout parfait, et on sait très bien que c'est jamais comme ça dans la réalité.</i> Acteur d'influence, octobre 2021

Résultat et interprétation de l'évaluation préalable de l'intérêt hors contexte

Ces éléments permettent d'interpréter les résultats de l'évaluation réalisée préalablement à la session d'écoute, en l'absence de promesse plausible et donc de contexte. Dans ces conditions, 12/20 acteurs avaient un *a priori* positif sur la participation à une concertation, et seulement 2 acteurs avaient un avis négatif. Pour les 5 autres réponses¹⁶⁸, l'intérêt pour participer dépend du contexte. Ces résultats sont synthétisés par le Tableau 43. Les perspectives sont le principal centre d'intérêt des acteurs dans cette évaluation. Les répondants intéressés par celles-ci identifient un intérêt stratégique de leur structure (6), ou un intérêt pour l'interconnaissance (3). La participation des répondants incertains dépend aussi beaucoup de ces perspectives. Malgré l'absence de contexte, les enjeux peuvent suffire à justifier l'intérêt (3) ou au contraire provoquer un désengagement (1). Le commentaire suivant illustre en quoi l'intérêt initial peut se rattacher à des perspectives, qui prennent ici la forme d'une nouvelle plateforme de traitement de déchets :

C'est comme tout, ça dépend quel est le sujet, mais pourquoi pas, ouais. Si on parle d'un centre de traitement des déchets, si ça parle des déchets, oui, encore faut-il que ça soit dans notre cœur de métier.

Acteur d'influence, janvier 2022

Tableau 43 : Positionnement des acteurs par rapport à la concertation lors de l'évaluation préalable en l'absence de promesse plausible

Jugement	Nombre (N=20)	Perspectives	Enjeux	Processus
Positif	12	9	3	
Dépend du contexte	5	4		1
Négatif	2	1	1	

¹⁶⁸ Il manque la réponse de l'un des acteurs dans cette évaluation, qui a été omise lors d'un entretien. En revanche, l'entretien écarté par la suite lors de l'analyse des résultats numériques fait partie des entretiens décrits dans ce paragraphe.

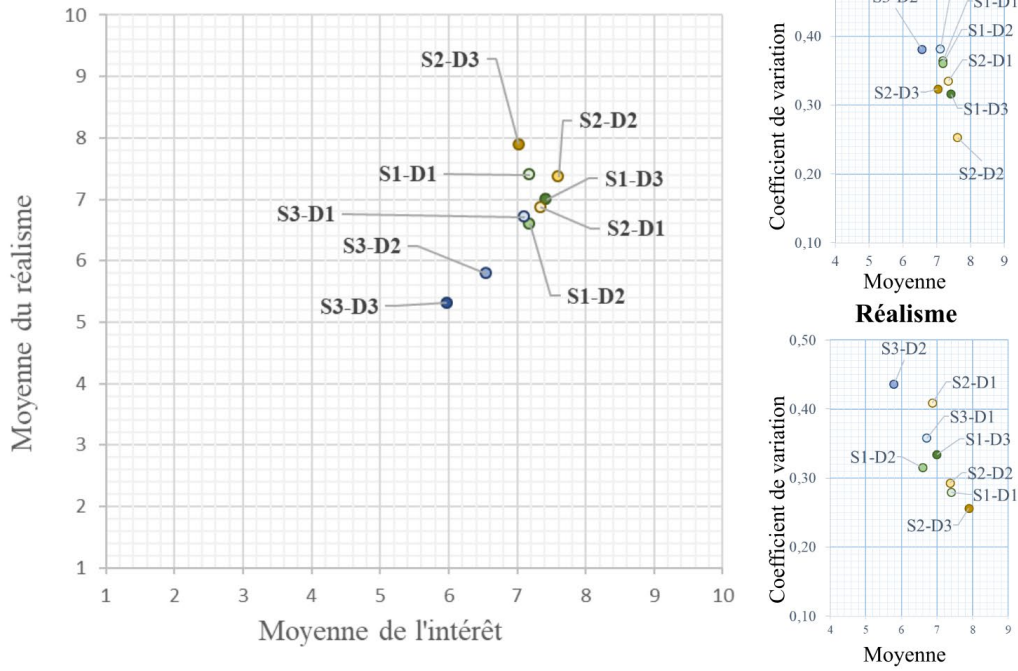
10.2.2. Description et interprétation des notes obtenues par les différentes promesses plausibles

Moyenne et distribution des notes

La moyenne et la distribution des notes obtenues en intérêt et en réalisme par les différentes PP est représentée par la Figure 86. La première observation est une **variabilité importante** dans la notation des promesses plausibles, qui se traduit par des coefficients de variation importants compris entre 25 et 45% (Figure 86-A) et des profils de répartition de note assez hétérogènes (Figure 86-B). Malgré cette variabilité, les notes indiquent une **vision globalement positive d'une démarche de concertation**. Dans la distribution, le mode de la quasi-totalité des PP correspond à des notes bonnes (>6) ou excellentes (>8) (Figure 86-B). Cela s'observe également dans les moyennes, qui se situent pour la plupart au-delà de 7 en intérêt et au-delà de 6 en réalisme (Figure 86-A). Cela traduit numériquement les observations qualitatives globalement positives de l'évaluation hors contexte (voir 10.2.1). **Dans la session 1 (court terme), l'augmentation du niveau de détail diminue globalement le réalisme**. Si la S1-D1 se distingue légèrement en termes de réalisme¹⁶⁹ (note plus élevée et coefficient de variation plus faible), on observe que celui-ci diminue dans S1-D2 puis augmente légèrement dans S1-D3. Cela s'explique au vu des distributions, où la majorité de bonnes notes est compensée par des notes mauvaises et médiocres dans ces deux derniers niveaux de détail. Cet écart de réalisme se traduit peu en écart d'intérêt. **Les notes les plus hautes et les plus consensuelles sont obtenues par les PP de la session 2 (moyen terme)**. La PP S2-D2 obtient la meilleure note en termes d'intérêt, avec un coefficient de variation plus faible pour cette PP que pour les autres. Malgré un faible écart avec la S1-D3, cela suggère qu'elle se distingue des autres promesses plausibles. En termes de distribution, elle obtient le plus grand nombre de notes excellentes, tout en ayant peu de notes inférieures à 5. La PP qui obtient le meilleur réalisme, dans des conditions semblables, est la S2-D3, dont l'intérêt est en revanche moins élevé. Ainsi, dans la session 2, l'évolution de l'intérêt entre D2 et D3 va dans le sens inverse de l'évolution du réalisme – le réalisme augmente, l'intérêt diminue. **Les PP détaillées (D2 et D3) de la session 3 (long terme) réalisent les moins bons scores en intérêt et en réalisme**. Le score de D3 est inférieur, sur les deux aspects, au score de D2. Le coefficient de variation de l'intérêt pour ces PP est plus élevé que celui des autres PP, montrant un aspect plus clivant. Cela s'observe sur les diagrammes de distribution, qui sont plus plats que pour les autres PP. Dans cette session, l'augmentation du niveau de détail provoque donc une baisse de l'intérêt et du réalisme. L'étude des variations de notes (notes relatives) dont les résultats sont présentés en Annexe C-4.8, appuient cette distinction de réaction selon les sessions.

¹⁶⁹ En cohérence avec les arguments présentés dans la section méthodologique, la significativité de ces écarts au sens statistique du terme ne sera pas présentée ni discutée.

(A) Scores des Promesses Plausibles



(B) Distribution des Notes

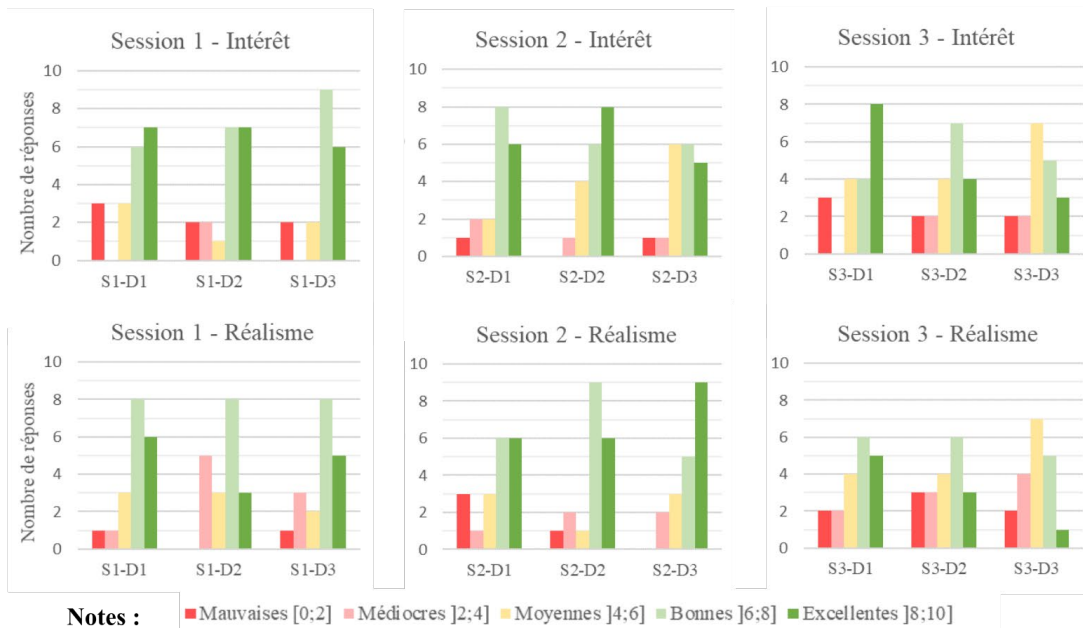
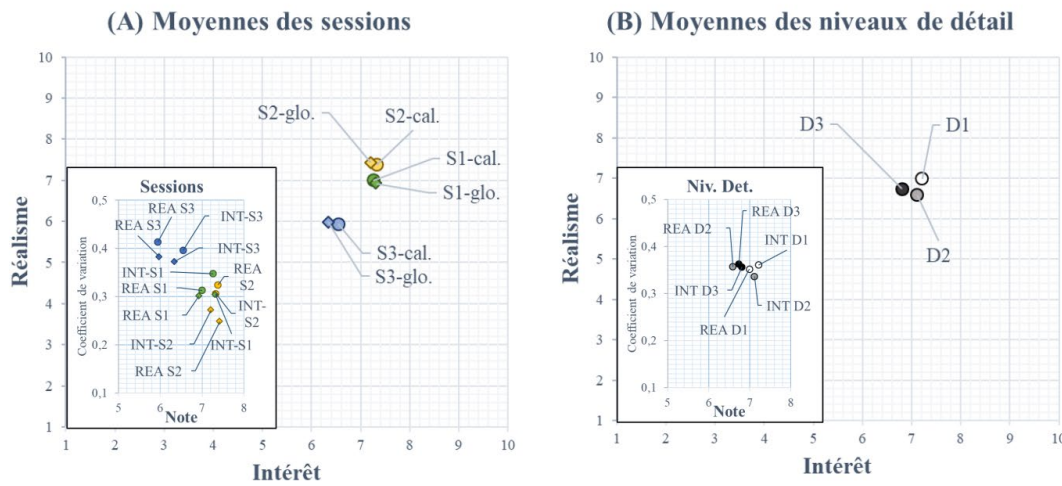


Figure 86 : Moyenne, coefficient de variation et distribution des notes absolues données aux différentes promesses plausibles. Les valeurs numériques sont données en annexe C-4.7.

Description des moyennes par session et par promesse plausible.

La moyenne des sessions est estimée de trois manières : la moyenne calculée, la moyenne globale donnée directement par les participants (représentées sur la Figure 87-A), et le classement global des sessions réalisé en fin d’entretien (présenté par la Figure 87-C). Les résultats de ces trois indicateurs convergent vers le fait que la session S2 est très proche de S1

en termes d'intérêt¹⁷⁰ et légèrement meilleure en termes de réalisme, tandis que S3 est plus basse sur ces deux aspects. Dans le classement, le faible écart entre S1 et S2 se traduit par une balance en faveur de la S2 d'une voix pour l'intérêt, et de 4 voix pour le réalisme. En ce qui concerne la moyenne par niveau de détail (Figure 87-B), les résultats obtenus par D1, D2 et D3 apparaissent très proches, avec des coefficients de variation également homogènes. Cette indiscernabilité suggère que ce n'est pas le niveau de détail, dans l'absolu, qui est déterminant sur l'intérêt et le réalisme, mais que cela dépend d'autres caractéristiques du discours formulé, comme l'horizon temporel.



(C) Classement des sessions

	Intérêt			Réalisme		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Nb. Rang 1	9	10	6	9	13	3
Nb. Rang 2	8	6	1	9	5	1
Nb. Rang 3	2	3	12	1	1	15

Figure 87 : Résultats moyens par session et par promesse plausible, et résultat du classement des sessions par les participants.

Analyse des objets d'intérêt et de réalisme par session

L'analyse qualitative des justifications des acteurs permet d'améliorer la compréhension de ces résultats numériques, et notamment les causes de variation d'une session à l'autre. La caractérisation des justifications données dans les différentes sessions, selon le cadre élaboré au 10.2.1, est représentée sur la Figure 88. Cette représentation met en évidence que les logiques de raisonnement des acteurs sont effectivement différentes en fonction des sessions. Dans S1 et S2, les acteurs réagissent sur tous les objets d'intérêt et de réalisme (enjeux, perspectives, autres acteurs, processus, forme), tandis que dans la S3, les acteurs se focalisent sur les perspectives et la forme du discours (Figure 88-A1). De manière synoptique, il apparaît ainsi que plus l'horizon de la promesse plausible s'éloigne, plus l'attention des acteurs se centre sur les perspectives et les aspects techniques. Au contraire, plus l'horizon est proche, plus

¹⁷⁰ Notons que l'ordre donné par la moyenne calculée et la moyenne globale est inversé sur ces deux sessions. La session 1 est légèrement meilleure que la session 2 selon la moyenne calculée, mais légèrement moins bonne selon la moyenne globale. Au vu des coefficients de variation qui restent élevés, ces deux promesses plausibles peuvent être considérées comme équivalentes du point de vue de l'intérêt.

l'évaluation porte sur un ensemble varié de facteurs. L'appréciation positive ou négative (Figure 88-B1) des arguments impliqués dans les différentes sessions permet d'expliquer pourquoi S3 obtient de moins bonnes notes que S1 et S2. Dans les deux premières sessions, il y a en effet un nombre équivalent de réactions positives et de réactions négatives. Cet équilibre traduit la variabilité importante observée sur les moyennes dans ces sessions. La balance est légèrement défavorable dans S1, et légèrement favorable dans S2, ce qui va dans le sens de l'analyse des moyennes de ces deux sessions. Dans S3, il y a un nombre d'arguments négatifs comparable aux autres sessions, mais insuffisamment d'arguments positifs pour les compenser. Le même phénomène s'observe d'une session à l'autre pour le réalisme (Figure 88-B2).

En croisant ces observations avec la manière dont sont construites les promesses plausibles, il est possible d'interpréter les trois logiques différentes dans les trois sessions. Dans la session 1, il n'y avait, volontairement, aucune perspective mise en avant dans les promesses plausibles, et il est donc compréhensible que le réalisme porte principalement sur les enjeux (Figure 88). Ce réalisme est appréhendé sur des facteurs très diversifiés : techniques, mais aussi politiques, sociaux et réglementaires. Les acteurs perçoivent plutôt les aspects contraignants de ces dimensions, dont la répercussion sur leur vision de la concertation contribue principalement à diminuer la crédibilité du message. En ce qui concerne l'intérêt, il porte sur des objets variables et des facteurs d'influence diversifiés, donnant l'image d'une session ambivalente. Dans cette session S1, les acteurs gardent donc leur a priori plutôt favorable, mais restent prudents et nuancés, notamment vis-à-vis de l'incertitude multidimensionnelle qui pèse sur la concertation. La session 2 introduit des perspectives techniques à moyen terme qui interpellent les acteurs et leur permettent de se projeter, y compris en termes de retombées économiques. Le facteur technique y devient le plus déterminant (Figure 88-C1 et C2), ce qui joue en faveur du réalisme de cette session et lui permet de réaliser un score un peu meilleur que la S1. La précision sur les perspectives, notamment mentionnées au niveau D2, permet à cette session d'obtenir des notes meilleures et moins dispersées, car elles correspondent à l'un des principaux centres d'intérêts des acteurs et apparaissent crédibles. Lors du passage au niveau D3, l'ajout de détails oriente la session vers certaines solutions technologiques aux dépens d'autres (notamment la méthanisation qui est plus mise en avant). Ainsi, l'intérêt des acteurs va se polariser selon que cette direction correspond à leur stratégie ou non. C'est la raison pour laquelle une baisse d'intérêt est exprimée entre les deux PP, malgré une augmentation du réalisme. Dans la session 3, les perspectives à long terme et ambitieuses focalisent l'attention des acteurs, qui se recentrent également sur le facteur technique (Figure 88-C2). Dans ce cas-là, le réalisme technique des perspectives, mettant notamment en scène une modification du système d'épuration, est perçu négativement. Les acteurs qui auraient pu être, stratégiquement, intéressés ne parviennent ainsi pas à se projeter dans ce scénario du fait de son manque de réalisme. Pour les autres, cette focalisation technique sur un changement très prospectif s'éloigne de leur secteur d'activité et ils ne se sentent donc pas concernés.

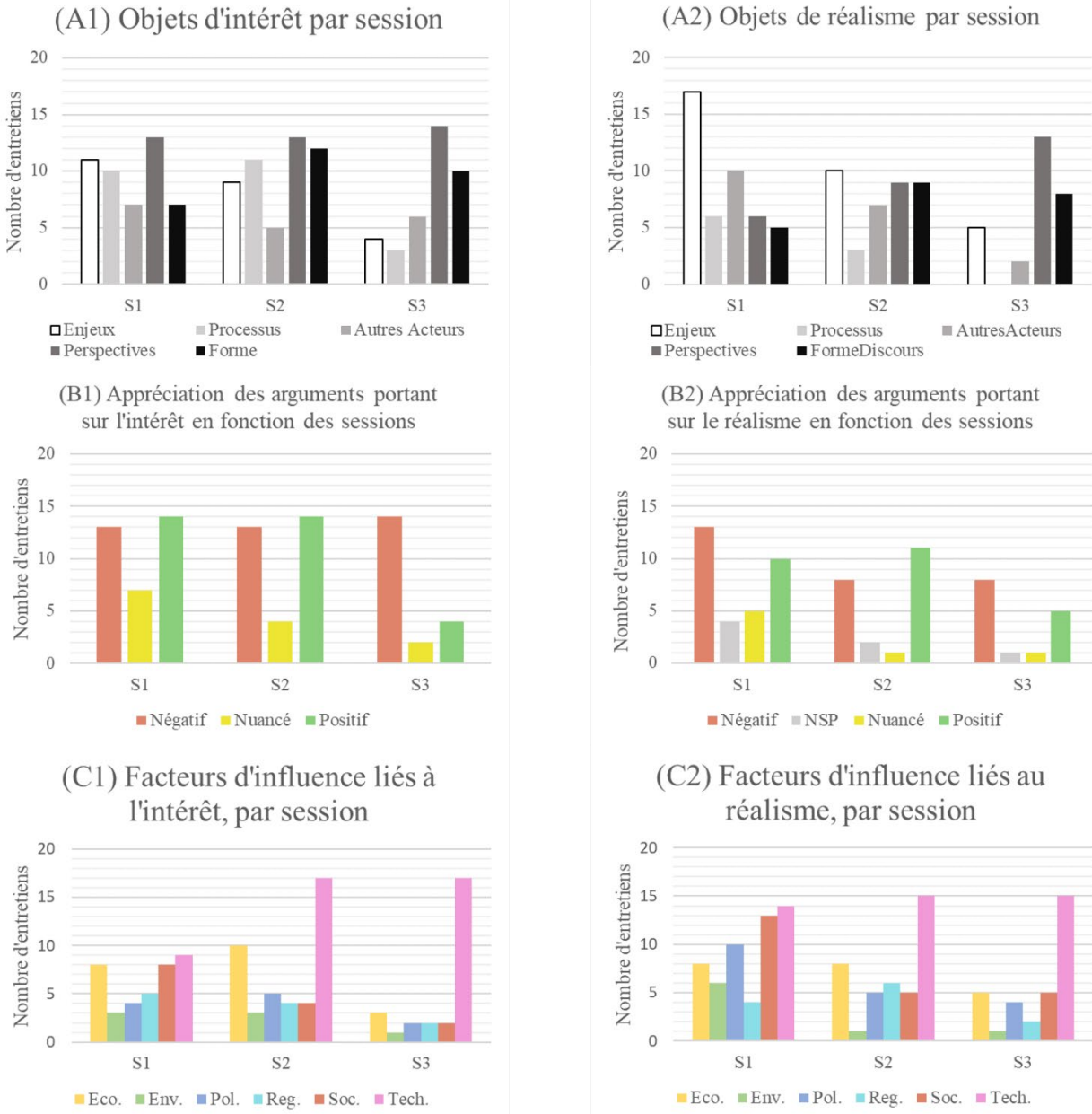
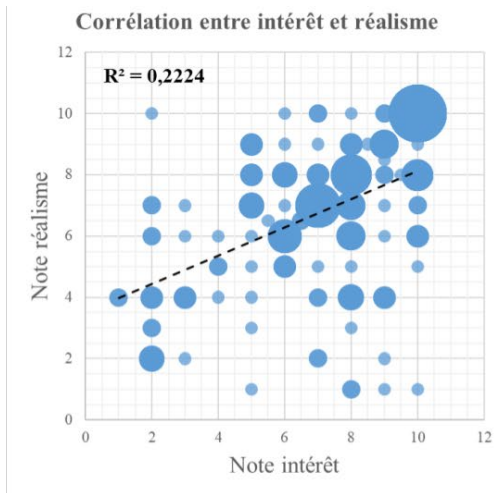


Figure 88 : Analyse qualitative par session des objets d'intérêt et de réalisme, de la valeur des arguments et des facteurs d'influence impliqués.

10.2.3. Evaluation du lien entre crédibilité et performativité



Corrélacion entre intérêt et réalisme

La Figure 90 présente l'analyse de la corrélation entre intérêt et réalisme. En termes de notation absolue, le coefficient de corrélation est égal à 0,22, et on observe une covariance standardisée de 0,078. En notes relatives, ces paramètres valent respectivement 0,044 et 0,064 à session constante et niveau de détail variable ; et 0,085 et 0,058 à niveau de détail constant et session variable. Ces faibles valeurs suggèrent l'absence de corrélation de l'intérêt au réalisme.

Dans l'analyse des notes relatives, des notes extrêmement décorréliées apparaissent. Ces notes traduisent des réactions extrêmes, qui ne représentent pas la majorité des cas et pourraient être exclues de l'analyse. En enlevant les trois notes les plus extrêmes dans les couples de notes relatives, le coefficient de corrélation est 0,33, et la covariance standardisée est 0,148 à niveau de détail constant et session variable. A session constante et niveau de détail variable, ils valent respectivement 0,34 et 0,256. Même dans ce cas, la corrélation entre variation d'intérêt et variation de réalisme est à peine plus marquée, et reste trop faible pour être réellement significative.

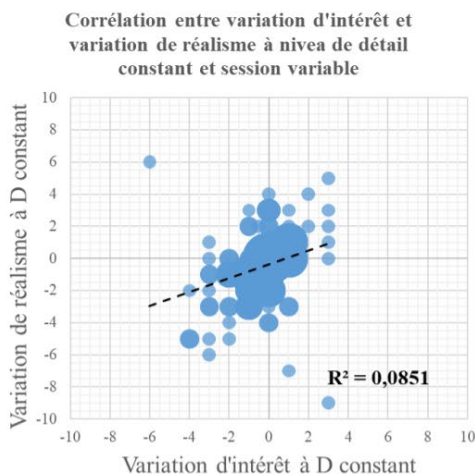
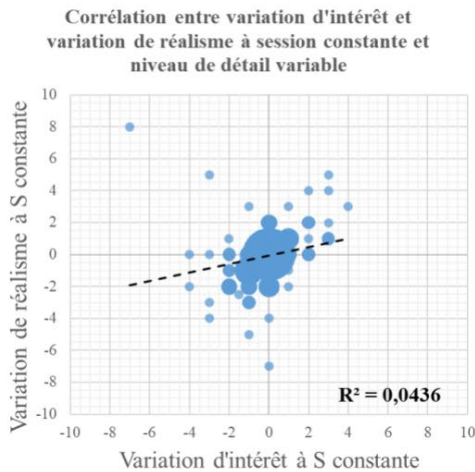


Figure 89 : Représentation des notes absolues et relatives selon leur intérêt et leur réalisme , et de la droite d'interpolation linéaire avec le coefficient de corrélation R^2 . La surface des cercles est proportionnelle à l'effectif.

Ces résultats montrent que, si l'intérêt et le réalisme (et leurs variations respectives) ne sont pas indépendants, ils ne sont pas fortement corrélés entre eux. Une forte note peut être donnée en intérêt alors que le réalisme est estimé faible, et inversement. En ce qui concerne les notes relatives, la logique générale est une évolution qualitativement similaire pour l'intérêt et le réalisme, mais dont l'intensité n'est pas proportionnelle. Une augmentation d'intérêt est généralement concomitante à une augmentation de réalisme, mais cela ne traduit pas leur écart de variation respective. Une faible augmentation de réalisme peut, par exemple, aussi bien être associée à une faible augmentation d'intérêt qu'à une forte augmentation d'intérêt.

Lien qualitatif entre intérêt et réalisme

La caractérisation des objets d'intérêt et de réalisme, présentée dans la section 10.2.1, permet de comprendre le lien qualitatif entre intérêt et réalisme. Certains leviers d'intérêt dépendent qualitativement du réalisme des propositions. Par exemple, les perspectives de la concertation, pour représenter un intérêt, doivent paraître crédibles et atteignables. Lorsque les PP ajoutent des détails supplémentaires, elles rendent les perspectives plus concrètes et perceptibles par les acteurs. Cela permet aux acteurs de mieux identifier leurs intérêts et donc se projeter dans, ou hors du projet de concertation. Si l'augmentation du niveau de détail apporte des éléments qui confortent un acteur dans le fait que les perspectives seront alignées avec sa stratégie, cela augmentera son intérêt. Mais une perspective, qui peut être très réaliste par ailleurs, remettant en cause cette stratégie, provoquera son désengagement. Si au contraire le réalisme des perspectives est faible, cela entraîne une projection moins claire de l'acteur dans les avantages qu'il peut tirer de la concertation, et diminue son intérêt. Le réalisme n'est d'ailleurs pas uniquement évalué sur les aspects techniques, mais également économiques, politiques, réglementaires et sociaux. Un autre levier d'intérêt remarquable est le partage du bien-fondé des enjeux, c'est-à-dire de la situation initiale. Pour cet objet également, la dimension technique n'est pas la seule examinée même si elle est prédominante. Pour les enjeux comme pour les perspectives, qui sont avant tout des questions techniques, la baisse de réalisme peut être liée à des facteurs autres que techniques. Si cela peut suffire à remettre en cause l'engagement de certains acteurs (par exemple, craignant qu'au vu de ces freins sociaux, politiques, réglementaires, le processus se traduise par une « perte de temps »), d'autres acteurs restent intéressés de par la pertinence du projet malgré les obstacles. Enfin, le réalisme du processus et de l'implication des autres acteurs est moins directement lié à l'intérêt particulier des structures. Il témoigne plutôt d'un certain niveau de confiance, qui peut représenter un certain frein à l'intérêt, mais qui peut aussi être négligé compte tenu d'autres objets de la promesse pris en compte. C'est la prise en compte de ces différents éléments par les acteurs, chacun ayant ses problématiques propres, qui les conduit finalement à se positionner sur l'intérêt en tenant compte du réalisme de certains aspects. Cela explique pourquoi de faibles variations dans l'une des dimensions peuvent être associées à de fortes variations dans l'autre. Le Tableau 44 synthétise ces observations, en présentant en quoi intérêt et réalisme peuvent être corrélés ou décorrélés.

Tableau 44 : Présentation du lien qualitatif entre intérêt et réalisme pour les PP, pouvant conduire à une décorrélation des de ces deux aspects.

	<i>Réalisme fort</i>	<i>Réalisme faible</i>
<i>Intérêt fort</i>	Intérêt lié à la pertinence et au réalisme des perspectives techniques.	Intérêt pour les aspects techniques, mais faible réalisme sur les autres aspects (sociaux, réglementaires...).
<i>Intérêt faible</i>	Intérêt lié à l'importance des enjeux pour la structure. Perspectives réalistes mais non alignées avec les intérêts de la structure. Enjeux réalistes, mais structure ne se sentant pas concernée. Réalisme technique élevé, mais freins autres que techniques.	Faible intérêt du fait du réalisme technique faible des perspectives. Faible intérêt du fait du réalisme faible sur des aspects sociaux, politiques...

10.3. Discussion

Les résultats obtenus par cette expérimentation sont une clé de compréhension importante dans la conception de promesses plausibles. Cette section de discussion se propose dans un premier temps de revenir sur les aspects méthodologiques, pour présenter les limites de la méthode et les pistes d'amélioration. Elle propose, dans un second temps, une interprétation des résultats sous l'angle initial de la question de recherche posée. Elle conclut en discutant les hypothèses clés qui avaient été formulées dans le Chapitre 7.

10.3.1. Discussion méthodologique

Cette étude est l'étape finale de la stratégie de recherche entreprise sur le SGPRO de la plaine de Versailles. La méthodologie générale employée présente des originalités sur lesquelles cette section se propose de revenir.

Complémentarité des approches

Cette étude met en lumière la complémentarité entre les différentes approches méthodologiques utilisées tout au long de la Partie III. Aucune méthode, seule, ne permet de relater l'intégralité des résultats qui ont pu être mis en évidence par leur combinaison. Premièrement, l'approche qualitative du SGPRO est essentielle pour définir les caractéristiques du système étudié, étant donné que celles-ci sont initialement peu évidentes. Elle permet une compréhension fine des phénomènes à l'œuvre, notamment en détaillant les logiques d'influence. L'analyse de réseaux sociaux permet d'établir de manière aussi objective que possible la centralité et l'influence des différents acteurs du système observé. Dans l'analyse de l'évaluation de promesses plausibles, l'approche statistique descriptive est indispensable afin de mesurer le plus objectivement possible quelles ont été les meilleures promesses plausibles parmi celles soumises aux acteurs. En revanche, c'est l'analyse qualitative des justifications des notes dans les entretiens qui permet réellement d'expliquer les notes obtenues par les promesses plausibles. Ces deux analyses permettent, par ailleurs, d'arriver à des constats similaires. Cette approche permet alors de valider les résultats par le principe de triangulation (Morse, 2015).

Sélection des répondants et biais de positivité

Un risque identifié dans cet exercice est celui du biais de positivité, qui peut intervenir de trois façons différentes. D'une part, il est possible que les acteurs qui acceptent de répondre favorablement à la demande d'entretien aient un intérêt initial déjà fort pour le sujet abordé. C'est notamment vrai pour les acteurs dont la gestion des PRO n'est pas le cœur de métier, comme les agriculteurs, les centres équestres ou les entreprises produisant des déchets organiques. D'autre part, une fois l'entretien démarré, il est possible que les acteurs jugent les extraits moins sévèrement qu'ils ne l'auraient fait en l'absence de l'expérimentateur. Un troisième biais réside dans l'évaluation même de la performativité des promesses : les acteurs ne font que *dire* être intéressés, alors que la performativité réelle se mesurerait, par exemple, au taux de présence à une première réunion de concertation. Du fait du caractère fictif de la démarche entreprise, cela reste néanmoins le seul moyen d'étudier la performativité des discours. Ces trois éléments ont pour conséquence une surestimation probable des notes données par les acteurs. Cela n'est pour autant pas gênant dans l'interprétation des résultats. D'une part, la grande variabilité des notes observées montre que les acteurs ont pu donner des

notes bonnes comme mauvaises, ce qui suggère des réponses plutôt honnêtes. D'autre part, le fait que seuls les acteurs intéressés répondent est inhérent à l'exercice d'entretien. Cela serait également le cas dans le cadre d'une concertation réelle. Dans la formulation d'une promesse plausible, il est ainsi probablement plus juste de se représenter les acteurs-cibles non pas comme l'ensemble des acteurs légitimes pour participer à la concertation, mais comme l'ensemble des acteurs légitimes ayant déjà un minimum d'ouverture à ce sujet.

Interférences liées à d'autres démarches

Afin d'évaluer la promesse plausible *initiatrice*, les acteurs avaient pour consigne de considérer les démarches de concertation hypothétiques sans tenir compte de toute autre démarche similaire ayant eu lieu (ou ayant actuellement lieu) dans le système-territoire. Or, le périmètre de l'APPVPA est une zone loin d'être vierge de toute initiative préalable. D'une part, cette zone a largement été étudiée par l'INRAE. Beaucoup d'acteurs contactés pour les entretiens avaient déjà été contactés ou sollicités pour de précédentes campagnes, portant sur des sujets parfois très similaires. Cela a rendu plus difficile l'accès à certains acteurs, en particulier les agriculteurs céréaliers. Par ailleurs, du fait de l'animation de l'association patrimoniale, il y a un certain historique de démarches, y compris portant sur le métabolisme territorial ou le recyclage des PRO (voir encadré Encadré 7 au Chapitre 8). Un petit nombre d'acteurs interrogés ont participé à de telles démarches, et se sont basés sur leur expérience lors de démarches antérieures pour répondre, ce qui pouvait influencer positivement ou négativement sur leurs réponses. Cela impacte les facteurs d'influence pris en compte lors de l'évaluation des PP, par exemple, le fait que de précédentes démarches n'aient « abouti à rien » malgré de nombreuses réunions, ou au contraire que les résultats d'une démarche en cours soient encourageants. Loin d'invalider les résultats pour de tels acteurs, ces « interférences » informent au contraire qu'un système-territoire peut être imprégné de démarches de concertation historiques ou en cours et que celles-ci créent des irréversibilités dans l'entreprise de futures démarches. Il s'agit ici d'un exemple de facteur d'influence social associé au système-territoire.

Objectivation et distanciation par les extraits audio

La conception simultanée d'un certain nombre de discours correspondant à des promesses plausibles et du référentiel d'évaluation de ces discours présente le risque de placer l'expérimentateur en position de juge et partie. Si ce risque ne peut être tout à fait écarté, la méthodologie employée s'est dotée de différents moyens permettant d'objectiver au maximum l'évaluation, en utilisant un matériel d'enquête uniformisé et des approches d'analyse complémentaires. En ce sens, l'utilisation d'extraits audio s'est révélée être un précieux atout dans la conduite de la seconde phase d'entretiens. Ce format a deux principaux avantages. Le premier est de s'assurer que chaque acteur reçoit exactement le même message, tant sur les mots employés que sur l'intonation donnée. Si ces paramètres n'avaient pas vocation à être des variables expérimentales (hypothèse (H3)), il a été souligné dans plusieurs entretiens qu'ils avaient une importance. Cela peut s'évaluer par la place que prend la forme du discours dans les objets d'intérêt et de réalisme. S'il n'est pas exclu (et c'est même l'inverse qui a été observé dans les résultats) que la formulation particulière de chaque discours ait pu avoir une importance, l'utilisation d'un support identique à chaque entretien permet *a minima* de s'assurer qu'ils sont tous sujets au même biais. Le second avantage est de matérialiser la dissociation entre expérimentateur et initiateur de la concertation. Une difficulté de l'exercice est de mettre

les répondants dans une situation semi-réelle, c'est-à-dire que les projets de concertation sont fictifs, tandis que les données qui les justifient sont réelles. D'ailleurs, les acteurs ont posé des questions à plusieurs reprises quant aux répercussions des entretiens sur la situation réelle. Ainsi, le passage par des extraits audio permet d'accentuer le jeu de rôle qui leur est demandé, en faisant intervenir un tiers fictif, représenté par le personnage qui se présente en tant que chercheur dans le premier extrait de chaque session. Le discours exposé par ce personnage peut ainsi plus facilement être jugé séparément de l'expérimentateur, et critiqué. Cela aurait probablement encore mieux fonctionné si la voix utilisée pour l'extrait audio était différente de celle de l'expérimentateur – cela n'ayant pu être réalisé, pour des raisons pratiques.

Horizon temporel et choix techniques.

La distinction temporelle entre moyen terme et long terme, utilisée pour démarquer initialement S2, peut être questionnée dans l'interprétation des résultats. Il apparaît, notamment dans la session 3, que les choix technologiques qui ont été mis en avant dans les différentes sessions ont eu un fort impact sur les réponses¹⁷¹. Dans la session 3, les technologies de traitement séparé des urines et de récupération d'azote dans les eaux usées via un procédé de micro-algues ont été mises en avant. Ces procédés sont assez peu matures à l'heure actuelle, exigent des changements structurels profonds du mode de gestion des PRO et se concentrent sur un flux liquide éloigné de l'activité de certains acteurs. Ces raisons expliquent probablement une partie importante des réactions moins positives dans S3, réactions qui auraient pu être différentes si les choix techniques avaient été différents. De même et dans une moindre mesure, une attention particulière a été portée sur la méthanisation dans la session 2, ce qui a explicitement limité l'intérêt de certains acteurs. Ici encore, un choix technologique différent pourrait avoir des conséquences différentes dans les réactions. Cette distinction fait écho aux modes de gouvernance dans la gestion des déchets proposés par Pollans (Pollans, 2017). Selon ce cadre théorique, la S1 s'inscrit dans le mode majoritaire de la situation actuelle, c'est-à-dire le mode *dominant*. La S2, ancrée dans l'évolution des politiques actuelles en cours de déploiement, correspond à un mode *incrémental*. Enfin, la S3, correspondant à un mode en rupture avec la trajectoire actuelle, qui ne fait actuellement pas partie des programmes politiques, correspond à un mode *visionnaire* ou *aspirationnel*. Au-delà de représenter des technologies particulières, ces scénarios représentent donc un positionnement plus ou moins en rupture avec le mode dominant, et donc des objectifs atteignables à plus ou moins long terme. Malgré l'importance des choix de conception des scénarios, les résultats obtenus par l'analyse des entretiens montrent que l'horizon temporel est bel et bien un élément clé dans l'appréciation des promesses plausibles, et donc à prendre en compte dans leur conception. Si d'autres solutions techniques avaient été retenues pour représenter les horizons à moyen et long terme des sessions 2 et 3, les réactions seraient probablement très similaires. Concernant l'horizon long terme, à partir du moment où il est question de technologies prospectives, qui nécessitent des changements structurels (remettant en cause le mode de gouvernance dominant), qui ne sont pas encore parfaitement encadrées ou accompagnées et sur lesquelles les incertitudes restent fortes, les réserves évoquées vis-à-vis de S3 dans le SGPRO de la plaine de Versailles ont de fortes chances de s'appliquer. De même, sur un scénario à moyen terme, la spécification

¹⁷¹ Rappelons que les choix qui ont été faits dans cette étude ne sont d'ailleurs pas anodins. Ils sont issus d'une expertise pluridisciplinaire guidée par des objectifs en accord avec les enjeux de valorisation de la matière organique (voir section 9.1).

de certaines perspectives technologiques risque, peu importe la nature de cette technologie, de favoriser certains acteurs aux dépens d'autres.

Le niveau de détail représentatif d'un niveau de spécificité

Il est également important de rappeler que les différents niveaux de détail définis dans la méthodologie (D1, D2, D3) sont des choix relativement arbitraires, et ne doivent pas réellement être lus comme une augmentation linéaire de celui-ci. Le niveau D2 apporte plus une spécification technique et technologique, tandis que le niveau D3 apporte plus une diversification des arguments. Ce qui augmente réellement avec ces modalités de formulation est le **niveau de spécificité** et de prédétermination de la concertation. En donnant plus de détails, les niveaux les plus avancés contribuent à figer les choix technologiques présentés par la session, même si la concertation reste en théorie ouverte à tous les choix. Ils réduisent la marge d'incertitude de l'acteur-cible – et donc sa marge de manœuvre pour intervenir lors de la concertation – quant à la nature des objectifs et aux conséquences de la démarche. Cette augmentation de la spécificité correspond en réalité à ce qui était appelé « augmentation du niveau d'élaboration » dans le Chapitre 1, sans que nous puissions à ce stade le définir exactement.

Biais lié aux marques d'incertitude dans la session 3

Un biais pouvant expliquer les résultats plus faibles de la session 3 réside dans une certaine différence structurelle des PP de cette session par rapport aux autres. Contrairement aux autres, celle-ci est affectée par de fortes incertitudes, mises en avant dans l'analyse des scénarios (Chapitre 9). En effet, malgré le fait que ce scénario remplisse les objectifs qui lui ont été fixés, c'est-à-dire la substitution de l'azote issu de ressources non renouvelables par de l'azote issu de PRO, il a été observé que les bénéfices environnementaux et économiques n'étaient pas évidents à l'heure actuelle – et leur clarification nécessiterait de mettre en place une méthodologie plus avancée que celle employée dans la thèse. Dans cette situation, il est délicat de rendre ce scénario *plausible* sans pour autant être trompeur et dissimuler les aspects potentiellement négatifs. Le choix fait pour la formulation des PP dans ce scénario a été, notamment dans le niveau de détail D3, d'assumer ouvertement les incertitudes et risques sur les plans économiques et environnementaux, tout en indiquant que les choix faits lors de la concertation prendraient ces facteurs en compte. Ce niveau D3 contraste ainsi avec le niveau D3 des sessions S1 et S2, présentant des avantages plus directs. Cette marque d'incertitude a parfois explicitement été évoquée comme un frein. Notons deux choses à ce sujet. D'une part, la promesse plausible n'est pas un discours commercial ou manipulateur, mais doit mettre en forme des connaissances disponibles à partir de faits scientifiquement avérés. D'autre part, de telles connaissances, dans des scénarios très prospectifs, sont aujourd'hui inaccessibles ou très coûteuses à obtenir – auquel cas les incertitudes resteront très importantes. C'est pourquoi une PP mobilisant un niveau de détail très fin sur des éléments très prospectifs se trouvera très probablement systématiquement confrontée à cette situation d'incertitude. Ces considérations contribuent donc à appuyer les résultats : à un niveau très prospectif, des spécifications très poussées (et donc, nécessairement incertaines) sont plutôt contre-productives pour l'intérêt des acteurs.

10.3.2. Interprétation des résultats

Le cadre théorique de la promesse plausible mis à l'épreuve

La typologie établie des objets d'intérêt et de réalisme fait ressortir de manière expérimentale les dimensions théorisées dans la conception des promesses plausibles (Partie II). Les enjeux et les perspectives peuvent être considérés comme le contenu technique des promesses plausibles, qui a été modifié d'un extrait à l'autre. Ces deux objets se rapportent à la justification collective proposée pour initier une concertation, et donc à la *situation* (Pour Quoi) de la promesse plausible (cf. section ...). Le processus de concertation renvoie à ce que nous avons appelé la *réponse collective* (Quoi) proposée par l'acteur initiateur, c'est-à-dire la démarche de concertation à proprement parler. Cette réponse ne constituait pas un élément variable des PP, et a donc été présentée de manière abstraite, et identique dans toutes les sessions (voir annexe C-4.1). Malgré cela, la perception de la qualité du processus affecte l'évaluation des acteurs, de manière marquée. Il en va de même de la perception des *acteurs-cibles* (A Qui), qui ne sont pas nommés expressément dans les promesses plausibles.

Importance relative du contenu technique et du réalisme technique

L'analyse qualitative informe que le **contenu technique** de la promesse plausible, composé de constats sur la situation actuelle et de perspectives qui pourraient émerger par une concertation, est un élément déterminant dans l'intérêt des acteurs à se joindre à une démarche de concertation. Le **réalisme technique** associé à ces éléments clés est donc un puissant levier d'intérêt, mais n'est cependant pas suffisant pour garantir la performativité des PP. L'évaluation des répondants porte également sur des questions peu ou pas abordées dans les promesses plausibles, en se projetant dans le processus de concertation ou en se représentant le comportement des autres acteurs. La formulation même du discours et le vocabulaire choisi ont une influence sur leur intérêt. Ces éléments, ainsi que les **facteurs non techniques**, sont d'autant plus importants pour les acteurs que l'horizon temporel est proche (Figure 88-A1 et A2). Lorsque l'horizon est suffisamment proche pour que les acteurs s'y projettent, l'ajout de détails techniques et non techniques peut renforcer le réalisme de la concertation (c'est le cas des niveaux D2 et D3 dans la session S2), notamment du fait que des facteurs diversifiés (sociaux, politiques, économiques...) sont pris en compte. En revanche, quand l'horizon est plus lointain, donner plus de détails se révèle contre-productif (c'est le cas des niveaux D2 et D3 dans S3), car ceux-ci focalisent l'attention sur les facteurs techniques qui sont alors jugés peu crédibles. Enfin, l'absence de détails techniques très spécifiques dans les modalités D1 ne constitue pas un frein à l'initiation d'une démarche de concertation. On observe effectivement que, dans les différentes sessions, le niveau D1 rencontre un succès assez constant, contrairement aux D2 et D3.

Lien entre rôle et réponse

Une question légitime à la vue de ces résultats est de savoir si les réactions des acteurs s'expliquent en fonction des rôles qui ont été identifiés dans le SGPRO. Les analyses effectuées n'ont pas permis d'appuyer cette hypothèse, mais quelques observations peuvent être faites à ce sujet. En premier lieu, les acteurs ne se cantonnent pas à un seul rôle, ce qui crée des difficultés d'ordre pratique et d'ordre épistémique dans l'analyse des réponses. Sur un aspect pratique, les catégories agrégeant trop d'acteurs parce que leur rôle est fréquent (par exemple,

les producteurs) finissent par devenir très hétérogènes, et finalement similaires au panel total sélectionné. En restreignant les acteurs à des rôles « principaux » (comme cela est proposé par le Tableau 40), les catégories deviennent trop petites dans les conditions expérimentales. Par ailleurs, sur un aspect épistémique, les rôles construits au Chapitre 8 sont une description fonctionnelle du SGPRO, mais ne sont pas nécessairement conçus pour correspondre à des groupes d'acteurs à proprement parler. Par exemple, peut-on réellement considérer l'action fédérative d'une communauté de commune, de l'APPVPA et d'une association citoyenne, comme un point commun suffisant pour estimer que ces acteurs font partie d'une même catégorie ? Une dernière observation peut être faite, en se basant sur une catégorie a priori homogène, celle des utilisateurs de PRO étant tous issus du monde agricole. L'analyse des notes données par cette catégorie montre une variabilité supérieure à celle du panel total d'acteurs, ce qui tend à appuyer la conclusion précédente. En d'autres termes, les rôles identifiés au sein du SGPRO ne semblent pas permettre de distinguer des réactions particulières face aux promesses plausibles. La configuration des acteurs, leur rôle, et leurs relations, sont spécifiques d'un contexte territorial donné. Compte tenu d'une telle contingence, il semble improbable qu'il existe des schémas prévisibles de réaction face aux promesses plausibles, d'un système-territoire à l'autre.

Le rôle de la recherche et des outils scientifiques dans l'initiation d'une démarche

Le rôle de la recherche dans l'initiation et l'accompagnement de démarches de concertation et l'intérêt des outils scientifiques sont des thèmes fréquemment abordés au cours des entretiens. Lorsqu'il est abordé, le monde de la recherche est toujours apprécié positivement. Il est perçu comme le gage d'une neutralité et d'une objectivité dont ne bénéficient unanimement aucun des autres acteurs, y compris les institutions publiques. La capacité de la recherche à s'extraire des agendas politiques, souvent jugés superficiels, est appréciée. Ces réactions montrent que cet acteur a effectivement un rôle pertinent dans l'initiation de démarches de concertation, et dans l'apport d'éléments de connaissance pour les accompagner. Les réactions concernant l'outil de modélisation présenté dans le niveau D3 lors des entretiens sont plus contrastées. Lorsque les acteurs s'y intéressaient spontanément, les retours étaient positifs et les attentes fortes. Cependant, la majorité des acteurs a peu, voire pas du tout réagi par rapport à cet outil. Très peu de répondants ont regardé en détail l'image et les indicateurs qui y étaient montrés. Les répondants intéressés par la carte cherchaient avant tout à se situer dans le territoire et à identifier d'autres acteurs, traduisant leur intérêt pour l'interconnaissance. A l'initiation de la concertation, ce type d'outil est rarement vu comme indispensable, mais plutôt comme un élément devant intervenir au cours de la concertation. Le développement de tels outils et de modèles descriptifs poussés du système-territoire ne semble donc pas être un prérequis à l'initiation de démarches de concertation.

10.3.3. Retour sur les hypothèses.

Les résultats obtenus permettent de commenter les hypothèses faites pour concevoir la méthodologie (cf. 7.1.1). L'hypothèse (H1) (*Le contenu d'une promesse plausible a effectivement une influence sur l'intérêt des acteurs-cibles pour participer à la concertation.*) a pu être vérifiée. En effet, des variations notables sont observées dans la notation des PP par les acteurs. S'il est vrai que de nombreux éléments extérieurs au discours sont mobilisés pour évaluer les promesses plausibles (les facteurs d'influence), ceux-ci sont mobilisés dans le

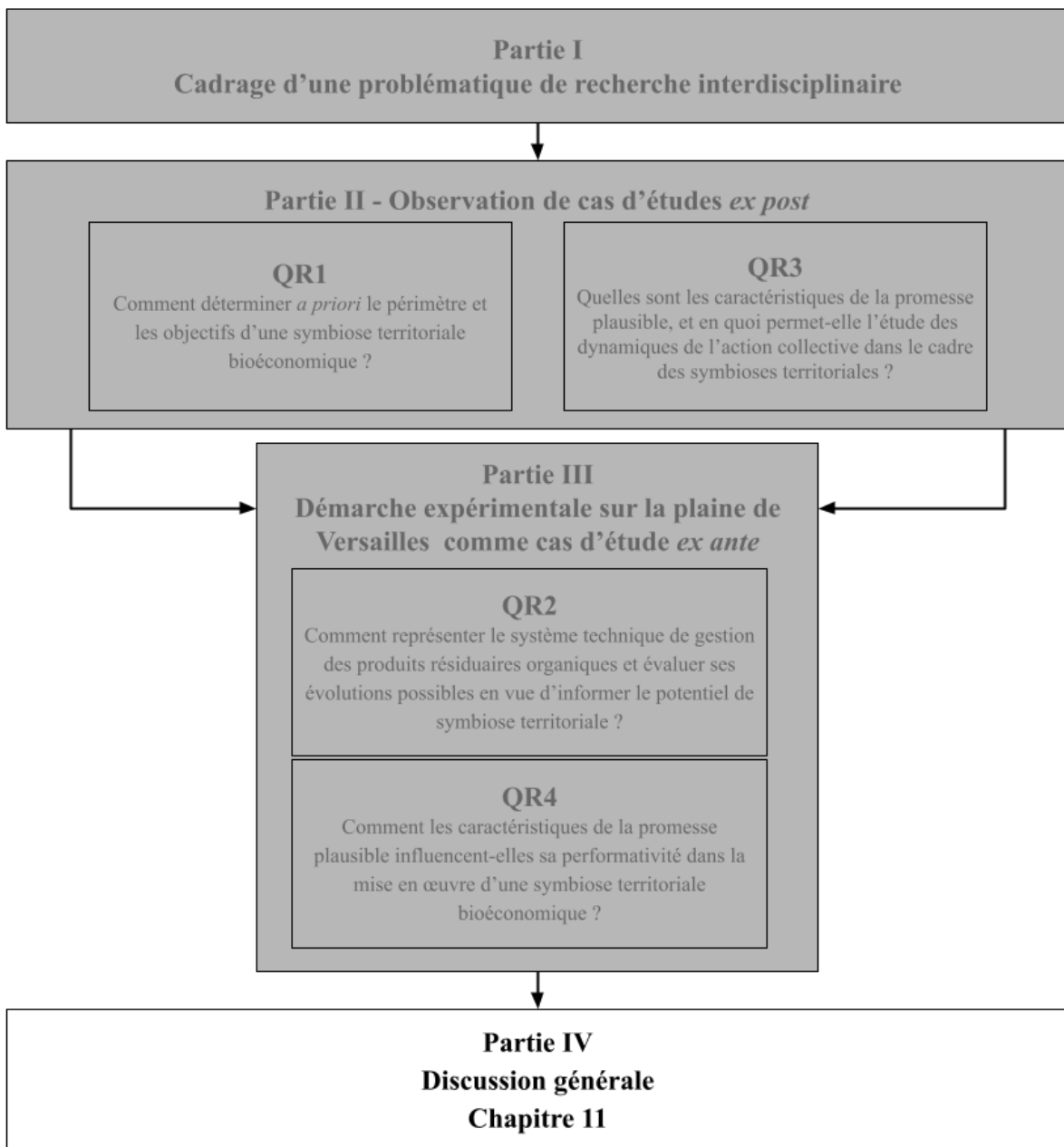
contexte des promesses plausibles et dans la projection de la réalité qu'elles proposent. Excepté pour un entretien, il n'y a pas eu de position fermée et bloquée vis-à-vis d'éléments extérieurs au discours. Si certains acteurs confessaient avoir parfois du mal à différencier certains discours les uns des autres, ils ont tous été amenés à changer de notes lors de l'évolution des PP. L'hypothèse (H2) (*Le cas échéant, l'intérêt se base, au moins en partie, sur le partage du constat d'une situation issue d'une connaissance scientifique du territoire.*) a également été vérifiée par l'analyse qualitative des justifications des notes. En effet, le fait que celle-ci porte en large partie sur les enjeux et les perspectives, des paramètres techniques variables d'une PP à l'autre et basés sur l'analyse du SGPRO, démontre que ces éléments sont intégrés dans le positionnement des acteurs. En revanche, nous avons vu malgré cela que la performativité n'était pas directement liée à la crédibilité des discours, du fait des nombreux facteurs non techniques intervenant dans l'évaluation des acteurs. L'hypothèse (H3) (*Les facteurs psychologiques des individus affectent marginalement l'évaluation des promesses plausible*) peut être plus questionnée que les deux premières, notamment au vu de l'importance des arguments liés à la forme des discours, non négligeables dans chacune des sessions (Figure 88). Il semble ainsi évident que la mise en forme des promesses plausibles a une influence sur la réaction des acteurs. C'est un paramètre qui a probablement influencé les résultats sans qu'il n'ait été prévu de le contrôler. Néanmoins, il n'apparaît pas comme prépondérant, et l'étude permet d'évaluer correctement l'influence des autres objets d'intérêt et de réalisme. Par ailleurs, l'évaluation de la mise en forme de discours nécessite un protocole expérimental bien différent de celui employé dans le cas présent, basé sur une approche quantitative qui n'aurait pas pu être employée – notamment au vu de la taille restreinte de l'échantillon.

Conclusion de la partie III

L'étude extensive du SGPRO de la plaine de Versailles permet de comprendre et de formaliser les mécanismes d'interaction clés se situant au cœur d'un projet de symbiose territoriale, et d'en déduire des principes pour initier de telles symbioses. Le diagnostic des flux de matières est un élément clé confirmant le potentiel de synergie, mais les aspects techniques et quantitatifs ne sont qu'un aspect parmi d'autres dans les préoccupations des acteurs. Le fonctionnement matériel du SGPRO – le système d'interactions physiques – ne peut se comprendre que par une diversité de facteurs d'influence, et un complexe jeu d'acteurs au sein desquels les plus centraux ne sont pas nécessairement les plus proches de la gestion des PRO. Dans la formulation de promesses plausibles, le contenu technique mis en avant – les enjeux évoqués et les perspectives techniques proposées –, est essentiellement un choix de l'acteur initiateur. Si l'idée d'une concertation autour de la gestion des PRO est généralement bien reçue de la part des acteurs interrogés, l'horizon temporel de ce contenu modifie la réaction des acteurs à des promesses plausibles de différents niveaux de spécificité. Un acteur disposant d'une connaissance scientifique et technique du SGPRO à l'échelle du territoire a un avantage conséquent quant à la crédibilité technique de la situation qu'il mettra en avant dans une promesse plausible. Cependant, nous avons observé que l'intérêt était peu dépendant du réalisme des promesses plausibles, notamment du fait de la multiplicité des facteurs en jeu. Dans ce contexte, des contenus vagues peuvent s'avérer suffisants pour initier la concertation. Le rôle de l'acteur initiateur n'est donc pas marginal, mais il semble intrinsèquement limité par la contingence territoriale et sa propre situation dans celle-ci. Cette étude de cas fournit des éléments de compréhension permettant de proposer des principes généraux de formulation de promesses plausibles, qui seront explorés dans la conclusion générale.

Partie IV Discussion générale

Cette ultime section vise à prendre du recul sur le chemin parcouru par les travaux présentés jusqu'à maintenant. Elle synthétise les résultats clés de la thèse dans une lecture cohérente permettant de répondre à la problématique de recherche, et met ces résultats en perspective avec les cadres théoriques qui ont guidé la formulation de la problématique de recherche. En revenant à la fois sur le parcours réalisé et celui restant à parcourir, elle développe la portée théorique et opérationnelle de ces travaux.



Chapitre 11. Discussion et perspectives

Les Partie II et Partie III de ce mémoire présentent de nombreux résultats contribuant à répondre à une problématique de recherche générale. Ces résultats ont été présentés de manière indépendante, avec des éléments de discussion très spécifiques. Cet ultime chapitre de discussion générale se propose d'aller au-delà et de saisir l'ensemble de cette thèse comme un tout dont il s'agit d'examiner la portée, les limites et les perspectives. Il est séparé en trois parties. Dans la première (11.1.1), nous proposons de dresser la synthèse et le bilan de la démarche de recherche, en synthétisant les résultats clés et en revenant sur la démarche méthodologique. Dans la deuxième (11.2), nous proposons un approfondissement de la discussion en revenant sur les différents cadres théoriques empruntés pour identifier les principales perspectives de recherche. Dans la troisième (11.3), nous proposons une montée en généralité des résultats dans une perspective opérationnelle, afin d'établir des recommandations dans l'initiation d'une symbiose territoriale.

11.1. Bilan de la démarche de recherche : Réponse à la problématique de recherche, portée des résultats et retours sur la posture

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans un exercice de recherche adisciplinaire, qui a conduit à la réalisation de nombreuses études qui peuvent sembler relativement indépendantes les unes des autres. Dans cette première partie de discussion, nous proposons de tirer le bilan du chemin ainsi parcouru. En synthétisant les principaux résultats de la thèse, nous proposons une réponse à la problématique générale de recherche (11.1.1). Dans un deuxième temps, nous interrogerons la portée et la généralité de ces résultats (11.1.2). Nous revenons enfin sur la posture originale de recherche, et ses conséquences sur le déroulement de la thèse et les résultats obtenus (11.1.3).

11.1.1. Réponse à la problématique de recherche

Les travaux entrepris pour répondre à la problématique de recherche élaborée dans le Chapitre 1 nous ont emmenés sur de nombreuses routes qu'il est à présent temps de faire converger pour en synthétiser les enseignements clés. A l'issue du premier chapitre, la problématique de recherche avait été définie de la manière suivante : « *Comment formuler une promesse plausible, issue du monde de la recherche, pour initier une symbiose territoriale visant à résorber une rupture métabolique territorialisée ?* ». La réponse aux différentes questions de recherche permet d'alimenter les deux aspects de la formulation que sont la mise en formule et la formalisation, pour finalement répondre à cette problématique générale. Récapitulons ici la manière dont s'assemblent les différents résultats de thèse contribuant à cette réponse, en revenant notamment sur l'hypothèse initiale d'un « optimum » de formalisation.

Ce qu'est une promesse plausible, et ce que nécessite sa formulation

La Partie II de la thèse a premièrement permis de comprendre les éléments clés d'une promesse plausible et la manière de la définir. La question de recherche **QR 1**¹⁷² visait à identifier les éléments théoriques liés à la conception de symbioses territoriales bioéconomiques. Un premier résultat clé obtenu est la compréhension des schémas généraux de synergies bioéconomiques et la manière dont est intégrée l'agriculture dans les symbioses industrielles existantes. Cela amène à spécifier les objectifs en termes de bioéconomie que peuvent poursuivre de telles symbioses, et expose ainsi des principes de conception de scénarios. Le deuxième résultat clé obtenu est la formalisation du concept de système-territoire, qui permet de délimiter un système au sein duquel élaborer de tels scénarios. Il permet de rendre explicites les choix de cadrage de l'acteur initiateur, qui se matérialisent sous la forme d'un périmètre délimité, d'un réseau d'acteurs et d'un enjeu spatialisé. Ces éléments permettent d'analyser une situation avant toute action collective, notamment les échanges matériels de flux de matière, et le périmètre de concertation potentiel. Ils permettent ainsi la formulation de promesses plausibles au sein de

¹⁷² « Comment déterminer a priori le périmètre et les objectifs d'une symbiose territoriale bioéconomique ? »

celui-ci. La question de recherche **QR 3**¹⁷³ visait à formaliser les concepts de mythe rationalisés et de promesse plausible dans le cas des symbioses industrielles. En se basant sur la littérature pour en proposer des définitions opérationnelles, les travaux ont permis d'illustrer et de caractériser ces différents éléments. Une promesse plausible est un discours performatif formulé par un acteur initiateur à des acteurs-cibles, mettant en scène un mythe rationalisé composé d'une situation justifiant l'action et une réponse collective (impliquant les acteurs-cibles) appropriée à cette situation. Cela a notamment contribué à reconcevoir le rôle de la promesse plausible dans l'action collective, pour la définir plutôt comme un point de passage cyclique que comme une étape d'initiation unique. Les symbioses industrielles ne correspondent ainsi pas à des événements monolithiques, mais plutôt à un enchaînement d'actions collectives, régies par des mythes rationalisés évolutifs. Cela remet en perspective l'importance de la promesse plausible initiale de la concertation : si celle-ci revêt une importance particulière, elle ne sera pas nécessairement la seule. Cela permet d'envisager des approches plus stratégiques de l'initiation, visant à constituer de manière préalable un groupe de contrôle légitime composé d'acteurs-cibles influents, permettant d'élargir ultérieurement le cercle de gouvernance.

Leçons de l'expérimentation sur la plaine de Versailles : Un optimum de formalisation ?

La Partie III de la thèse, en se basant sur ces éléments théoriques, a construit une expérimentation visant à étudier l'initiation d'une symbiose territoriale fictive, dans une situation de rupture métabolique territorialisée où elle serait pertinente. La question **QR 2**¹⁷⁴ visait à comprendre et à représenter le potentiel d'évolution du SGPRO de la plaine de Versailles. En se basant sur des travaux antérieurs ainsi que sur une campagne d'entretiens, l'étude a commencé par établir une compréhension poussée de ce système-territoire. Cette compréhension passe notamment par la description des flux de matière et de nutriments, démontrant à nouveau le potentiel important de substitution d'intrants de synthèse dans une symbiose territoriale. Elle porte également sur un volet plus générique, dans lequel les rôles et facteurs d'influence du SGPRO ont été répertoriés et analysés, de manière à comprendre la composition du groupe d'acteurs-cibles pertinents pour entreprendre une démarche concertée. Sur la base de cette compréhension, un modèle conceptuel de représentation de la symbiose territoriale a été proposé, couplant des hypothèses d'affectation des PRO et des modèles de transformation. En s'appuyant sur cette formalisation, des scénarios de gestion alternatifs ont été représentés et évalués pour construire le contenu technique de promesses plausibles. Les ordres de grandeur fournis par ces modélisations, s'ils n'ont que vocation à s'ériger en *promesses* (et non en prédictions), suggèrent que les symbioses territoriales devront résoudre de complexes défis technologiques et sociétaux pour exploiter pleinement leur potentiel de circularité. La question **QR 4**¹⁷⁵ visait à tester, auprès des acteurs-cibles identifiés, différentes caractéristiques des promesses plausibles pour en tirer des principes méthodologiques quant à leur formulation. Cette étape a été réalisée par une seconde phase d'entretiens, mettant en scène une gamme de promesses plausibles et invitant des

¹⁷³ « Quelles sont les caractéristiques de la promesse plausible, et en quoi permet-elle l'étude des dynamiques de l'action collective dans le cadre des symbioses territoriales ? »

¹⁷⁴ « Comment modéliser et évaluer la modification du système technique de gestion des produits résiduaux organiques en vue d'informer le potentiel de symbiose territoriale ? »

¹⁷⁵ « Comment les caractéristiques de la promesse plausible influencent-elles sa performativité dans la mise en œuvre d'une symbiose territoriale bioéconomique ? »

acteurs diversifiés du système-territoire à les évaluer. Les résultats obtenus par cette expérimentation remettent en cause la simplicité de l'hypothèse implicite de « l'optimum d'élaboration » qui était présentée sur la Figure 13 présentée au Chapitre 1. La formalisation du cadre conceptuel de la promesse plausible s'appliquant à la symbiose territoriale permet de mieux qualifier les deux axes caractérisant cette hypothèse. La « qualité » de la promesse plausible sur l'axe vertical correspond à sa performativité, c'est-à-dire sa capacité à se traduire en action des acteurs-cibles. Concernant l'axe horizontal, ce qui était défini comme un niveau « d'élaboration » peut à présent mieux être compris comme un niveau de spécification, c'est-à-dire le fait que la promesse soit formulée en des termes qui ne soient pas sujets à interprétation. Au niveau individuel, une évolution très diversifiée des réactions a été observée, qu'il est impossible de généraliser, même par type de rôle des acteurs. Cela suggère que, si un phénomène d'optimum peut parfois être observé, il est loin d'être une généralité. Au niveau collectif, cette importante variabilité entraîne au final de faibles écarts sur la performativité globale des promesses plausibles. L'évolution de la performativité dépend effectivement de la nature du contenu technique de la promesse, qui peut être distingué entre des enjeux (état de la situation actuelle) et des perspectives (état anticipé durant ou à la suite de la concertation). D'autres éléments indépendants de cette « mise en formule » interfèrent cependant dans le positionnement des acteurs : la perception du processus de concertation, la nature des autres acteurs impliqués, ou encore la formulation verbale du message. Les courbes représentées par la Figure 90 représentent schématiquement des trajectoires d'évolution possibles, idéalisées, identifiées par résultats. En premier lieu, il existe un **décalage à l'origine**, traduisant le fait que des promesses peu spécifiques peuvent malgré tout être performatives. En lien avec les travaux de la Partie II, ce décalage peut s'expliquer par l'existence d'idéographes, c'est-à-dire de justifications collectives institutionnalisées visant à atteindre des objectifs à long terme mal définis. De telles justifications n'ont pas nécessairement besoin d'être spécifiées dans un contexte local pour mobiliser des acteurs. Certaines promesses présentent un **effet stagnation** : leur performativité est peu impactée par le niveau de spécification. C'est notamment le cas lorsque des facteurs autres que techniques (économiques, politiques, sociaux...) sont utilisés pour évaluer les promesses, comme cela a été observé dans le scénario à horizon court terme. Dans d'autres cas, un **effet optimum** est bien observé : davantage de spécifications augmentent la performativité dans un premier temps, puis la font baisser. C'est notamment le cas lorsque les spécifications supplémentaires remettent en cause le rôle ou la stratégie des acteurs dans le SGPRO. Cet effet a été observé pour le scénario à horizon moyen terme. Enfin, dans certains cas, il peut y avoir un **effet contre-productif** : davantage de spécifications fait diminuer la performativité. Cela a été observé dans le scénario à horizon long terme, dans lequel les technologies envisagées remettaient trop en question le fonctionnement actuel du SGPRO. Cette diversité de trajectoires peut en partie s'expliquer par la décorrélation entre la crédibilité des promesses – c'est-à-dire, leur réalisme pour les acteurs-cibles – et leur performativité. Les acteurs ne basent pas uniquement leur intérêt sur le réalisme qu'ils accordent au contenu des promesses, qui ne porte d'ailleurs pas que sur des aspects techniques. Leur position se base sur une évaluation plus nuancée des opportunités et risques qui se présentent à eux, tenant compte de la nature du contenu technique mais ne se limitant pas à cela.

Schémas observés expérimentalement

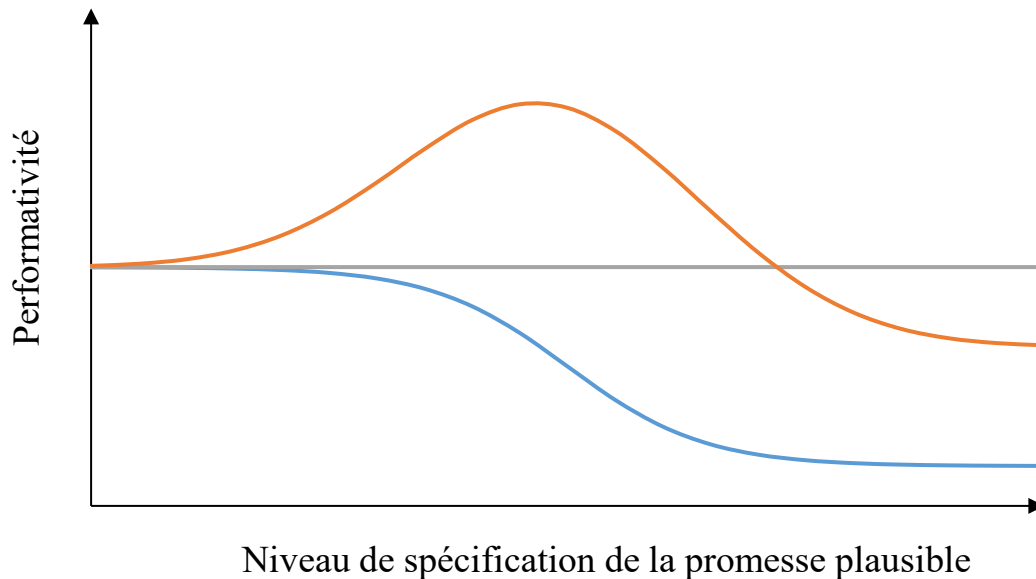


Figure 90 : Représentation idéalisée de la performativité des promesses plausibles en fonction de leur niveau de spécification. La courbe grise représente un effet stagnation, la courbe orange un effet optimum, et la courbe bleue un effet contre-productif.

Comment formuler une promesse plausible ?

Ces résultats informent premièrement que la conception d'une promesse plausible ne peut être guidée par des principes généraux indépendants de l'acteur qui la formule et du système-territoire auquel elle s'applique. Nous avons également illustré qu'il n'existait pas *une* promesse plausible dans une situation donnée, du fait qu'il existe plusieurs possibilités de mise en formule de cette promesse. Ainsi, avant de répondre à la problématique « *comment* formuler une promesse plausible », il est nécessaire de déterminer « *quelle* » promesse plausible l'initiateur cherche à formuler. S'il apparaît que le niveau de spécificité est effectivement important, il doit en particulier être ajusté en fonction des modalités techniques et de la nature du projet. S'il s'agit d'un état des lieux non prescriptif, d'une évolution incrémentale ou d'un scénario de rupture, les recommandations de spécification sont différentes. Les observations empiriques sur la plaine de Versailles suggèrent que, plus l'horizon temporel est éloigné, plus il est risqué d'y apporter des détails très spécifiques, car plus ils ont de chances de s'opposer à la vision actuelle que les acteurs-cibles ont du système-territoire et de leur propre stratégie d'évolution dans ce système. A l'opposé, plus l'horizon se rapproche du court terme, plus la multiplicité des enjeux économiques, politiques, réglementaires, sociaux et environnementaux interfère dans les réponses des acteurs. Malgré ses efforts de formalisation, l'acteur initiateur n'a que peu de prise sur ces facteurs d'influence du système-territoire. Malgré les efforts de formulation, il restera ainsi toujours une partie du jugement des acteurs, contingente et imprévisible, avec laquelle il lui faudra composer. Dans la situation étudiée, des discours génériques, se basant sur une culture générale commune des enjeux environnementaux, apparaissent comme globalement moins risqués pour engager les acteurs-cibles que des promesses plausibles plus spécifiques. Ces résultats suggèrent donc qu'il n'est pas nécessaire d'établir une représentation très précise de la situation pour formuler une promesse plausible – mais uniquement pour cela : cette

représentation a d'autres utilités qui seront évoquées dans cette section. La suite de cette discussion reviendra sur les implications de cette observation, et notamment leur domaine de validité.

L'initiation : une question triviale ?

Un des constats initiaux était que la phase d'initiation des démarches de concertation était globalement peu étudiée, parfois implicitement considérée comme une question triviale. La démarche de thèse permet de mieux comprendre ce qu'il en est et de formuler quelques hypothèses sur les raisons de ce manque d'intérêt. Premièrement, certaines concertations interviennent dans des situations où **les participants ont déjà collectivement conscience des enjeux**, et partagent une représentation du système-territoire associé à ces enjeux¹⁷⁶. Cela correspond à une situation explicite, qui ne nécessite pas que l'initiateur de la concertation la traduise pour engager les autres acteurs¹⁷⁷. On retrouve par exemple ce cas dans le projet GIROVAR décrit en introduction. Deuxièmement, les retours d'expérience de démarches d'écologie industrielle et territoriale (EIT) et de concertations bioéconomiques (voir Chapitre 6) soulignent l'importance de **l'influence de l'initiateur** dans le système-territoire dans lequel il intervient. Une promesse plausible formulée par un acteur très influent, comme une collectivité territoriale (EPCI, syndicat de gestion de déchets) constitue un puissant levier d'engagement en témoignant d'une volonté politique de ces acteurs, facteur essentiel à la concrétisation d'une démarche. L'initiation d'une démarche concertée ne semble donc pas, en soi, une étape particulièrement complexe dès lors qu'un tel acteur dispose de suffisamment d'intérêts et de ressources pour se positionner en tant qu'initiateur. Enfin, nous avons identifié dans la situation d'étude l'existence d'un **contexte culturel favorable** à l'initiation de concertations sur des fondements peu explicites. Ainsi, le « décalage à l'origine » observé dans le système-territoire de la plaine de Versailles peut être interprété comme un indicateur d'une sensibilité préexistante à l'enjeu du recyclage des PRO, malgré l'absence d'action concertée. Dans un certain nombre de cas, cela met en lumière que l'initiation n'est effectivement pas une question complexe pour l'initiateur. Cependant, s'arrêter à ce constat sans se poser la question de *ce qui est réellement initié* pourrait conduire à inverser les fins et les moyens de la symbiose territoriale. Le but de cette démarche concertée n'est pas simplement d'être initiée, mais de contribuer réellement à résorber la rupture métabolique. Cela nécessite d'ailleurs qu'une diversité d'acteurs importante soit mobilisée, ce qui n'est pas toujours fait dans les cas étudiés. Nous avons mis en avant, dans le Chapitre 9, qu'atteindre un tel résultat posait des défis importants aux acteurs impliqués. Une symbiose territoriale initiée sur la base d'un objectif mal défini parviendrait-elle à résoudre de tels défis ? Plus que sur le fait de mobiliser effectivement les acteurs, cette question interroge sur la *qualité* des démarches de concertation, et son lien avec les conditions d'initiation (par exemple, de l'horizon temporel et du niveau de spécification des enjeux). Dans cette optique, cela signifie que la qualité des promesses plausibles ne doit plus être évaluée uniquement à l'aune de leur performativité, mais également en fonction des résultats qu'elle permet d'obtenir en termes d'action collective.

¹⁷⁶ Ce système-territoire correspond par exemple aux acteurs considérés comme « responsables » d'un problème, sur un espace donné, ou ceux dont l'action peut contribuer à résoudre le problème.

¹⁷⁷ Ce qui n'empêche pas qu'une traduction ait lieu malgré tout pour que les questions abordées par le collectif rejoignent le point de vue de l'initiateur.

11.1.2. Portée et généricité des résultats

En ne se positionnant pas à proprement parler dans un champ disciplinaire, les résultats obtenus portent également sur des situations qui dépassent ces disciplines. Afin de saisir la portée et les implications de la réponse proposée à la problématique de recherche, nous proposons de revenir sur la généricité de certains résultats clés de la thèse.

Généricité des principes de formulation des promesses plausibles

L'observation de la performativité des promesses plausibles peu spécifiques dans l'étude sur le SGPRO de la plaine de Versailles va dans le sens des résultats observés plus largement sur l'initiation et l'évolution des symbioses industrielles en France. Ce succès s'explique donc en partie par un intérêt des acteurs du SGPRO assez élevé par défaut, malgré l'inexistence d'un cadre d'action institutionnalisé. En revanche, il n'a pas non plus été observé que ces promesses plausibles étaient *meilleures* que les autres, notamment celles définies comme des situations stratégiques. La réponse face à de telles promesses plausibles ne s'est pas révélée uniforme. Le système-territoire étudié est particulièrement contraint (non seulement par la zone dont l'urbanisme est réglementé, mais également par le contexte agri-urbain tendu), ce qui rendait, aux yeux des acteurs, des changements systémiques particulièrement peu crédibles. Il est possible que, dans des systèmes moins contraints, de tels changements rencontrent moins de réserves. De manière plus générale, en se focalisant sur un unique cas d'étude, cette expérimentation ne permet pas d'évaluer si la réaction face aux promesses plausibles est spécifique au contexte ou si elle serait similaire dans d'autres contextes. Pour se prononcer sur cela, il est nécessaire de se questionner sur le niveau de spécificité des observations faites sur le fonctionnement du SGPRO de la plaine de Versailles.

Généricité du système sociotechnique de gestion des PRO

L'étude compréhensive du SGPRO offre une représentation multifactorielle de son fonctionnement et de la manière dont celui-ci peut évoluer. Elle illustre de manière extensive le fait que la symbiose industrielle – ou le recyclage des PRO – est loin d'être uniquement une question technique, ce qui s'aligne avec le constat de l'encastrement social de l'écologie industrielle (Boons et Howard-Grenville, 2009). Les facteurs d'influence identifiés sur le système-territoire étudié présentent des niveaux de généricité variables. En premier lieu, il existe des facteurs réellement **spécifiques au SGPRO de la plaine de Versailles**, comme les liens agri-urbains, le contexte politique et économique local, les acteurs et filières déjà en place et leurs relations avec le reste du territoire, l'historique et les représentations culturelles – notamment des risques de pollution liés aux boues de STEP. Certains facteurs d'influence sont fortement liés à un **contexte culturel et politique national**, qui les rendent inopérants dans d'autres pays. Il s'agit notamment de tous les facteurs qui tiennent des aspects administratifs et réglementaires propres au territoire français. Il existe également des facteurs **concernant la gestion des PRO de manière plus générique**¹⁷⁸. C'est notamment le cas de facteurs liés aux techniques de gestion des PRO, comme les paramètres physiques et biologiques du compostage et de la méthanisation. Notons enfin que la formalisation des six familles de facteurs est un résultat qui pourrait **s'appliquer à des systèmes sociotechniques de manière générique**, bien au-delà de la gestion

¹⁷⁸Notons que cette généricité pourrait même s'étendre à la gestion des déchets en général, bien que l'étude sur la plaine de Versailles n'ait pas l'ambition de s'exprimer à un tel niveau.

des PRO, notamment dans la cadre de l'application de politiques environnementales, comme la mise en place de l'économie circulaire ou la transition énergétique. Dans la gestion des sédiments, par exemple, des familles de facteurs très similaires ont été mises en évidence (Abriak *et al.*, 2006). La combinaison de facteurs d'influence qui s'applique à un système sociotechnique est donc propre à un contexte culturel, et à un territoire, et ne peut être prédite de manière générique. Sur d'autres territoires, il est probable que nombre de ces facteurs interviennent également, mais sous un angle différent que l'exemple de la plaine de Versailles seule ne nous permet pas de généraliser. Inversement, d'autres territoires pourraient être confrontés à des facteurs d'influence qui n'ont pas été observés sur la plaine de Versailles de par son contexte particulier. Le Tableau 45 propose une synthèse de ces différents niveaux de généricité auxquels peuvent s'appliquer les facteurs d'influence observés dans le système-territoire étudié.

Tableau 45 : Proposition d'un domaine d'application quant aux facteurs d'influence identifié : généricité et spécificité en fonction du contexte et exemples de facteurs d'influence relevant de ces catégories.

Familles génériques	Spécifique à la gestion des PRO	Spécifique au contexte français	Spécifique à la PV
Economique	Coût des technologies	Soutiens publics à la méthanisation	
Environnemental	Potentiel de résorption de la rupture métabolique	Eutrophisation des eaux	Zone vulnérable aux nitrates
Politique		Compétences des entités administratives concernant la gestion des déchets	Influence politique de l'agglomération de Versailles
Réglementaire		Loi AGECE Réglementation sanitaire Directive Nitrate	Zone patrimoniale classée
Social	Changement des conditions de travail pour les agriculteurs lié à l'épandage de PRO	Tensions liées aux projets de méthanisation	Tensions agri-urbaines Vision négative des boues de STEP liée à un scandale historique de pollution
Technique	Importance de l'infrastructure existante dans l'implantation des filières Limites inhérentes à chaque technique	Filières dominantes au niveau national (par exemple : assainissement par nitrification-dénitrification)	Infrastructures existantes sur le territoire (compostage de déchets verts, méthanisation) Système agricole céréalier

Concernant le fonctionnement du SGPRO, l'approche qualitative utilisée sur un nombre important d'entretiens garantit une certaine robustesse quant au fonctionnement général en deux sous-systèmes et aux rôles identifiés. En revanche, il est possible que d'autres contextes territoriaux fassent intervenir des acteurs ayant des rôles qui ne sont pas présents sur le SGPRO de la plaine de Versailles. L'absence notable d'industries agro-alimentaires, par exemple, est une spécificité du territoire, qui pourrait reconfigurer les interactions entre les rôles sur d'autres territoires. La nature particulière des systèmes agricoles sur la plaine de Versailles est également déterminante quant au rôle que joue le monde agricole au sein du SGPRO. Suite à ces considérations, la question se pose de savoir si l'importance observée du système d'influence par rapport au système d'interactions physiques est propre à la plaine de Versailles, ou si elle serait similaire dans d'autres SGPRO. Une spécificité de la plaine de Versailles, par exemple, est de se situer dans le périmètre de la région Ile-de-France, qui est proche des instances administratives et politiques nationales. Il est donc tout à fait probable que le poids relatif des rôles et les interactions entre les acteurs soit différents dans d'autres situations. Dans ce cas, la définition des

parties prenantes potentielles à une symbiose territoriale pourrait également être différente de celle identifiée sur le système-territoire d'étude. Il n'est donc pas possible de définir par anticipation et de manière générique quels sont les acteurs influents dans un système-territoire, sans passer par une enquête auprès d'acteurs locaux. Cela vaut également pour la composition du périmètre de concertation, celui identifié dans le SGPRO de la plaine de Versailles n'ayant pas prétention à une validité absolue et transposable.

La performativité dans d'autres contextes ?

La spécificité des facteurs d'influence à certains éléments contextuels, et l'importance de ces mêmes facteurs dans l'évaluation des promesses plausibles, suggèrent une prudence quant à la généralisation des observations de la plaine de Versailles à d'autres contextes. Il est tout à fait probable que les a priori positifs observés dans le cas d'étude ne soient pas constants d'une situation à l'autre, et il est même possible d'imaginer des situations où cet a priori serait négatif. Cela serait le cas si les acteurs d'un système-territoire disposaient d'un système de valeurs ou d'une culture dans lesquels il n'existe pas d'idéogrammes sur lesquels pourrait se baser la symbiose territoriale bioéconomique, ou alors que ces idéogrammes portent une connotation négative¹⁷⁹. Dans ce type de situation, une promesse plausible mettant en scène une situation mal définie ne pourrait bénéficier des mêmes avantages que dans le SGPRO de la plaine de Versailles. Au niveau national¹⁸⁰, nous sommes en mesure de supposer que ce contexte socioculturel est suffisamment stable pour permettre une montée en généralité des résultats dans la perspective opérationnelle proposée à la fin de cette discussion (section 11.3).

11.1.3. Retour sur la démarche et la posture de recherche

Afin de compléter ce bilan de la démarche de recherche, nous proposons de revenir sur la posture adoptée pour discuter sa validité et sa répliquabilité. L'adisciplinarité de ces travaux et leurs liens avec le monde industriel au travers de la convention Cifre ont façonné la manière de conduire la recherche et les résultats obtenus.

Retours sur une recherche partenariale adisciplinaire

Une des caractéristiques de l'interdisciplinarité, qui a été illustrée tout au long de ce mémoire, est l'impossibilité de définir l'intégralité d'un protocole de recherche précis dès le départ. A plusieurs reprises, au Chapitre 4 comme au Chapitre 7, il a fallu élaborer une stratégie générale de recherche pour fixer les lignes directrices, sans pouvoir dire à l'avance où celles-ci conduiraient. Le chemin parcouru dans un tel exercice est en réalité aussi important que le point d'arrivée. Dans un certain vide théorique et méthodologique, il a souvent fallu avancer à tâtons, afin de construire des résultats intermédiaires servant à élaborer les bases méthodologiques des travaux suivants. Il en a résulté de longs questionnements, pistes explorées et parfois abandonnées, dont le foisonnement n'est pas présenté dans ce manuscrit. Le contexte partenarial

¹⁷⁹ Il s'agit là d'une dimension de la rhétorique qui n'a pas été explorée dans ces travaux, mais il est facile d'imaginer la construction de tels idéogrammes comme antagonistes à ceux qui portent une connotation positive. Par exemple, l'idéogramme du « progrès » s'oppose implicitement à l'idéogramme négatif du « déclin ».

¹⁸⁰ Voire européen, du fait de la stratégie bioéconomique européenne (European Commission, 2018). Notons également que le cadre institutionnalisé de l'économie circulaire est commun dans de nombreux pays, y compris non occidentaux (McDowall *et al.*, 2017)

associé à la thèse a été déterminant dans l'élaboration de cette stratégie de recherche. C'est donc seulement au terme de ce voyage qu'il est possible de définir exactement les grandes étapes qui l'ont composé : (1) l'étude de la place de la bioéconomie dans les symbioses industrielles par une analyse de cas d'étude basée sur la littérature (2) l'étude de la promesse plausible et des mythes rationalisés sur la base d'entretiens réalisés auprès de démarches d'EIT en France, (3) l'établissement d'un diagnostic de rupture métabolique territorialisée au sein d'un système-territoire en se basant sur une analyse de flux de matière réalisée à partir de travaux préexistants (4) la formalisation du SGPRO et l'analyse de ses réseaux sociaux, réalisées grâce à la conduite d'entretiens au sein du SGPRO de la plaine de Versailles, (5) la conception et la modélisation de scénarios de symbiose territoriale et (6) la mise à l'épreuve de promesses plausibles auprès d'acteurs-cibles pertinents du SGPRO de la plaine de Versailles. Mobilisant et rassemblant un ensemble diversifié de cadres conceptuels sans s'enfermer dans aucun d'entre eux, les travaux se veulent faire preuve de souplesse épistémologique, premier pilier de la science adisciplinaire (Haider *et al.*, 2018). Tout au long de la thèse, un accompagnement méthodologique a été apporté par des personnes expertes dans leur domaine, identifiées grâce au réseau de partenaires. Ces différentes étapes ont ainsi pu se doter d'une robustesse méthodologique, second fondement de la posture adisciplinaire. Cette entreprise s'inscrit donc en cohérence avec les principes de cette posture émergente décrite dans le Chapitre 4.

Une démarche expérimentale innovante

Notons toutefois la singularité de l'ultime étape de mise à l'épreuve de promesses plausibles (Chapitre 10), qui propose une démarche méthodologique originale. Étant donné le vide méthodologique qui entoure la promesse plausible en tant qu'objet d'étude, il a été nécessaire de développer, pour ces travaux, une méthodologie innovante pour mettre à l'épreuve cet objet. La démarche expérimentale liée à cette phase d'étude, comprenant les différentes étapes présentées au Chapitre 7, a fait l'objet de longues réflexions et discussions accompagnées par les partenaires de la thèse. Cette étude se situe sur un terrain relativement original correspondant à une première tentative, sans doute perfectible, d'étude *ex ante* de l'initiation d'une démarche de concertation. La méthode d'analyse compose également avec cette originalité, en cherchant une complémentarité entre une approche d'évaluation quantitative et qualitative. Sa réplication pose de réelles questions méthodologiques, car chaque territoire est en soi différent. Pour étudier un autre territoire, il serait nécessaire de développer d'autres promesses plausibles, avec autant de choix arbitraires que ceux effectués dans le cas présent. Dans cette situation, il serait difficile d'évaluer le poids relatif de ces choix en comparaison des mécanismes plus généraux que l'on cherche à identifier. Au cours des discussions ayant conduit à la conception de la stratégie de recherche, des pistes méthodologiques ont été envisagées mais n'ont pas pu être réalisées au cours de la thèse. Une première possibilité aurait été d'analyser de manière comparée plusieurs systèmes-territoires. Il ne nous était cependant pas possible d'acquérir un niveau de formalisation identique à celui obtenu sur la plaine de Versailles sur d'autres territoires. Une deuxième possibilité aurait été d'observer en temps réel l'émergence réelle d'une démarche, en plus de travailler sur un cas fictif. Ce type d'analyse permettrait d'observer la performativité réelle des promesses plausibles, et les raisons qui poussent réellement les acteurs à se joindre à la démarche. Cependant, il faudrait pour cela une démarche de symbiose territoriale bioéconomique construite selon les termes introduits au Chapitre 1. Or, comme le montre l'analyse de cas d'étude, d'une part ce type de démarche est très rare, et d'autre part, il est d'autant plus rare qu'elles soient conduites par des acteurs scientifiques. Pour entreprendre une telle étude, il serait donc nécessaire

de pousser la recherche-action dans une posture encore plus opérationnelle, visant à réellement faire émerger une symbiose territoriale sur un territoire et à étudier consciencieusement son initiation. En revanche, les retours d'expérience de cas « réels », bien que différents du cas théorique, ont été analysés et font partie des éléments clés de cette discussion (voir section 11.3.2).

Une recherche pour, ou par les sciences post-normales ?

Le projet de recherche de cette thèse n'avait pas vocation à s'inscrire dans les sciences post-normales à proprement parler¹⁸¹ : nous avons plutôt considéré la promesse plausible comme un *outil* au service de cette approche scientifique. Néanmoins, la question peut légitimement être reposée au vu du processus qui s'est mis en place au cours de la thèse. Après avoir cherché attentivement à comprendre et à déceler ce que sont les promesses plausibles, et les mythes rationalisés qu'elles mettent en œuvre, il devient difficile d'ignorer leur omniprésence. Le monde humain est en effet peuplé d'actions collectives et d'institutions, chacune portées par leurs propres justifications. Ce projet de thèse peut être vu en lui-même comme une telle action, car il engage un ensemble d'acteurs (partenaires, laboratoires, membres des comités, agences de financement) dans une œuvre collective. A ce titre, les cadres théoriques structurants pour la recherche peuvent s'appliquer sur la démarche elle-même. La problématique de recherche a fait l'objet d'un processus de traduction – selon le vocabulaire d'Akrich et al. (2006) – réalisé par les différentes structures partenaires. Chacune était amenée à y prendre part, de par sa propre connaissance, et à y rechercher une résonance avec ses propres activités. Cette implication multiple d'intérêts croisés, au travers des différents comités de suivi et d'accompagnement, en fait un remarquable exemple d'objet-frontière (Star et Griesemer, 1989). Il a été construit de manière à prendre en compte les objectifs et intérêts des différentes parties prenantes, par un apprentissage collectif qui a accompagné le projet. En contrepartie, les travaux ont bénéficié des nombreuses ressources de ces partenaires : expertise, retours d'expérience, réseau, ressources documentaires internes, données... Ces éléments ont représenté un apport considérable pour les travaux, autant qu'ils ont contribué à leur conférer leur forme finale. Il ne fait aucun doute que la même question de recherche, posée dans un contexte partenarial différent, aurait abouti à une démarche bien différente de celle-ci, et potentiellement une perspective différente sur la problématique. Cela illustre une nouvelle fois l'importance des réseaux sociotechniques dans la production des connaissances (Akrich *et al.*, 2006). La quête scientifique s'inscrit dans des réseaux d'acteurs et de ressources (matérielles ou non), qui influencent les questions posées et les méthodes mises en œuvre pour obtenir des réponses. Les connaissances issues de ce processus ont, dans une certaine mesure, été co-construites avec un ensemble de partenaires académiques, mais également non-académiques au travers des experts de Veolia. Nous pourrions même nous demander dans quelle mesure les multiples acteurs de terrain interrogés ont également participé à construire ces connaissances. Avec une situation expérimentale brouillant parfois les limites entre la recherche et l'action¹⁸², cette thèse n'est finalement pas si éloignée que nous le prétendions de la science post-normale. Restons cependant clairs, la limite n'est selon nous pas franchie. Une réelle concertation n'a pas été initiée, les

¹⁸¹ Pour rappel, cette notion a été présentée en introduction, voir Funtowicz et Ravetz, 1993

¹⁸² En référence aux acteurs rencontrés qui s'interrogeaient sur les suites concrètes des entretiens. Force est de constater que même cette mise en situation fictive est susceptible de créer des irréversibilités dans le système-territoire.

connaissances établies restent interdisciplinaires et non transdisciplinaires – ce que requerrait une approche post-normale.

Un mythe ontologique

Cette réflexivité amène au final à s'interroger sur le mythe rationalisé de cette démarche de recherche, en tant qu'action collective. Le lecteur attentif aura en effet remarqué que la démarche de recherche se base sur une *situation* (Chapitre 4), terme qui a également été utilisé pour désigner un des éléments constitutifs des mythes rationalisés (Chapitre 6). La justification de cette recherche s'est établie au Chapitre 1, par le fait que la rupture métabolique territorialisée est une situation problématique (situation) et qu'il est nécessaire d'étudier la conception de promesses plausibles pour initier une symbiose territoriale (réponse). C'est autour de ce « mythe » – que l'on peut qualifier de mythe ontologique – qu'a été institutionnalisée la démarche de thèse et que se sont fédérées les actions des différents partenaires.

11.2. Mise en perspective des résultats

A partir des résultats, il est possible de réinterroger les questionnements initiaux, ainsi que les cadres conceptuels centraux qui ont contribué à façonner la problématique et les questions de recherche. Nous commençons par replacer cette recherche dans le champ général de l'écologie industrielle pour en identifier les apports (11.2.1). Dans un deuxième temps, nous proposons de réinterpréter les résultats sous l'angle de la sociologie pragmatique et de l'innovation (11.2.2). En écho aux réflexions introductives sur les liens science-société, nous revenons ensuite sur les enseignements que l'on peut tirer des présents travaux à ce sujet (11.2.3). Cette discussion d'ensemble nous permet finalement de dégager les principales pistes de recherche (11.2.4).

11.2.1. Contribution des travaux à l'écologie industrielle

La symbiose territoriale pour rapprocher la bioéconomie et l'écologie industrielle

Dans ces travaux, nous proposons de brouiller la frontière parfois trop hermétique entre écologie industrielle et écologie territoriale. Si ce sont bien les aspects systémiques de la seconde qui ont cadré la problématique de recherche, elle – l'écologie territoriale – s'inscrit dans la continuité logique des questionnements de la première – l'écologie industrielle¹⁸³. Pour faire la jonction entre les deux, nous avons utilisé le terme de symbiose territoriale, jusqu'ici très peu mobilisé (Perret, 2018). Cette forme de symbiose industrielle permet de lier une problématique systémique concernant le métabolisme d'un territoire aux aspects opérationnels des synergies, à leurs problématiques technico-économiques, à leur initiation et évolution, et à leur encastrement social. La posture adisciplinaire adoptée dans ces travaux a permis d'aborder ces différents angles de manière complémentaire, conformément aux recommandations des auteurs (Boons et Howard-Grenville, 2009). De l'analyse de flux de matière à l'analyse des réseaux sociaux, en passant par l'analyse des facteurs d'influence, ces travaux ont permis d'explorer de multiples dimensions de l'encastrement du SGPRO. Cela s'inscrit dans une approche approfondie de

¹⁸³ Nous renvoyons ici à l'annexe A-1 du Chapitre 1 pour un argumentaire plus complet sur cette question.

l'écologie industrielle, qui a souvent tendance à ne se restreindre qu'à un seul aspect (Cerceau *et al.*, 2014a).

Cette thèse contribue à argumenter que la question bioéconomique est intimement liée à l'écologie industrielle, notamment du fait des synergies avec le monde agricole qui peuvent prendre place dans le cadre d'une symbiose territoriale. Bien que le potentiel de recyclage des nutriments en milieu péri-urbain soit un résultat qui est établi (Trimmer et Guest, 2018), y compris dans le cas de la région parisienne (Esculier *et al.*, 2018), nous avons renouvelé au Chapitre 5 le constat que les symbioses industrielles peinent encore à réellement prendre en compte ces opportunités de synergies. Cela se traduit par le rôle toujours périphérique qu'y tient l'agriculture. L'exercice de modélisation réalisé au Chapitre 9 montre d'ailleurs les difficultés pratiques à substituer le besoin agricole par les scénarios de symbiose territoriale, dans le cas étudié. Le besoin actuel en intrants de synthèse est difficile à pourvoir avec le recyclage des PRO, et implique des transformations très spécifiques des PRO, dans de grandes quantités. Cela met en lumière la complexité technique de parvenir à un schéma de synergie de « bioraffinerie métabolique » (cf. Chapitre 5), dans lequel la transformation aurait pour but de subvenir à un besoin territorial local. La difficulté de ce schéma tient du fait que cette transformation entraîne des changements structurels dans le SGPRO, des coûts élevés, de nouveaux impacts environnementaux, sans par ailleurs lever toutes les contraintes du monde agricole à l'utilisation de PRO. Par ailleurs, ce type de synergie ne prend pas en compte les évolutions des besoins des systèmes agricoles, qui doivent également être amenés à s'orienter vers des modèles plus durables. La symbiose territoriale bioéconomique est donc bien une question technique complexe qui ne peut se résumer à l'épandage de déchets organiques transformés.

Proposition d'un modèle de représentation simplifié pour la symbiose territoriale

Les travaux proposent un cadre d'analyse technique pour appréhender a priori le potentiel des synergies bioéconomiques et ses conséquences pour le système-territoire. Si cette analyse, n'étant pas le cœur des travaux, est restée assez superficielle dans le cas du SGPRO de la plaine de Versailles, les principes utilisés formalisent une approche transposable dans d'autres systèmes de manière assez variée. La complexité du SGPRO réside dans l'interconnexion des différentes filières entre elles et les modifications en cascade qu'entraîne un changement d'affectation. Nous avons proposé de représenter cette complexité systémique sans passer par un modèle multi-agents, en introduisant un formalisme de représentation affectation-transformation permettant de représenter le SGPRO avec une pensée « cycle de vie ». Ce formalisme s'est d'ailleurs montré particulièrement adapté pour implémenter des indicateurs d'évaluation basés sur le cadre théorique proposé par Harder et al. (2021), qui introduisent un cadre d'analyse compréhensif de la circularité des systèmes bioéconomiques. Ce modèle reste imprécis, notamment du fait de la simplicité des modèles de transformation utilisés dans le cadre de l'exercice de formulation des promesses plausibles. Il présente cependant un important potentiel d'adaptation et d'amélioration, pour estimer les ordres de grandeur du potentiel exploitable par une symbiose territoriale bioéconomique.

11.2.2. Relecture des résultats sous l'angle de la sociologie de la traduction et de l'innovation

Au-delà de l'écologie industrielle à proprement parler, les résultats de la thèse peuvent être réinterprétés selon les cadres de la sociologie pragmatique et de l'innovation, centraux dans la compréhension de la problématique. Un point de comparaison important de la thèse réside notamment dans les travaux d'Abitbol (2012), portant sur l'initiation des démarches d'EIT. Nous proposons un retour sur les cadres théoriques mobilisés dans ces travaux pour réinterpréter certains résultats clés de la thèse, et ainsi les mettre en discussion. En complément de cela, nous proposons également de revenir sur les théories de l'innovation auxquelles contribuent la promesse plausible.

Retour sur les cadres de la traduction et des objets-frontières

Les travaux d'Abitbol (2012) étudient l'initiation des démarches d'EIT en comparant deux approches, la sociologie de la traduction et les objets-frontières. D'après ces résultats précédents, une initiation par les objets-frontières, laissant plus de possibilité de participation de la part des acteurs mobilisés, est à privilégier pour des démarches dont les enjeux sont multiples et peu explicites – comme c'est le cas pour la symbiose territoriale bioéconomique. Nous avons jusqu'à maintenant laissé de côté la distinction entre « sociologie de la traduction » et « objets-frontières », centrale dans ces travaux, car nous avons identifié que les deux impliquaient la formulation de promesses plausibles (cf. Chapitre 3). En suivant un chemin différent dans cette thèse, la typologie des mythes rationalisés établie dans les promesses plausibles des démarches d'EIT nous a amenés à identifier des dimensions assez proches de ces deux approches. Les situations « *explicités* » et « *stratégiques* » impliquent des enjeux bien définis, tandis que les situations « *enchevêtrement* » et « *idéographe* » impliquent des enjeux mal définis (voir Chapitre 6). De la même manière, les réponses collectives se distinguent entre celles qui n'impliquent pas les acteurs dans la gouvernance, c'est-à-dire se rapprochant d'un processus de traduction unidirectionnel (de l'initiateur vers les acteurs-cibles), et celles qui les impliquent, se rapprochant plus des objets-frontières. Les réponses de « *co-construction* » et de « *renforcement* » peuvent ainsi être assimilées à des actions d'initiation par des objets-frontières, tandis que les réponses de « *service territorial* » et de « *mobilisation* » correspondent à des processus de traduction. Cette transposition va dans le sens d'Abitbol, confirmant que la distinction entre traduction et objet-frontière est pertinente dans l'analyse de la symbiose industrielle. Il est donc possible de simplifier la typologie proposée au Chapitre 6 selon deux axes permettant le parallèle avec les résultats précédents. Cet exercice a été réalisé sur la Figure 91, en ne représentant que les phases d'initiation des démarches d'EIT étudiées. L'étude transversale conduite dans cette thèse, bien que moins approfondie que l'étude de cas comparée effectuée par Abitbol, montre que le lien empirique entre définition des enjeux et ouverture de la réponse n'apparaît pas de manière évidente. Elle indique également, comme cela avait été présupposé dans l'analyse de la littérature (Chapitre 2), que les promesses plausibles interviennent bien dans les deux cas.

Partie IV

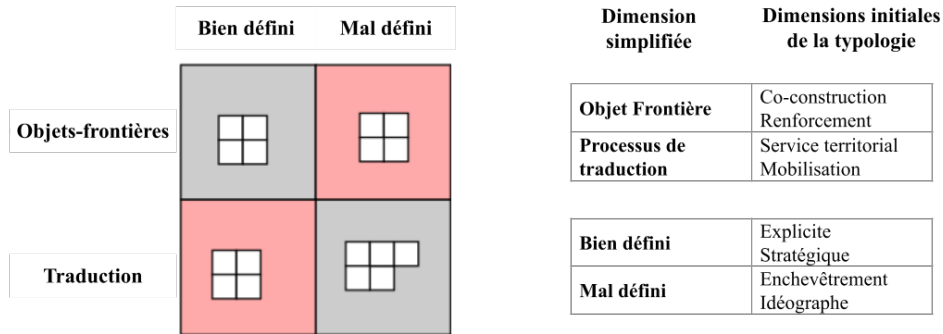


Figure 91 : Analyse matricielle simplifiée pour mettre en évidence la place des promesses plausibles initiant des démarches selon les cadres théoriques des objets-frontières et de la sociologie de la traduction (Abitbol, 2012). Les cases rouges représentent les couples situation-réponses attendues selon ces travaux, et les carrés blancs représentent les observations lors de l'analyse de cas d'étude présentée au Chapitre 6. Se référer à ce chapitre pour la méthodologie et les résultats complets.

La partie expérimentale de la thèse (Partie III) permet de mieux comprendre ces observations. La symbiose territoriale est une action collective de co-construction, et devrait, selon ces précédents résultats, être favorisée par des promesses plausibles ouvertes sur la définition du problème. Dans la mise à l'épreuve de ces promesses, les plus ouvertes sont les modalités D1, qui sont très vagues sur les objectifs. Nous avons observé que, peu importe l'horizon temporel, ces promesses plausibles étaient performatives, contrairement à des discours dans lesquels les enjeux étaient mieux définis. Les résultats réinterprétés selon cette grille sont présentés sur la Figure 92. Les promesses plausibles prenant la forme d'objets-frontières apparaissent effectivement adaptées pour initier une action collective ouverte (mal définie), mais dans certains cas, une traduction plus fermée peut également fonctionner. Cependant, une telle traduction peut également dégrader la performativité. Cette mise en perspective appuie finalement les observations d'Abitbol, dans le sens où une initiation par des objets-frontières apparaît plus consensuelle et moins risquée pour l'initiateur que l'initiation par un processus de traduction trop fermé ou mal adapté.

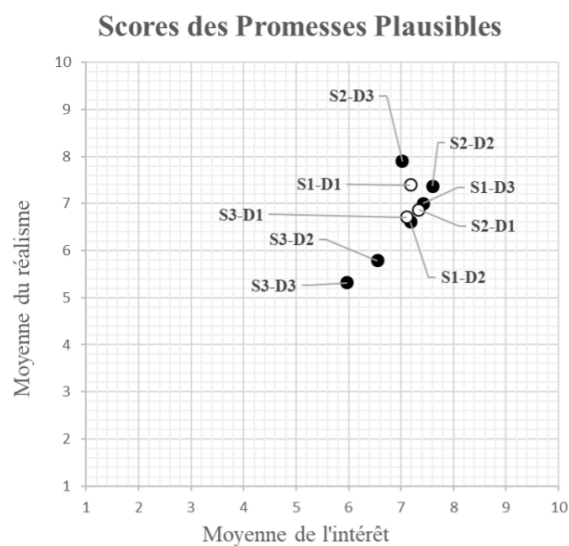


Figure 92 : Résultats de l'évaluation des promesses plausibles mettant en évidence les PP correspondant à des objets-frontières (en blanc) et les PP correspondant à des traductions (en noir). La méthodologie et les résultats complets sont présentés au Chapitre 10.

Dynamique de l'action collective et innovation

La thèse offre de nouveaux points de compréhension de l'action collective et de ses aspects dynamiques. La théorie des mythes rationalisés, constitutive de la sociologie néo-institutionnelle, est loin de s'appliquer uniquement aux symbioses industrielles. C'est en réalité plutôt l'inverse, et c'est le fait de mobiliser ce cadre pour comprendre ces symbioses, comme l'a proposé Queste (2014), qui est original. Celles-ci, en tant qu'actions collectives, font sans équivoque partie de son champ d'application. Les résultats du Chapitre 6 permettent de renforcer le lien qui a été fait entre la gestion intégrée des ressources naturelles de Douthwaite (Douthwaite *et al.*, 2002) et la sociologie de la traduction de Callon (Callon, 1994), tout en questionnant le rôle de la promesse plausible dans ces cadres. Nous avons vu que la promesse plausible, plus qu'un point de départ, constituait en réalité l'étape d'un cycle, dont le déroulement est loin d'être aussi linéaire que ce que ces théories de l'innovation supposaient. Cela montre, comme le suggèrent Callon *et al.* (1994), que ce type d'innovation suit un schéma tourbillonnaire (Gaglio, 2021, cf. Chapitre 3), composé d'allers et retours entre l'acteur initiateur – traducteur en l'occurrence – et les différents acteurs mobilisés. Cependant, l'observation des démarches d'EIT souligne le caractère évolutif des acteurs et groupes d'acteurs concernés. Ils remettent en cause l'image d'une concertation dont l'ensemble des participants sont identifiés et mobilisés à un instant initial par un acteur initiateur unique. Au fil du temps et de la constitution de la gouvernance des démarches, l'acteur initiateur devient en réalité un groupe de contrôle constitué de toutes les parties prenantes enrôlées. Ces réflexions impliquent qu'il est peu évident, voire même peu pertinent, de s'intéresser à *l'initiation* d'une démarche de gestion concertée en s'abstrayant de son déroulement ultérieur. D'une part, elles relativisent l'importance de la promesse plausible initiale dans la temporalité du processus : elle est certes considérable, mais elle pourra par la suite être complétée d'autres promesses plausibles. D'autre part, elles suggèrent que la réflexion sur la formulation de promesses plausibles ne se limite pas à la question de l'initiation, mais plus généralement à celle de l'évolution de l'action collective. Cela ouvre donc la perspective de s'intéresser aussi aux *autres* promesses plausibles, en se demandant par exemple si elles peuvent faire évoluer la trajectoire de l'action collective vers l'amélioration de la durabilité des systèmes-territoires. La thèse permet également d'alimenter le débat entre le rôle de l'innovateur et l'importance de la contingence sociale dans la diffusion d'une innovation. Nous avons illustré à de nombreuses reprises – et il s'agit même d'une difficulté méthodologique qu'il a fallu surmonter dans la conception d'une gamme de promesses plausibles – que l'acteur initiateur a un rôle déterminant dans la manière de concevoir un projet de symbiose territoriale, c'est-à-dire, dans la définition du système-territoire. Cela montre que les caractéristiques de cet acteur (ses intérêts, son rôle dans le système sociotechnique, son influence, ses domaines de compétence...) sont effectivement un élément central du processus d'innovation. De fait, il est pertinent de donner un rôle central à cet innovateur, en l'occurrence un chercheur, dans la formulation de la promesse plausible (ou dans sa problématisation). Cependant, le succès de l'initiation nécessite davantage d'explications que la qualité technique de la promesse plausible, ou la performance du traducteur. Il est impossible d'ignorer les nombreux facteurs d'influence externes à cet acteur, qui vont favoriser ou défavoriser la performativité de sa promesse plausible. L'initiateur doit en réalité arbitrer entre les ambitions de sa promesse technique et les facteurs d'influence qu'il peut percevoir du système-territoire, pour définir un projet commun suffisant pour mobiliser ses acteurs-cibles.

Si elle a, à la base, été conçue pour alimenter la sociologie de l'innovation, la promesse plausible se révèle être également un outil conceptuel d'intérêt pour la sociologie néo-

institutionnelle de manière plus générale. Sa définition théorique proposée au Chapitre 3¹⁸⁴ la rend transposable à des formes diversifiées d'action, permettant de faire un lien entre le mythe rationalisé et la performativité des discours dans l'évolution des institutions. Ce cadrage ouvre la perspective d'étudier de telles promesses plausibles dans des contextes très différents de l'écologie industrielle, ou même de l'innovation.

11.2.3. Science, société et promesses plausibles

Ces réflexions théoriques peuvent être approfondies en reprenant la discussion ouverte en première partie de cette thèse (en introduction et au Chapitre 4) sur les liens science-société, et la contribution de la promesse plausible aux sciences post-normales. Contrairement à l'hypothèse de départ des théories de l'innovation, les résultats suggèrent que la connaissance scientifique n'est pas indispensable à la formulation d'une promesse plausible. La question de fond qui se pose est alors la suivante : Dans ce cas, comment la connaissance scientifique peut-elle favoriser la transition écologique ? En réalité, la question la plus importante est peut-être moins de savoir « comment » formuler une promesse plausible, mais plutôt « quand » et « pourquoi ». Nous approfondissons ici cette idée en observant, au travers de l'exemple de la symbiose territoriale, les multiples contributions possibles du monde de la recherche.

Le chercheur-innovateur

Le rôle du chercheur qui a été considéré jusqu'à maintenant est celui d'un innovateur intervenant directement dans une situation. Le moyen d'action classique de la recherche au sein du système d'influence du SGPRO réside, en tant qu'apporteur de solutions informationnelles, dans la production d'études et de connaissances, rendues disponibles aux autres acteurs. Lorsque le chercheur se positionne en tant qu'initiateur, il adopte ainsi un rôle d'animation plutôt éloigné de ses activités traditionnelles. Il doit rallier des acteurs à son projet, sur la base des connaissances spécifiques des enjeux environnementaux dont il dispose et qui le poussent à agir. Cette posture de recherche-action s'inscrit pleinement dans la science post-normale, où les enjeux sont forts et les incertitudes importantes (Funtowicz et Ravetz, 1993). Dans ce rôle, l'acteur scientifique dispose certes d'une influence moindre que d'autres acteurs, comme certains acteurs publics (collectivités, syndicats de gestion des déchets...). Nous observons par exemple que, malgré son intérêt pour le territoire, l'INRAE ne tient pas un rôle central dans le SGPRO de la plaine de Versailles (voir l'analyse de réseaux sociaux au Chapitre 8). Malgré cela, il dispose d'une image de neutralité et d'expertise généralement incontestée, qui lui confère une légitimité importante auprès des autres acteurs¹⁸⁵. C'est probablement cette légitimité qui explique le succès dans l'initiation de démarches concertées issues du monde de la recherche – comme par exemple les démarches Gerdal, Commod, etc. (Trébuil *et al.*, 2018) – et en partie la raison pour laquelle l'initiation est peu étudiée.

Au-delà de la promesse plausible, l'intérêt d'une étude préalable

Il serait pour autant beaucoup trop réducteur de réduire la contribution scientifique à la formulation d'une promesse plausible. Les résultats de la thèse enseignent d'ailleurs que l'utilité d'une étude approfondie ou d'une modélisation détaillée du système-territoire est limitée, en tant

¹⁸⁴ Un discours performatif comprenant un mythe rationalisé.

¹⁸⁵ Par exemple, au cours des entretiens réalisés, aucun acteur n'a remis en cause cette légitimité.

que contenu technique d'une promesse plausible pour l'étape de mobilisation des acteurs. Or, ces résultats se **focalisent uniquement sur l'initiation** de la concertation. Ils ne disent rien sur l'utilité des études et des connaissances ailleurs que dans la promesse plausible, ou leur utilité une fois la concertation initiée. Ils ne doivent donc pas laisser penser que toute phase d'étude préalable ou concomitante à une symbiose territoriale est inutile. D'autres éléments identifiés au cours de ce travail de recherche suggèrent au contraire que de telles études sont indispensables, et donc que la recherche a un rôle important à jouer dans l'accompagnement de ces démarches. Une compréhension du système-territoire, au travers notamment des enjeux matériels (les flux de PRO) et organisationnels (les jeux d'acteurs), permet de mieux cerner le potentiel de transformation du SGPRO, mais également d'identifier les acteurs influents et/ou pertinents pour participer à une concertation. Le fait d'avoir étudié en détail le système-territoire, son potentiel, et même exploré les possibilités offertes par certains scénarios, rend également l'acteur initiateur plus crédible, et de ce fait plus légitime en tant que porteur de la démarche. Ces études permettent d'asseoir la formulation d'une promesse plausible, même minimaliste.

Le rôle clé des outils de modélisation

Un autre aspect nécessitant la participation de la recherche est l'accompagnement des actions collectives déjà initiées, pour guider les choix de la concertation, évaluer ses résultats et y favoriser la participation des acteurs. Un tel accompagnement nécessite de disposer d'une compréhension systémique de la situation et d'outils capables de représenter et modéliser cette complexité. Les outils de modélisation sont la seule manière d'estimer si les conséquences de la symbiose territoriale sont véritablement avantageuses, en particulier sur le plan environnemental. Par ailleurs, les outils peuvent en eux-mêmes constituer des leviers d'engagement au sein d'une action collective. Dans une situation de gestion concertée de l'eau, il a par exemple été observé que l'existence d'un outil performant de modélisation – en l'occurrence, Maelia (Therond *et al.*, 2014) – pouvait servir à susciter l'intérêt des acteurs pour participer de manière active à la démarche, et ainsi favoriser la concertation (Therond, 2019). Dans cette situation impliquant des groupes d'acteurs en tension, l'outil a agi comme un objet-frontière, permettant à chaque acteur de comprendre son rôle dans le système sociotechnique représenté, et de tester ses propres hypothèses sur les évolutions de la situation. Durant les entretiens, il a été observé que l'outil (fictif) proposé ne constituait pas un élément clé pour l'engagement des acteurs à l'initiation d'une symbiose territoriale¹⁸⁶, mais cet exemple montre que l'intérêt de l'outil peut se révéler en cours de concertation. Notons toutefois un frein à l'utilisation de ces outils, qui est la temporalité

¹⁸⁶ Les raisons pour lesquelles un tel phénomène n'a pas été observé dans les enquêtes peuvent être multiples. Nous proposons les hypothèses suivantes : (1) La problématique dans laquelle l'outil de modélisation a pu tenir le rôle d'objet-frontière est un problème institutionnalisé, celui de la gestion de l'eau. A l'instar de la gestion des PRO sur l'île de la Réunion, les acteurs concernés auraient eu conscience d'un problème avant la formulation de la promesse plausible ; (2) Il est également possible que l'outil ait été mobilisé dans une phase ultérieure à celle d'initiation d'une concertation. Au moment où l'outil leur a été rendu disponible, il existait peut-être déjà une instance de médiation ou de concertation, auquel cas la mobilisation de l'outil a pu correspondre à un régime d'évolution de l'action collective plutôt qu'à une promesse plausible (cf Chapitre 6); (3) Enfin, il est possible que l'outil de modélisation ait pu être présenté de manière plus développée que dans les courts extraits de l'expérimentation. En effet, la compréhension du principe d'un tel outil et de son intérêt dans une concertation est loin d'être évidente et demande une explication détaillée et circonstanciée, qui n'a matériellement pas pu être faite lors des entretiens. Dans tous les cas, l'intérêt de l'outil s'est révélé *au cours* de la concertation, après l'institutionnalisation des enjeux, et n'a pas été utilisé pour que les acteurs prennent conscience de ces enjeux, contrairement à ce qui était le cas dans la démarche expérimentale de cette thèse.

longue nécessaire à leur conception et à leur configuration. Cela contraste avec le besoin d'une disponibilité immédiate des parties prenantes lors d'une concertation. Le développement d'un tel modèle en amont d'une concertation permettrait de le faire plus facilement intervenir comme outil. Dans l'étude préalable de situations comme dans la configuration d'outils, le chercheur reste dans une posture post-normale. Son rôle n'est plus d'initier lui-même des actions collectives expérimentales, mais d'accompagner, en tant que partie prenante, des actions déjà initiées sans son concours. Pour que cela advienne, il est nécessaire qu'elles émergent d'un cadre institutionnalisé. Dans ce processus d'institutionnalisation réside également une contribution, sans doute sous-estimée, du monde de la recherche.

Différentes temporalités : processus d'institutionnalisation des démarches d'EIT en France

L'analyse des démarches d'EIT françaises dans le Chapitre 6 a donné l'occasion d'observer leur développement chronologique et l'évolution du contexte dans lequel celles-ci ont pris place. Au cours de cette évolution, des démarches historiques qui n'en portaient pas le nom ont cédé la place à un programme de développement national institutionnalisé. On retrouve dans les démarches les plus anciennes le schéma de Kalundborg, qui correspond au développement historique et contingent d'une culture de la coopération, en l'absence de toute référence à l'économie circulaire. Ces cas d'étude « historiques », en servant de base aux réflexions sur la symbiose industrielle, ont conduit à alimenter les cadres théoriques des sciences de la durabilité. Il leur a succédé une période pendant laquelle les questions environnementales se faisaient de plus en plus prégnantes, sans qu'il n'y ait encore de fort portage politique. Les symbioses industrielles étaient alors entreprises par des acteurs sensibilisés à ces questions et souhaitant les mettre en action au sein d'expérimentations à taille réelle, notamment au sein du monde universitaire. Le CEIA, par exemple, a été impulsé en 2008 par un chercheur influent ayant réussi à mobiliser des acteurs politiques clés dans le projet. A partir de 2014, les démarches d'EIT deviennent le fruit de politiques publiques impulsées par l'Ademe, après l'inscription de l'économie circulaire à l'agenda politique à la suite de sa popularisation par des acteurs influents comme la fondation Ellen McArthur (2014) ou l'Institut de l'Économie Circulaire (2017). Ces démarches sont alors facilitées par la coordination des chambres de commerce et d'industrie autour d'un outil (Act'IF) et les expérimentations du Programme National de Synergies Inter-entreprises (PNSI) (CCI de France, 2016). La démultiplication des financements publics et des appels à projet permet alors à tous les porteurs de projets environnementaux de s'insérer dans le nouveau cadre institutionnalisé et uniformisé de l'EIT. Des bases de référencement nationales sont créées, ainsi que des communautés d'échange et des réseaux d'expertise technique (Elipse, 2020). L'initiation de nouvelles démarches de terrain se base à présent sur cette acculturation globale et ces outils institutionnels, si bien que des idéographes généraux liés au développement durable suffisent à mobiliser une action collective (voir Chapitre 6). Chacun sait de quoi il s'agit, ou en tout cas en sait suffisamment pour que cela le pousse à agir. L'analyse de ce bref historique met en lumière la contribution essentielle du chercheur à ce processus d'institutionnalisation, qui intervient à différents niveaux. Elle est en premier lieu inhérente aux activités normales de recherche. Celles-ci permettent de comprendre le monde et ses dérèglements, d'identifier de nouveaux enjeux ou de nouvelles réponses à ces enjeux, ainsi que de nouveaux phénomènes physiques, chimiques ou biologiques permettant cette compréhension. Les sciences de la durabilité produisent en particulier des cadres conceptuels qui donnent une grille d'interprétation de la société et des leviers pour agir. Elles s'apparentent alors à un processus de traduction (ici

aussi, au sens d'Akrich et al. (2006), par la réinterprétation d'objets existants selon cet angle de la durabilité. C'est par exemple le cas de la « découverte » des symbioses industrielles (Chertow, 2007), démarches qui existaient de fait avant que le terme académique ne soit formalisé. Cette étape de traduction est centrale dans le processus d'institutionnalisation, car elle porte en elle un mythe rationalisé : des problématiques à résoudre et des solutions pour les résoudre. Cette nouvelle grille d'interprétation, par rapport à laquelle se positionnent par la suite les chercheurs et décideurs, crée une irréversibilité dans le processus de construction des connaissances. La transcription dans le cadre politique de ces mythes rationalisés se fait lorsqu'ils deviennent suffisamment crédibles pour devenir des buts désirables dont le bien-fondé n'est plus à démontrer – autrement dit, lorsqu'ils acquièrent la fonction d'idéographe. C'est ainsi que le développement durable est devenu aussi désirable que le développement économique ou le progrès technologique (Bos *et al.*, 2014), et a contribué à façonner l'action collective au sein des démarches d'EIT (voir Encadré 6 au Chapitre 6) – y compris pour celles initiées avant le succès de ces idées. En fin de compte, ce cumul d'actions passées, traduites dans une culture et un référentiel d'action communs, représente un levier de changement sociétal, qui se traduit par le fait qu'il devient plus simple et plus courant d'initier de telles démarches.

Quand et pourquoi formuler une promesse plausible scientifique

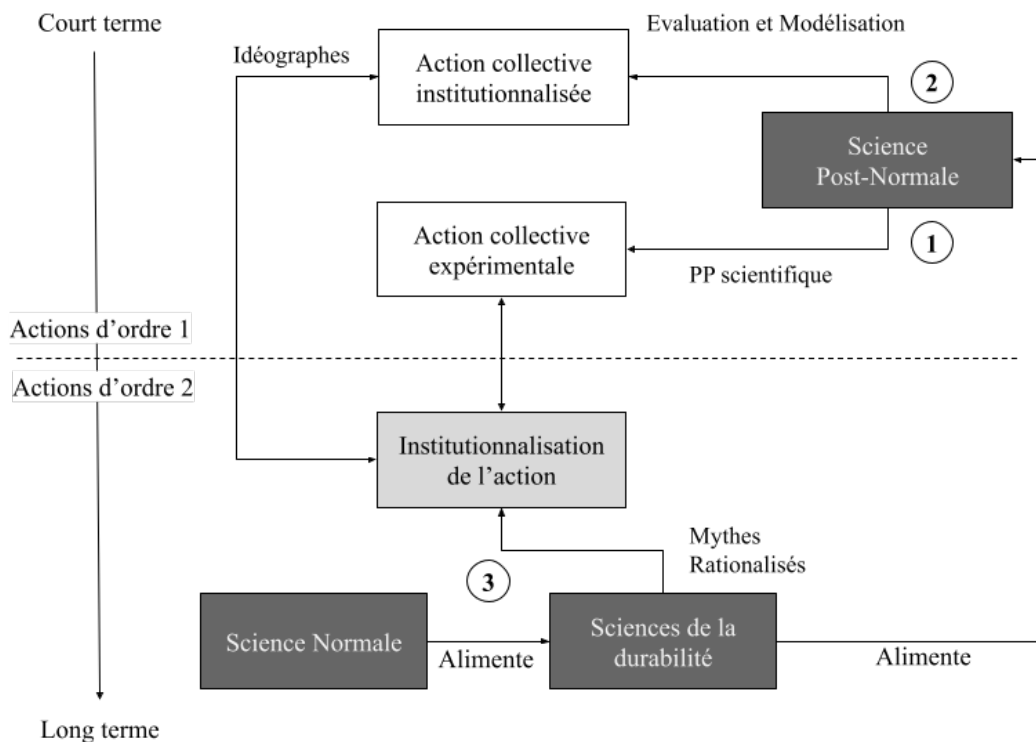


Figure 93 : Représentation du rôle du chercheur et de la science dans l'initiation d'actions collectives. Les blocs noirs représentent le monde académique, les blocs gris le monde politique et les blocs blancs les actions collectives concrètes dans la société. Les numéros correspondent aux actions décrites dans le texte.

Nous avons donc identifié trois contributions clés du chercheur, représentés sur la Figure 93 : (1) celui d'innover en transformant directement un système sociotechnique, (2) celui de produire des connaissances et des outils pour accompagner les démarches, et (3) celui de

contribuer à l'institutionnalisation des connaissances. Les deux premiers rôles s'inscrivent dans une temporalité à court et à moyen terme, et dans une posture post-normale. La science agit ici au cœur de la société, soit en guidant une action existante et donc en faisant des arbitrages scientifiques sur ces actions, soit en initiant de nouvelles actions. En mobilisant une nouvelle fois la distinction entre deux modes d'action, il s'agit ici d'une action d'ordre 1¹⁸⁷, qui modifie directement le système dans les règles qui lui sont établies. Ils sont alimentés par les avancées théoriques et opérationnelles des sciences de la durabilité, elles-mêmes alimentées par des sciences plus fondamentales, s'inscrivant toutes deux dans une temporalité longue de co-évolution entre science et société. Toutes ces contributions scientifiques contribuent, sur le long terme, à renforcer le cadre de l'action institutionnalisée, ce qui correspond à une action d'ordre 2. Ici réside d'ailleurs un certain paradoxe de la science post-normale. En se focalisant sur l'action en situation d'incertitude, elle intervient dans un processus dont la temporalité est bien plus courte que celle qui lui est nécessaire pour évaluer rigoureusement cette action.

Les promesses plausibles prennent avant tout leur sens dans la conduite d'actions collectives expérimentales, lorsque les actions institutionnalisées ne disposent pas de bases politiques suffisantes, lorsqu'elles ne parviennent pas à des résultats satisfaisants, ou lorsqu'elles ne poursuivent pas des objectifs assez ambitieux. C'est ici que réside le principal enjeu de la formulation d'une promesse plausible, lorsqu'elle correspond à une véritable innovation. C'est le cas pour la symbiose territoriale bioéconomique qui a été mise en avant dans cette thèse : ce type de démarche n'est à l'heure actuelle pas entreprise, bien que le potentiel théorique de synergie soit important. Même dans cette situation, nous avons vu sur la plaine de Versailles qu'il était possible de se baser sur des connaissances institutionnalisées préalablement établies, au-delà de la légitimité dont dispose le chercheur innovateur. On peut ainsi supposer que, dans un certain nombre de cas, l'initiation n'est pas le cœur du problème à proprement parler. Le principal défi réside dans le succès et de la concertation après son initiation, et notamment le fait qu'elle réponde à la problématique collective – la situation – pour laquelle elle a été entreprise. Ce défi comporte une dimension opérationnelle, qui est d'accorder la temporalité lente des projets de recherche ou des politiques publiques avec les attentes à court terme des acteurs économiques. Il pose également la question de savoir si la réponse collective, et notamment les actions matérielles qui seront entreprises, est à la hauteur des enjeux initiaux, et si les conséquences de la concertation ont les effets escomptés – en l'occurrence, environnementaux. Cela soulève des questions importantes pour l'acteur innovateur. Doit-il, s'il le peut, se baser sur les normes culturelles collectives pour initier des démarches plus simplement, ou alors doit-il créer de nouvelles promesses plausibles scientifiques, plus spécifiques, cherchant à s'écarter de ces sentiers battus pour souligner leur insuffisance ? N'ayant pas poursuivi l'investigation après la phase d'initiation, ces travaux ne peuvent ici donner de réponse.

11.2.4. Principales perspectives de recherche

Les discussions élaborées dans cette section mettent en évidence de nouveaux fronts de recherche dans les différentes problématiques explorées. Nous développons ici les quatre pistes qui apparaissent les plus pertinentes dans l'optique d'améliorer la durabilité de la société humaine.

¹⁸⁷ Pour rappel, cette notion est développée au Chapitre 3, cf. (Holm, 1999 ; Watzlawick *et al.*, 2011).

Etudier la symbiose territoriale après son initiation

Le point d'attention central qui ressort de cette discussion est le déroulement de la symbiose territoriale et l'influence des promesses plausibles au-delà de la phase d'initiation à laquelle se cantonnait cette thèse. Nous avons vu que les symbioses industrielles étaient loin de ne se définir que par cette phase, ce qui implique que, dans l'étude de ces démarches, observer l'évolution des actions est aussi important que d'observer leur initiation à proprement parler. Quelle serait, par exemple, la contribution réelle d'une symbiose territoriale à la durabilité, en particulier lorsqu'elle est initiée sur la base d'enjeux mal définis? Nous avons vu dans le Chapitre 9 qu'une symbiose territoriale permettant de résorber la rupture métabolique nécessiterait d'importants moyens et changements structurels. Cela implique donc que les acteurs participant à la concertation acceptent de reconcevoir en profondeur leur rôle, leurs interactions, et éventuellement même leurs modalités de fonctionnement. Il semble a priori peu probable que de telles propositions émergent spontanément dans une concertation ouverte. D'après les rares exemples disponibles et matures à l'heure actuelle, les perspectives techniques mises en œuvre au cours d'une symbiose territoriale se rapprocheraient plus probablement d'un scénario ressemblant à S2, ne répondant que très partiellement aux enjeux de substitution. Celles-ci ne se destinent généralement pas à questionner le mode de fonctionnement des acteurs, mais à optimiser celui-ci. Il est donc légitime de s'interroger sur le réel potentiel de transformation structurel du SGPRO qui peut être accompli au travers d'une symbiose territoriale bioéconomique. Une question corollaire à celle-ci est de savoir si la qualité de ces démarches dépend des caractéristiques de leurs mythes rationalisés, et donc de leurs promesses plausibles.

La principale perspective de recherche de ce travail, suite aux bases théoriques établies, est donc de passer de l'étude de l'initiation de la concertation à l'étude du déroulement d'une démarche réelle. Une telle étude nécessiterait de déterminer un moyen expérimental pour évaluer si la capacité des démarches à atteindre ses objectifs environnementaux dépend des conditions dans lesquelles elles sont initiées et dans lesquelles elles évoluent. Une telle évaluation requerrait, d'ailleurs, un modèle d'analyse systémique de la durabilité des solutions mise en œuvre dans ces symbioses. Ce type de question ouvre de nouvelles perspectives de recherche-action au plus près du terrain, qui représentent un enjeu et un défi considérable.

Approfondir la modélisation des symbioses territoriales avec l'évolution des systèmes agricoles

Dans l'exercice de modélisation réalisé, il a été observé que le changement des seules modalités de traitement des déchets parviendrait difficilement à substituer aux besoins agricoles en l'absence d'une évolution conjointe du système agricole. Afin d'approfondir cette idée, une proposition de recherche ultérieure serait de concevoir et analyser de tels scénarios en y intégrant l'évolution des systèmes agricoles. Dans ce cas, il serait pertinent d'étudier si ce type de démarche pourrait être adaptée à une situation, non pas de déficit structurel en nutriments comme la plaine de Versailles, mais d'excédent structurels, comme c'est le cas en Bretagne. Dans ce type de situation, l'évolution des systèmes agricoles pourrait en effet être un levier plus important que l'évolution des moyens de traitement pour résorber la rupture métabolique. Afin d'accomplir une telle évaluation, il est nécessaire de disposer des outils de représentation les plus performants, allant bien au-delà des hypothèses simples prises dans cette thèse, comme la plateforme de modélisation Maelia.

Etudier l'importance du contexte socioculturel

Une question centrale quant à la généralisation des résultats observés sur la plaine de Versailles est la manière dont ils peuvent se transposer à d'autres situations, et notamment dans des contextes culturels différents. Certains des facteurs d'influence observés sont en effet associés à un contexte très localisé, ou à des normes et institutions existantes au niveau national. Or, la situation de rupture métabolique territorialisée est présente dans d'autres régions (Trimmer et Guest, 2018), dans lesquelles une symbiose territoriale serait également pertinente. Il serait particulièrement intéressant de reconduire des analyses similaires à celles faites sur la plaine de Versailles dans des territoires de culture très différentes. Il serait par exemple possible que les idéographes performatifs en France, sur la plaine de Versailles, le soient beaucoup moins ailleurs, les rendant insuffisants pour initier une concertation. En revanche, il existe possiblement dans ces contextes d'autres idéographes pouvant tenir ce rôle. Avec des poids de facteurs d'influence différents, il est également possible que les acteurs d'autres territoires soient impactés de manière différente par le niveau de spécification. Il serait pour cela central d'observer si les logiques d'évolution de l'action collective identifiées dans les cas des démarches d'EIT françaises se retrouvent dans d'autres symbioses industrielles.

L'institutionnalisation des connaissances comme levier de transition ?

Enfin, une dernière perspective de recherche plus sociétale concerne le processus d'institutionnalisation des connaissances scientifiques. Nous avons vu que la performativité des promesses plausibles tenait pour bonne partie d'un transfert des connaissances scientifiques sur les enjeux environnementaux vers des mécanismes politiques pertinents pour faire évoluer la situation, et dans la culture générale des répondants. La question qui se pose alors est comment se déroule exactement ce processus d'institutionnalisation, c'est-à-dire : comment se créent, évoluent et disparaissent les idéographes ? Comprendre leur dynamique donnerait de nouveaux leviers d'action environnementaux au monde de la recherche.

11.3. Opérationnalisation des résultats : principes méthodologiques à l'attention des acteurs initiateurs

Si ces travaux contribuent à faire progresser les cadres théoriques entourant la promesse plausible et la symbiose territoriale, ils ont également une portée opérationnelle pour Veolia, visant à une montée en généralité des éléments méthodologiques développés dans cette thèse afin de pouvoir les appliquer à d'autres territoires. La brique finale de cette discussion vise ainsi à opérationnaliser les résultats de la thèse en exposant les principes clés à retenir dans une méthodologie d'initiation d'une symbiose territoriale bioéconomique. Après avoir présenté les principes d'un tel guide (11.3.1), nous mettrons en perspective cette opérationnalisation avec des retours d'expériences proches de la situation d'étude, issus du projet ConcerTO de l'Ademe (11.3.2).

11.3.1. Elaboration d'un guide opérationnel

La mise en application opérationnelle de ces travaux consiste à proposer une méthodologie d'initiation d'une symbiose territoriale bioéconomique mobilisant les résultats

obtenus dans l'étude de la promesse plausible. Nous nous plaçons dans cette section dans la perspective d'un acteur initiateur, quel qu'il soit, avec une question en tête : au vu des résultats obtenus, quelles seraient les étapes à suivre pour effectivement initier une démarche de gestion concertée des PRO ? Cet exercice demande d'aborder une vision rétrospective et élargie des travaux entrepris pour synthétiser les étapes qui, au terme de la thèse, paraissent comme essentielles dans l'initiation d'une concertation. Il s'agit d'une proposition de montée en généralité sur la base des travaux entrepris. Les principes dégagés ici ne traduisent pas uniquement les résultats de la mise à l'épreuve des promesses plausibles dans le SGPRO de la plaine de Versailles, mais un ensemble d'observations faites, tant sur la diversité de cas d'étude analysés que lors de l'étude approfondie des mécanismes du SGPRO. En effet, les actions visant à initier la concertation impliquent l'ensemble des étapes réalisées en amont de la formulation de la promesse plausible. Dans le cadre de la convention industrielle encadrant la thèse, cet aspect s'est matérialisé par la rédaction d'un guide méthodologique vulgarisé à l'intention de potentiels acteurs initiateurs. Cette section présente les principes du guide et les réflexions sur lesquelles il se base.

Présentation générale du guide méthodologique

La démarche méthodologique proposée dans le guide méthodologique se décline en trois étapes, représentées par la Figure 94¹⁸⁸. La première étape intitulée « **cadrage de la démarche** » correspond à la délimitation du système-territoire. La deuxième étape du guide propose des principes méthodologiques quant à la réalisation d'**études préalables** à la concertation. La première phase d'étude présentée vise à consolider la compréhension du contexte territorial – et éventuellement à mieux spécifier le système-territoire. La deuxième vise à comprendre les rôles des acteurs, et à identifier les acteurs-cibles à mobiliser. Les deux suivantes sont des étapes de modélisation plus avancées, impliquant des analyses de flux de matière (ou de substance) sur la situation actuelle et sur des scénarios prospectifs. La troisième étape du guide concerne la **mobilisation des acteurs**. L'initiateur est premièrement amené à questionner sa propre influence dans le SGPRO, notamment en termes de pouvoir et de légitimité. Dans un deuxième temps, des conseils de formulation de promesses plausibles lui sont proposés au vu du retour d'expérience sur la plaine de Versailles.

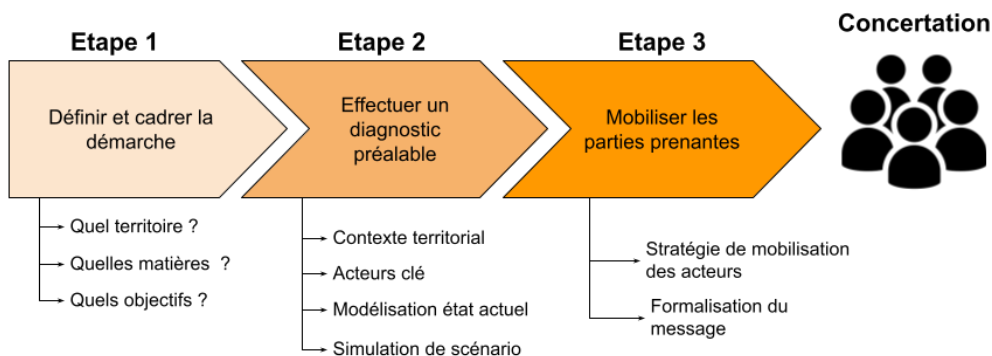


Figure 94 : Etapes de l'initiation d'une démarche de gestion concertée des PRO, telle que présentées dans le guide à l'attention des acteurs initiateurs.

¹⁸⁸ La terminologie scientifique utilisée dans la thèse a soigneusement été vulgarisée afin d'être intelligible pour un acteur opérationnel, ce qui transparaît sur cette figure.

Le guide ne présente pas les principes d'animation de la démarche une fois initiée, car cela ne fait pas partie des résultats de thèse. Sa principale limite est qu'il est basé sur une étude réalisée avec une typologie particulière de territoire. Il est donc possible que ses principes ne s'appliquent pas sur tous les territoires (en particulier hors du contexte national).

Le système-territoire : cadrage initial de l'acteur initiateur

L'acteur initiateur d'une symbiose territoriale est celui qui détermine le système-territoire, et notamment les enjeux qui seront le centre d'attention de l'action collective. Les actions entreprises se référeront à cette problématique particulière, parmi la multitude de problématisations possibles existantes d'une situation. La diversité des cas d'étude de symbioses industrielles illustre le fait qu'il n'existe pas de manière de définir ce système-territoire dans l'absolu. Il existe des enjeux spatialisés qui justifient le centrage des actions autour d'un périmètre délimité, mais la définition même de ces enjeux – comme du périmètre – est un choix arbitraire. Dans les travaux de thèse, les enjeux étaient centrés autour de la rupture métabolique territorialisée, mais cela ne signifie pas que toute symbiose territoriale, même bioéconomique, se base sur de tels enjeux. La définition des enjeux de la concertation représente donc une étape fondamentale pour l'acteur initiateur, qui se base sur sa connaissance initiale du système-territoire. Etant donné qu'il n'existe pas de méthode objective de déterminer un tel système et qu'il s'agit avant tout d'un choix de l'acteur initiateur, le guide l'accompagne pour définir explicitement ses trois composantes interconnectées entre elles¹⁸⁹ - territoire, matières, objectifs. Les conseils donnés se veulent ouverts, et ne sont pas prescriptifs quant aux perspectives visées par la concertation.

Quelles phases d'étude préalable ?

Les résultats de la thèse mettent en avant qu'une formalisation très spécifique de la promesse plausible n'est pas nécessairement intéressante pour l'initiation de la concertation, d'autant plus pour un acteur économique ou un acteur public pour qui ces étapes préalables représentent un coût potentiellement non négligeable. Dans un objectif opérationnel, il est donc loin d'être nécessaire d'acquérir une connaissance aussi poussée sur un système-territoire que ce qui a été fait pour la thèse. Cependant, nous avons aussi vu que la connaissance du fonctionnement du SGPRO révélait de précieuses informations quant aux acteurs à mobiliser lors d'une démarche. Un premier niveau d'étude est de comprendre où se situe le principal potentiel, en étudiant les principaux flux de matière au sein du SGPRO et les acteurs associés. Cette étape contribue également à la (re)définition du système-territoire en fonction des analyses effectuées, et garantit la pertinence et le bon déroulement des premières phases de concertation¹⁹⁰. Un autre type d'étude préalable est la cartographie des acteurs et l'identification des principaux facteurs d'influence. Si la compréhension en détail de tous ces facteurs n'est probablement pas une condition nécessaire à l'initiation de la concertation, elle est un atout important quant à la définition d'un périmètre de concertation. Cet aspect permet à l'initiateur de comprendre son rôle et sa légitimité au sein du réseau, de manière à identifier les acteurs pertinents à mobiliser, ainsi que les acteurs clés ayant une influence centrale dans le réseau. En résumé, les études préalables

¹⁸⁹ Dans le guide et à des fins de vulgarisation, le périmètre est appelé « territoire », le réseau sociotechnique est représenté par l'ensemble des PRO considérés (et donc des acteurs associés à leur gestion), et les enjeux sont traduits par le terme « objectifs ».

¹⁹⁰ Comme cela a été observé dans les expériences du projet ConcerTO, cf section 11.3.2.

à réaliser de manière prioritaire pour l'acteur initiateur s'apparentent donc à celles réalisées dans la phase compréhensive de la thèse (Chapitre 8). Elles peuvent être entreprises comme des études de faisabilité, de manière moins exhaustive que ce qui a été proposé dans les présents travaux. Les études plus approfondies des flux de nutriments et des scénarios de modélisation sont plus complexes et demandent beaucoup de temps et de données. Elles sont probablement plus pertinentes à entreprendre au cours de la concertation, d'autant que les acteurs mobilisés pourront contribuer à la collecte des données ou à la pertinence des scénarios étudiés. Les principes généraux de ces études sont présentés dans le guide, mais celles-ci sont déconseillées à l'initiation.

Un potentiel d'action au sein du système d'influence

Dans l'initiation d'une symbiose territoriale, l'acteur initiateur peut s'appuyer sur sa position dans le SGPRO pour modifier le champ d'influence en faveur d'une concertation. Les rôles et la centralité dont dispose cet acteur en amont de la concertation sont des éléments clés quant à la démarche de mobilisation d'autres acteurs. En se montrant moteur sur une démarche, il se positionne dans le rôle de « champion », ce qui est un important levier de réussite. En communiquant, sensibilisant, et informant les autres acteurs du système-territoire, il contribue à changer leurs représentations, et notamment à populariser les enjeux qu'il souhaite porter au travers de la concertation. Enfin, il dispose également d'un levier politique, de par son actuel réseau d'influence qu'il peut tenter de mobiliser et d'aligner sur son projet. Il est possible que l'acteur initiateur n'ait pas une légitimité initiale suffisante, auprès des acteurs-cibles, pour initier une symbiose territoriale. Dans ce cas, la connaissance du système d'influence permet d'identifier les alliés potentiels à mobiliser dans un premier temps pour acquérir une telle légitimité (par exemple des acteurs institutionnels tels que les collectivités, la chambre d'agriculture, la CCI...). Dans l'évolution de l'action collective, cela correspondrait à limiter, dans un premier temps, la taille du groupe de contrôle pour le rendre plus légitime, donnant par exemple accès aux réseaux d'acteurs dont disposent ces premiers acteurs influents.

Conseils pour la formalisation de la promesse plausible

Tableau 46 : Tableau présenté dans le guide technique synthétisant les recommandations quant à la formalisation de la promesse plausible, issu de l'analyse des entretiens réalisés auprès des acteurs potentiels parties prenantes d'une concertation.

<i>Aspect du projet</i>	<i>Levier</i>	<i>Frein</i>
<i>Enjeux</i> (Situation initiale appelant à l'action)	Enjeux réalistes et détaillés Enjeux partagés par la structure	Chiffres discutables Situation peu favorable (réglementaire, politique...)
<i>Processus</i> (Déroulement de la démarche)	Neutralité et légitimité du porteur	Perception d'un risque de non aboutissement et d'une perte de temps
<i>Autres acteurs</i> (Relations entre les participants)	Possibilité de mieux connaître les autres acteurs du territoire	Doutes sur la coopération des autres acteurs
<i>Perspectives</i> (Evolutions attendues à la suite de la concertation)	Perspectives de la concertation alignées avec la stratégie de la structure	Structure qui se sent peu concernée par les perspectives de la concertation Perspectives peu réalistes ou trop prospectives
<i>Qualité du message</i> (Aspects formels du discours)	Message clair et concret	Message trop vague ou trop idéaliste

Les enquêtes ont permis d'identifier des objets d'intérêt et de réalisme favorisant ou non l'engagement des acteurs-cibles. En se basant sur une synthèse de ces résultats, le Tableau 46 propose des conseils pour formuler les promesses plausibles. Celui-ci présente les principaux objets d'intérêt et de réalisme, présentés sous forme de freins et leviers, comme des points d'attention que doit prendre en compte l'initiateur.

Une promesse plausible, ou des promesses plausibles ?

Une question importante, enfin, est de savoir, en tant qu'acteur initiateur, s'il est nécessaire de décliner la promesse plausible selon différentes modalités en fonction de l'acteur à qui elle est adressée. Au vu de la forte variabilité des réactions pour une unique promesse plausible, la formulation d'une promesse plausible spécifique à différents acteurs en fonction de leur rôle semble être un exercice particulièrement hasardeux, en plus d'être chronophage. Un deuxième argument renforce l'hypothèse que la promesse plausible devrait être commune à tous les acteurs plutôt que différenciée. La confiance des acteurs-cibles, notamment envers l'acteur initiateur, est un élément clé de la réussite de l'initiation et du maintien d'une démarche de symbiose industrielle (Baas et Huisingh, 2008). Le fait de manipuler l'information pour n'en délivrer qu'une partie à chaque acteur comporte un risque important d'altérer la confiance des acteurs-cibles envers l'acteur initiateur. Ces éléments confortent la position qu'il est préférable de s'en tenir à une seule promesse plausible, commune à tous les acteurs.

11.3.2. Mise en perspective avec des retours d'expériences en situation réelle : les cas de ConcerTO

Afin de conclure ce chapitre de discussion et de mettre en perspective les recommandations proposées dans le guide, nous proposons dans cette section de retourner sur le terrain concret de cas d'étude qui présentent des similarités avec la problématique de recherche. Le projet ConcerTO¹⁹¹ de l'Ademe, initié avant le début de la thèse et s'étant déroulé de manière concomitante, se consacre à déterminer une méthodologie de mise en œuvre de démarches de concertation très similaires à la symbiose territoriale bioéconomique. Du fait de la temporalité de ces démarches expérimentales, celles-ci n'ont pas pu être étudiées en tant que cas d'étude dans la Partie II. En revanche, les données et retours d'expériences disponibles à la fin de la thèse rendent possible cette comparaison¹⁹², sur lesquels une analyse plus détaillée serait nécessaire pour en tirer tous les enseignements. Dans la continuité des perspectives opérationnelles, l'objectif de cette mise en perspective est, d'une part, d'interroger les principes établis dans le guide méthodologique présenté ci-dessus, et d'autre part, de faire le parallèle entre ces démarches réelles et la symbiose territoriale telle qu'elle a été considérée dans nos travaux.

Principe de la démarche ConcerTO

Partant des enjeux réglementaires, environnementaux et des potentiels conflits d'usages ou d'approvisionnement liés à la gestion de la matière organique, l'objectif des démarches ConcerTO est de rassembler les acteurs d'un territoire pour établir une feuille de route commune

¹⁹¹ <https://www.optigede.ademe.fr/concerto/quest-ce-que-concerto>

¹⁹² Ces retours ont été acquis par un échange avec la coordinatrice du projet, ainsi que les ressources disponibles sur internet.

visant à la gestion de la matière organique. A la suite d'un premier guide rédigé en 2018 sur la base de l'analyse de cas d'étude préalables (dont certains ont été mobilisés dans le Chapitre 6), un programme expérimental a été entrepris avec cinq territoires volontaires, à des échelles diversifiées de la communauté de communes à la région¹⁹³. L'animation de ces démarches était faite par les collectivités qui étaient appuyées par un prestataire de conseil sur ces questions. Du fait du cadre expérimental de ce projet, les collectivités suivaient un ensemble d'étapes codifiées dans le déroulement de la démarche. En amont de la première rencontre avec les acteurs, un travail de diagnostic était fait. Il consistait notamment à cartographier les acteurs du territoire, et à en contacter certains pour connaître leur vision de la matière organique. A la suite de ce diagnostic, l'ensemble des acteurs identifiés a été convoqué à une assemblée, dont le but était de présenter les constats, l'objectif de la démarche, ainsi que de déterminer collectivement les sujets techniques prioritaires sur lesquels le travail collectif devait se focaliser. Au cours des mois suivants, ces sujets ont été abordés lors d'ateliers réunissant les acteurs intéressés pour travailler à des solutions collectives. Un élément frappant des retours d'expérience du projet ConcerTO est la similarité de ces initiatives avec les démarches d'EIT. Cette similarité se retrouve autant dans les intérêts identifiés par les acteurs participants (interconnaissance, acculturation, montée en compétence...), que dans les modalités d'action (ateliers, visites de sites, ...) et dans les facteurs de réussite (volonté politique, personne dédiée à temps plein...). Il a d'ailleurs été observé que beaucoup d'acteurs volontaires étaient déjà engagés dans une démarche d'EIT avant d'entreprendre la démarche ConcerTO. Cette observation appuie fortement le parti pris qui a été fait tout au long de cette thèse, qui est de considérer ces deux types de démarche comme relevant d'une logique commune, et donc de dynamiques d'action collective similaires.

Une promesse plausible minimaliste, mais des études préalables indispensables

D'après les échanges effectués avec la personne qui a accompagné les collectivités sur l'animation des démarches, les acteurs étaient invités à participer par un simple courriel sans aucune spécification technique sur le projet. Ce courriel indiquait simplement les objectifs de la première réunion de concertation, visant à présenter la démarche et à identifier les sujets d'intérêt. Les études préalables n'ont pas été mobilisées comme contenu technique des promesses plausibles. Ce sont donc des promesses plausibles minimalistes, très peu spécifiées, qui ont permis d'institutionnaliser la démarche de concertation. Notons que la performativité de ces promesses plausibles est, dans cette situation, probablement accentuée par la place centrale que peuvent tenir les collectivités dans le SGPRO (comme identifié au Chapitre 8), additionnée à leur rôle de régulateur et leur poids politique. En d'autres termes, le fait que l'acteur public montre un intérêt pour ce sujet – comme cela aurait pu en être un autre – pourrait être un levier de mobilisation suffisant qui explique le succès de promesses plausibles très vagues. Si elles n'ont pas alimenté ces promesses, les études de gisements faites en amont ont été identifiées comme un élément important pour assurer la qualité de cette première réunion et des ateliers suivants. De même, la cartographie des acteurs faite en amont a permis aux collectivités d'avoir des contacts privilégiés avec des acteurs clés, ce qui a indirectement favorisé la concertation. Ces mécanismes d'initiation sur des cas d'étude réels sont en cohérence avec les recommandations

¹⁹³ Ces territoires sont : la Région Pays de Loire, le syndicat de traitement de déchets VALOR' AISNE, Billom Communauté, Grand Lac Agglomération et Grand Annecy Agglomération.

méthodologiques proposées dans le guide, ce qui permet d'appuyer la pertinence de sa montée en généralisation.

Symbioses territoriales limitées, ou limites de la symbiose territoriale ?

La principale question qui émerge de cette mise en perspective est de déterminer si les démarches ConcerTO répondent à la définition d'une symbiose territoriale bioéconomique telle que nous l'avons établie au Chapitre 1. Dans le cadrage initial de l'Ademe, un ensemble large de PRO est intégré dans la réflexion¹⁹⁴. Par ailleurs, au cours de la réunion de présentation comme des ateliers, les acteurs du territoire participaient concrètement à fixer les orientations de la démarche, d'une manière qui répondait à leur besoin, ce qui correspond selon notre typologie à une action de co-construction. La nature des acteurs listés par la cartographie préalable est également diversifiée, intégrant notamment des producteurs, transformateurs, utilisateurs de PRO, ainsi que des acteurs du système d'influence¹⁹⁵. Dans leurs principes, ces démarches peuvent donc être fortement rapprochées de l'approche systémique proposée dans cette thèse. Dans leur concrétisation, certains éléments les ont en revanche fait diverger de cet idéal. Les acteurs participant à la démarche expérimentale de l'Ademe sont ceux ayant manifesté un intérêt pour celle-ci, qui se sont révélés être uniquement des collectivités. Les frontières¹⁹⁶ des « territoires » ont été établies selon les frontières administratives des acteurs concernés – sans toutefois être totalement hermétiques à la participation d'acteurs situés à l'extérieur. Ce cadrage a beaucoup orienté les discussions vers les enjeux réglementaires des collectivités, notamment la mise en place du tri à la source des biodéchets, restreignant ainsi les types de PRO considérés. Par ailleurs, il a également causé des déséquilibres dans la composition du groupe d'acteurs-cibles mobilisés. Les démarches à grande échelle (département, région...) ont mobilisé surtout des acteurs d'influence, y compris nationaux, éloignant la concertation des actions de terrain. A l'inverse, les échelles plus petites, plus portées sur ces actions concrètes, étaient parfois limitées dans les synergies par cette taille limitée. Le système-territoire résultant est au final moins justifié par l'existence d'un potentiel – une rupture métabolique territorialisée – que par le périmètre organisationnel des acteurs intéressés pour entreprendre une démarche. Une autre limite identifiée est que, malgré de nombreux mois de démarche, les transformations du SGPRO restent à des stades de définition et conception, mais les projets émergent difficilement. Cela est lié, d'une part, à la faible disponibilité des acteurs pour participer à ces ateliers, et d'autre part, à l'absence d'acteurs financeurs dans les discussions. Cette diminution de la portée des démarches, malgré un cadrage initial très ouvert, pose une question fondamentale : observe-t-on la manifestation de symbioses territoriales *limitées* (par exemple, du fait du portage par les collectivités), ou observe-t-on les indices d'une *limite* à la forme réelle que peut prendre une symbiose territoriale ? Posé plus simplement : la symbiose territoriale pourrait-elle être conduite différemment ? Le peu d'indices supplémentaires à notre disposition et la focalisation sur l'initiation des symbioses ne nous permettront pas de trancher cette question. Dans le premier

¹⁹⁴ Excepté les urines séparées à la source et les eaux résiduaires urbaines, tous les PRO considérés dans cette thèse sont concernés par le cadre de cette démarche.

¹⁹⁵ Dans l'étude préalable effectuée, la cartographie des acteurs se fait selon une liste préétablie de parties prenantes potentielles, comprenant les collectivités, les établissements publics, les chambres consulaires, les associations, les entreprises (dont les producteurs et gestionnaires de déchets, mais également les bureaux d'études) et le monde agricole.

¹⁹⁶ Au sens, ici, de la frontière spatiale telle qu'elle a été définie au Chapitre 5.

cas (symbiose limitée) cela interrogerait sur la raison pour laquelle cette symbiose serait limitée. Dans ce cas, la promesse plausible très vague, la définition peu adaptée du système-territoire ou encore les choix de conduite de la démarche pourraient en être la cause. Dans le second cas (limite à la symbiose territoriale) cela questionnerait plus en profondeur la pertinence de la symbiose territoriale en tant que réponse collective. Il serait alors nécessaire d'identifier plus en détail quels sont les freins à l'implication des acteurs une fois la démarche initiée, et s'il existe des moyens pour que les acteurs-cibles s'investissent pour imaginer des évolutions plus structurelles du SGPRO.

Avions et fronts de recherche

Cette mise en perspective informe que, malgré la proximité des objectifs initiaux de la démarche ConcerTO avec la problématique de recherche, ces nouvelles démarches, à l'instar des autres avions revenant du front étudiés comme cas d'étude¹⁹⁷, ne fournissent toujours pas d'exemples accomplis de symbiose territoriale telle qu'elle est conçue dans cette thèse. Il reste à en conclure que le meilleur moyen d'étudier de tels objets –qui restent pour l'instant conceptuels – serait que le monde de la recherche lui-même se saisisse d'une situation réelle pour y implémenter une démarche la plus ambitieuse possible pour résorber réellement la rupture métabolique. Une telle approche de recherche-action post-normale est probablement la perspective de recherche la plus ambitieuse et la plus intéressante qui ressort de ces travaux.

¹⁹⁷ Voir Chapitre 4.

Conclusion Générale

L'étude de la promesse plausible nous a conduit dans un ensemble diversifié de thématiques, de l'action collective à la symbiose industrielle, de la gestion des déchets à l'agronomie. Au travers de cet objet théorique qu'il nous a fallu redéfinir, ces travaux associent en profondeur deux questions qui étaient restées jusqu'à présent trop dissociées, celles de la bioéconomie et celle de l'écologie industrielle. Ils interrogent le rôle de la recherche dans une innovation prenant la forme de démarches concertées et territorialisées ayant pour but d'aligner le fonctionnement de la société avec les limites planétaires. Que retenons-nous à l'issue de cette démarche exploratoire et interdisciplinaire ? Plusieurs choses. Elle illustre premièrement, à plusieurs titres, **l'indissociabilité de la question technique – et a fortiori de la transition écologique – de la question sociale**. Nous avons en effet été amenés à comprendre et décrire le fonctionnement du système sociotechnique de gestion des déchets, au sein duquel les choix effectués quant à la gestion matérielle des produits résiduaux organiques s'expliquaient par de multiples facteurs d'influence en grande partie externes à ce système. Il existe ainsi un ensemble d'acteurs qui interviennent dans la gestion des produits résiduaux organiques autrement que par une action matérielle, en tant que régulateurs, animateurs, fédérateurs, ou apporteurs de solution. Certains de ces acteurs y tiennent d'ailleurs une position centrale inattendue. Cela a pour conséquence que la gestion des produits résiduaux organiques est loin d'être uniquement une question technique, comme le chercheur pourrait avoir tendance à le penser. Certes, les possibilités de gestion sont limitées et conditionnées par un ensemble de principes physiques, chimiques et biologiques, qui dépendent des caractéristiques du produit traité et de la maturité des technologies disponibles. De même, les possibilités de valorisation agricole de ces produits sont liées à leurs propriétés, celles du sol, du climat et bien entendu, des cultures produites. Mais ces facteurs techniques n'expliquent qu'une petite partie du système. Avec uniquement ces éléments, comment expliquer que certains agriculteurs refusent d'épandre des boues de stations d'épuration, que des fumiers de chevaux sont exportés hors du territoire, ou encore que des collectivités font le choix d'installer des composteurs électro-mécaniques ? Ces choix sont en réalité influencés par un ensemble de facteurs non techniques : politiques, réglementaires, économiques, environnementaux ou sociaux. Il en résulte que la promesse plausible prend place dans ce réseau sociotechnique et donc que sa capacité à mobiliser des acteurs, sa performativité, est intimement associée à ces facteurs d'influence. Cela nous amène à un deuxième enseignement central qui a des conséquences opérationnelles particulièrement importantes : la promesse plausible n'a pas d'existence en dehors du contexte dans lequel elle est formulée. Il n'y a pas de trajectoire sociotechnique objectivement et incontestablement meilleure qu'une autre. **La composition d'une promesse plausible et de son mythe rationalisé relève donc avant tout d'un choix de cadrage de l'acteur initiateur**. Il peut s'agir d'un acteur scientifique s'intéressant au recyclage des nutriments en agriculture, comme il peut s'agir d'une communauté de communes intéressée par le tri à la source de ses biodéchets, ou d'un industriel intéressé par le développement de la méthanisation. En définissant un enjeu technique à l'action collective, en identifiant le réseau d'acteurs contribuant à cet enjeu, et en le rattachant à un espace spatial délimité, l'initiateur façonne un système-territoire qui est propre à la question qu'il pose. Enchâssé dans le réseau d'acteurs, il fait lui-même partie de ce système, et n'est à ce titre jamais neutre, même lorsqu'il s'agit d'un acteur scientifique.

La question initiale posée dans cette thèse concernait la manière de mobiliser les connaissances du monde scientifique pour initier une démarche concertée visant à faire évoluer ce système-territoire. Le troisième enseignement que nous tirons de ces travaux répond à cette question d'une manière inattendue. Le fait est que les enjeux environnementaux sont aujourd'hui suffisamment institutionnalisés, c'est-à-dire partie intégrante de la culture et des représentations communes, pour que certaines concertations puissent être initiées sans qu'il soit besoin d'en spécifier les enjeux et perspectives de manière très approfondie. **Des éléments de justification mal définis et portant sur le long terme, dont le bien-fondé n'est plus à démontrer car ils ont été institutionnalisés – que nous avons appelés *idéographes* – représentent de puissants leviers de mobilisation.** Cela ne signifie pas que les acteurs soient insensibles aux enjeux et perspectives techniques de la symbiose territoriale. Ces éléments, qui peuvent typiquement être alimentés par une connaissance approfondie du système-territoire et une modélisation de ses trajectoires d'évolution, sont au cœur de l'intérêt des acteurs. Il peut d'ailleurs arriver qu'une perspective trop spécifique soulève des réserves de leur part, en s'éloignant de leurs propres perspectives stratégiques. Les acteurs sont cependant attentifs à des éléments dépassant le contenu purement technique de la promesse plausible. Ils interrogent la légitimité de l'acteur porteur, les chances que la démarche aboutisse à un projet concret, le rôle des autres acteurs, ou encore les termes utilisés. Cela nous amène à l'implication de ces enseignements pour la science post-normale. **Si l'on restreint le rôle de la recherche uniquement à la phase d'initiation, il apparaît ainsi que la modélisation poussée de synergies ne doit pas nécessairement être conduite en amont des démarches de concertation.** A cette étape, une connaissance extensive du territoire et un niveau de modélisation avancé ne sont pas plus déterminants que l'ensemble des facteurs d'influence externes, qui peuvent difficilement être intégrés dans une promesse plausible technique. **Il serait cependant trop réducteur de restreindre le rôle de la connaissance à celui d'un contenu technique visant à mobiliser des acteurs.** D'une part, le fait pour l'acteur initiateur de disposer d'une telle connaissance est, *en soi*, un levier d'initiation, car celle-ci peut être mobilisée dans la stratégie de mobilisation des acteurs, ou dans l'affinage du système-territoire. D'autre part, les modélisations faites dans ces travaux suggèrent qu'une évaluation de la symbiose territoriale est indispensable pour garantir sa pertinence, notamment d'un point de vue environnemental. En effet, même en faisant des hypothèses très ambitieuses sur l'évolution du système de gestion de déchets, il était difficile, dans les scénarios représentés sur la plaine de Versailles, d'atteindre les objectifs fixés initialement. La résorption de ce que nous avons appelé *rupture métabolique territorialisée* nécessite à ce titre d'élargir les modalités d'action envisagées, en y intégrant en plus de la gestion des déchets – l'aval de la rupture – la question de la transition agricole et donc de questionner le besoin intensif en intrants de synthèse – l'amont de la rupture – particulièrement sensible sur la plaine de Versailles. Ces considérations amènent également une remarque importante sur la symbiose territoriale. En faisant de son initiation une *fin* pour répondre à la problématique de recherche, il ne faut pas oublier qu'elle doit avant tout être un *moyen* de répondre aux problèmes environnementaux. L'initiation d'une démarche de symbiose territoriale ne garantit en effet en rien que celle-ci tienne ses promesses en termes de durabilité. Pour approfondir ce questionnement, les futures recherches devront s'atteler à initier réellement cette symbiose territoriale, qui ne transparaît encore clairement dans aucun des cas de symbiose industrielle étudiés. En apportant des éléments théoriques et méthodologiques, tant à la communauté scientifique qu'aux potentiels initiateurs, cette thèse se veut elle-même constituer une promesse plausible : insuffisamment spécifique pour pouvoir être directement transposable dans une situation donnée, mais suffisamment aboutie pour que des acteurs puissent s'en saisir dans une démarche d'expérimentation et d'apprentissage collectif.

Conclusion Générale

Glossaire

Acteur initiateur : Personne(s) ou organisation(s) à l'initiative d'une **promesse plausible**. Il correspond à la dimension « Qui » de la situation d'énonciation de la promesse plausible. Voir section 6.1.

Acteur-cible : Personne(s) ou organisation(s) à qui est destinée une **promesse plausible**. Il correspond à la dimension « A Qui » de la situation d'énonciation de la promesse plausible. Voir section 6.1.

Action collective : Action nécessitant la collaboration de plusieurs acteurs autour d'un objectif commun, malgré les objectifs individuels diversifiés de ces acteurs. Voir section 3.2

Affectation : Choix technique contingent effectué par un acteur pour la gestion physique de ses **PRO** : procédé de traitement, moyen de collecte, mode d'utilisation agricole... Voir section 8.2.

Bioéconomie : Stratégie de gestion de la matière organique – résiduelle ou non – dont la définition exacte fait débat, et qui est polarisée selon trois principales approches : une vision bio-technologique, une vision basée sur les bio-ressources et une vision bio-écologique. Voir section 1.3.3 et 5.1.1

Concertation : « La concertation se base sur un dialogue horizontal entre les participants, dont l'objectif est la construction collective de visions, d'objectifs, de projets communs, en vue d'agir ou de décider ensemble. » (Beuret, 2006, p.71). La concertation est une action collective.

Crédibilité (de la promesse plausible) : Traduit, pour l'acteur initiateur, le jugement sur la véracité des termes de sa promesse plausible par les acteurs-cibles à qui elle est destinée. Voir **Réalisme**. Voir section 3.3

Ecologie industrielle : Champ scientifique ayant pour objectif d'appliquer les principes de l'écologie – étude des êtres vivants, de leurs interactions entre eux et avec leur environnement – à la société industrialisée, afin de rendre les activités de cette dernière compatibles avec les limites biogéophysiques dans lesquelles elle s'inscrit. Voir sections 1.2 et A-1.

Ecologie Industrielle et Territoriale (démarche d') : Appellation des **symbioses industrielles** dans le cadre institutionnel français. Voir Encadré 8 section A-1.2.

Ecologie territoriale : Champ d'application de l'écologie industrielle à l'échelle systémique du **territoire**, considéré comme un objet complexe et multidimensionnel. Voir section 1.2

Emergence (d'une symbiose industrielle) : Dimension de la symbiose industrielle s'intéressant à la nature de l'acteur initiant la démarche. L'émergence peut être interne, externe ou hybride. Voir section 5.2.

Facilitation : Ensemble des actions entreprises pour favoriser le déploiement de synergies dans le cadre d'une **symbiose industrielle**. La facilitation implique la réalisation d'une **action collective** et est également un mode de **gouvernance** des synergies au sein des symbioses industrielles. Voir section 5.2.

Facteurs d'influence (au sein du SGPRO) : ensemble de contraintes et opportunités qui peuvent encourager ou décourager certaines pratiques de gestion des PRO. Les six grandes familles de facteurs d'influence sont les facteurs économiques, environnementaux, politiques, réglementaires, sociaux et techniques. Voir section 8.2.

Frontière : Limite aux synergies possibles dans le cadre d'une symbiose industrielle spécifiée par un observateur. Les frontières peuvent être spatiales, sociales, techniques ou temporelles. Voir section 5.5.

Gestion concertée (démarche de): « processus dans lequel des acteurs s'engagent afin de gérer ensemble un ou des biens, espaces, ou territoires » et qui « se développe autour d'un processus de concertation » (Beuret, 2006, p.71). Voir section 1.4.

Gouvernance (des synergies au sein d'une symbiose industrielle) : Processus par lequel sont établies les nouvelles synergies, pouvant être auto-organisé, **facilité** ou planifié. Voir section 5.2.

Groupe de contrôle : Groupe d'**acteurs initiateurs** qui se constitue fréquemment au cours d'une symbiose territoriale, suite à la formulation de diverses promesses plausibles. Voir section 6.5.

Glossaire

Institution : Systèmes de règles sociales établies et répandues qui structurent les interactions sociales. (Hodgson, 2007, p.2). Voir section 3.2

Institutionnalisation : Processus de mise en place d'une **institution**, c'est-à-dire instauration d'un cadre **d'action collective**. Voir section 3.2

Intérêt (pour une promesse plausible) : **Plausibilité**, d'une **promesse plausible** selon un **acteur-cible**. Voir section 10.1

Mythe rationalisé : Justification **institutionnalisée** d'une **action collective**, combinant une **situation** et la **réponse collective** adaptée face à celle-ci. Voir sections 3.2, 6.1, 6.2.5

Objet (d'intérêt / de réalisme) – spécifique au Chapitre 10 : éléments perçus et interprétés par les acteurs dans leur notation des PP, matérialisés sous la forme d'arguments. Voir section 10.2.1

Partie prenante : Voir acteur-cible.

Performativité : Fait que certains discours correspondent à des actions, et sont en mesure d'engendrer d'autres actions. Voir section 3.3.

Périmètre de concertation : Ensemble des **acteurs-cibles** pertinents à qui formuler une **promesse plausible** dans un **système-territoire** donné. Voir section 8.2.6

Périmètre délimité : Dimension du **système-territoire** renvoyant à un espace arbitrairement délimité. Cet espace peut correspondre au périmètre organisationnel de l'acteur initiateur (par exemple, délimitation d'une communauté de communes). Voir section 5.5

Plausibilité (d'une promesse plausible): Capacité d'une **promesse plausible** à mobiliser des acteurs dans une démarche de concertation. Voir **performativité**. Voir section 3.3

Premier ordre (action de) : Actions qui s'inscrivent selon les règles établies par les **institutions**. Voir section 3.2

Produit résiduaire organique (PRO) : l'ensemble des matières d'origine biologique récente, exogènes au sol, et dont la production n'est pas l'utilité première des procédés par lesquelles elles sont obtenues. Voir section 2.1.1

PRO brut : PRO résultant d'un « processus ne visant pas directement à sa production » avant transformation intentionnelle par l'homme. Voir **PRO**.

PRO transformé : PRO résultant d'une transformation intentionnelle par l'homme d'un autre PRO. Voir **PRO**.

Promesse plausible : **(1) Définition initiale de Douthwaite** : innovation insuffisamment aboutie pour qu'elle soit parfaitement adaptée, mais suffisamment convaincante pour que les acteurs acceptent de s'engager dans une démarche visant à l'améliorer. Voir section 1.4.3. **(2) Définition issue du cadrage théorique** : discours **performatif** qui contient un **mythe rationalisé** spécifique à une situation identifiée par l'acteur initiateur. Voir section 3.3.3. **(3) Définition opérationnalisée, déclinée dans la symbiose territoriale** : Discours formulé par un **acteur initiateur** confronté à une **situation** pour engager des **acteurs-cibles** dans **réponse collective** visant à traiter cette situation. Cette définition correspond à une situation d'énonciation représentée par la question : Qui (acteur initiateur) propose Quoi (réponse collective), A Qui (acteurs-cibles) et Pour Quoi (situation). Le couple Quoi-Pour Quoi forme un mythe rationalisé. Voir section 6.1.

Réalisme : **Crédibilité** d'une **promesse plausible**, selon un **acteur-cible**. Voir section 10.1.

Régime (d'action collective) : « *assemblage stabilisé de règles et de routines* » (Joly, 2010, p2) qui définissent les modalités d'action collective. Voir section 6.5.1.

Résidu Organique : voir **produit résiduaire organique**.

Rupture métabolique territorialisée : situation dans laquelle la proximité géographique des acteurs des deux côtés de la **rupture métabolique** – producteurs et utilisateurs de PRO – permet d'envisager le développement de synergies entre eux. Voir section 1.3

Glossaire

Sciences post-normales : Contrairement à la science 'normale', la science post-normale appelle à prendre acte que la discipline scientifique n'est intrinsèquement pas apte à guider seule la décision dans des situations à enjeux forts, urgents, clivants, et dans lesquelles les incertitudes sont élevées. (Funtowicz et Ravetz, 1993). Voir introduction générale.

Second ordre (action de) : Actions visant à faire évoluer les **institutions** et les règles guidant les actions de **premier ordre**. Voir section 3.2

Situation : Observation concrète et localisée de conditions nécessitant l'entreprise d'une action. Une situation n'existe pas dans l'absolu, mais pour l'observateur qui la définit. Il s'agit également d'un élément constitutif d'un mythe rationalisé, et de la dimension « Pour Quoi » d'une promesse plausible. Voir sections 4.1.1 et 6.3.1.

Symbiose industrielle : démarche entreprise pour modifier le métabolisme d'un ensemble d'acteurs géographiquement proches – au sein d'une zone industrielle, d'un périmètre administratif, ou alors sur un **territoire** déterminé de manière plus complexe – dans l'objectif que les déchets des uns deviennent des ressources pour les autres. Il s'agit d'une ambition normative et transformative de l'écologie industrielle déclinée à une échelle intermédiaire. Il s'agit d'une **démarche de gestion concertée**. Voir EIT. Voir sections 1.2, 6.1.1, A-1.2, B-1.3

Symbiose territoriale : Format particulier de **symbiose industrielle** qui présente les particularités suivantes : (1) Elle porte sur un territoire, vu en tant que système complexe, ne se limitant donc pas aux acteurs industriels ou aux entreprises de ce territoire, (2) Elle vise avant tout à établir un projet de développement territorial basé sur le développement des proximités entre les acteurs et l'augmentation de la capacité territoriale, (3) Elle a pour ambition une transformation en profondeur du métabolisme de son **système-territoire**. Elle correspond à une **démarche de gestion concertée**. Voir section 1.3.

Symbiose territoriale bioéconomique : Forme de **symbiose territoriale** visant à reconfigurer la production et la transformation de la matière organique à l'échelle du **système-territoire** où elle se décline. Voir section 1.3.

Système sociotechnique de gestion des PRO : Système d'acteurs, d'infrastructures et de représentations focalisé sur la gestion des **produits résiduels organiques**, c'est-à-dire leur production et leur affectation dans différentes filières de traitement ou vers leur destination finale. Il est composé d'un système d'interactions physiques (actions matérielles de gestion des PRO) et d'un système d'influence (actions qui modifient cette gestion de manière non matérielle), soumis à un champ de **facteurs d'influence** interconnectés. Voir sections 2.2 et 8.2.

Système-territoire : Système matérialisant le cadrage effectué par **l'acteur initiateur** en explicitant les frontières préétablies de la **symbiose territoriale**, qui sera véhiculé par la **promesse plausible**. Il repose sur trois dimensions clés : un **périmètre délimité**, un réseau d'acteurs, et un espace des enjeux. Voir section 5.5.

Territoire : « *le territoire est un système complexe évolutif qui associe un ensemble d'acteurs d'une part, l'espace géographique que ces acteurs utilisent, aménagent et gèrent d'autre part.* » (Moine, 2006, p.126). Voir 1.2.3.

Liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique

ACV : Analyse de Cycle de Vie

Ademe : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AGEC : Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire

APPVPA : Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du plateau des Alluets

BDAE : Biodéchets des activités économiques

C : Carbone

CCI : Chambre de Commerce et d'Industrie

CUMA : Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

CY : Cœur d'Yvelines

DDT : Direction Départementale des Territoires

DREAL : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DRIA AF : Direction régionale de l'agriculture et de la forêt.

DRIEAT : Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports d'Ile-de-France

DV : Déchets Verts

EIT : Ecologie Industrielle et Territoriale

ERU : Eaux Résiduaires Urbaines

FFOM : Fraction fermentescible des ordures ménagères

FTT : Follow-The-Technology (Douthwaite *et al.*, 2001))

GM : Gally-Mauldre

GPSO : Grand-Paris-Seine-et-Oise

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

INRM : Integrated Natural Resource Management

K : Potassium

LTECV : Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte.

Maelia : Multi-Agents for Environmental norms Impact Assessment

MB : Matière Brute

MR (ou RM) : Mythe Rationalisé

MS : Matière Sèche

N : Azote

OMR : Ordures Ménagères Résiduelles

ORDIF : Observatoire Régional des Déchets d'Ile-de-France

P : Phosphore

PP : Promesse Plausible

PRO : Produit Résiduaire Organique

PRPGDD : Plan Régional de Prévention et de Gestion Des Déchets

PT : Processus de Traduction (Callon, 1986)

SAU : Surface Agricole Utilisée

SI (ou IS) : Symbiose Industrielle

SIDOMPE : Syndicat Intercommunal pour la Destruction des Ordures Ménagères et la Production d'Energie

SI EED : Syndicat Intercommunal d'Évacuation et d'Élimination des Déchets.

SGPRO : Système sociotechnique de Gestion des Produits Résiduaires Organiques

SPI : Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles

SQY : Saint-Quentin-en-Yvelines

STEP : Station d'épuration

UPUTUC : modèle « Unité de Production ; Unité de Transformation , Unité de Consommation »

UVE : Unité de Valorisation Energétique (Usine d'incinération)

VGP : Versailles-Grand Parc

REFERENCES

- Abitbol, L. (2012). *Initier des coopérations inter-organisationnelles dans les démarches d'Écologie Industrielle et Territoriale : une relecture en termes de sociologie de la traduction et de la théorie des objets-frontières*, 298.
- Abitbol, L., Blavot, C., Duret, B., Georgeault, L., Mat, N., Rault, M. et Valluis, C. (2014). *L'écologie industrielle et territoriale : le guide pour agir dans les territoires*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Ecologie-industrielle-et,41881.html>
- Abriak, N. E., Junqua, G., Dubois, V., Gregoire, P., Mac Farlane, F. et Damidot, D. (2006). Methodology of management of dredging operations I. Conceptual developments. *Environmental Technology*, 27(4), 411-429. <https://doi.org/10.1080/09593332708618653>
- Ademe. (2011a). *Enquete sur les prix de l'incinération des déchets municipaux*.
- Ademe. (2011b). *La collecte des déchets par le service public en France - Résultats 2011*.
- Ademe. (2012). *Guide Methodologique Du Compostage Partagé (Ou Semi-Collectif)*, 87p.
- Ademe. (2014). *Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone* ®. [http://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/\[Base Carbone\] Documentation générale v11.0.pdf](http://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/[Base Carbone] Documentation générale v11.0.pdf)
- Ademe. (2015). *Impact Sanitaire Et Environnemental Du Compostage Domestique*.
- Ademe. (2016). *Guide Pratique - Chaleur issu de la cogénération*.
- Ademe. (2017). *Étude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets*.
- Ademe. (2018). *ConcerTO - Gestion territoriale de la matière organique*. Ademe.
- Ademe. (2019a). *Modecom 2017. Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés*. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/caracterisation_dechets_menagers_modecom2017_resultats_ordures_menageres_residuelles_010744.pdf
- Ademe. (2019b). *Point Sur Les Technologies Gazéifications De Dechets Heterogenes*, 1-5.
- Ademe. (2020). *Déchets chiffres-clés Édition 2020*.
- Ademe. (2021). *Transition(s) 2050. Choisir Maintenant. Agir pour le climat*.
- Agreste. (2020). *Statistique agricole annuelle (SAA)*. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/statistique+agricole+annuelle/searchUiid/search/>
- Ahmed, N., Shim, S., Won, S. et Ra, C. (2018). Struvite recovered from various types of wastewaters: Characteristics, soil leaching behaviour, and plant growth. *Land Degradation and Development*, 29(9), 2864-2879. <https://doi.org/10.1002/ldr.3010>
- AILE. (2014). *Valdipro. Fraction solide brute de digestat issue de séparation de phases*, 1-4.
- AILE et RAEE. (2012). *Produire du biométhane. Guide technique*.
- Aissani, L., Mollaret, M. E. et Pradel, M. (2009). *Rapport de synthèse - Comparaison de deux logiciels d'ACV : GaBi 4 et SimaPro 7.1.8*.
- Akrich, M., Callon, M. et Latour, B. (2006). *Sociologie de la traduction*. Presses des Mines. <https://doi.org/10.4000/books.pressesmines.1181>
- Albini, L. (2013). *Conception détaillée du modèle UPUTUC*.
- Alemu, K. T. (2017). Formal and informal actors in Addis Ababa's solid waste management system. *IDS Bulletin*, 48(2), 53-70. <https://doi.org/10.19088/1968-2017.116>
- Alibardi, L., Astrup, T. F., Asunis, F., Clarke, W. P., De Gioannis, G., Dessì, P., Lens, P. N. L., Lavagnolo, M. C., Lombardi, L., Muntoni, A., Pivato, A., Poletini, A., Pomi, R., Rossi, A., Spagni, A. et Spiga, D. (2020).

REFERENCES

- Organic waste biorefineries: Looking towards implementation. *Waste Management*, 114, 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.010>
- Allain, S. (2018). *Vers une gestion structurelle de l'eau dans un territoire agricole en tension. Une démarche d'évaluation multicritère multi-acteur utilisant des simulations informatiques.*
- Allain, S., Plumecocq, G. et Leenhardt, D. (2020). Linking deliberative evaluation with integrated assessment and modelling: a methodological framework and its application to agricultural water management. *Futures*. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102566>
- Allenby, B. (2006). The ontologies of industrial ecology? *Progress in Industrial Ecology*, 3(1-2), 28-40.
- Allenby, B. R. et Cooper, W. E. (1994). Understanding industrial ecology from a biological systems perspective. *Environmental Quality Management*, 3(3), 343-354. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310030310>
- Allesch, A. et Brunner, P. H. (2014). Assessment methods for solid waste management: A literature review. *Waste Management and Research*, 32(6), 461-473. <https://doi.org/10.1177/0734242X14535653>
- Andraszewicz, S. et Rieskamp, J. (2014). Standardized covariance-A measure of association, similarity and co-riskiness between choice options. *Journal of Mathematical Psychology*, 61, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2014.08.001>
- Andreev, N., Ronteltap, M., Boincean, B., Wernli, M., Zubcov, E., Bagrin, N., Borodin, N. et Lens, P. N. L. (2017). Lactic acid fermentation of human urine to improve its fertilizing value and reduce odour emissions. *Journal of Environmental Management*, 198, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.059>
- Andriulo, A., Mary, B. et Guerif, J. (1999). Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*, 19(5), 365-377. <https://doi.org/10.1051/agro:19990504>
- Antonini, G. (2005). Traitements thermiques des déchets - Procédés et technologies associées. *Techniques de l'ingénieur*, (g2051 v1), 18. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-des-dechets-42437210/traitements-thermiques-des-dechets-g2051/>
- Aparcana, S. (2017). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593-607. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.028>
- APPVPA. (2015). *Le projet européen LEADER dans la Plaine de Versailles*, 28.
- Archer, S. A. et Steinberger-Wilckens, R. (2018). Systematic analysis of biomass derived fuels for fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(52), 23178-23192. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.161>
- Arnstein, S. R. (1969). Journal of the American Planning Association A Ladder Of Citizen Participation. *Journal of American Institute of Planners*, 35(4), 216-224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- Ashton, W. S. (2009). The structure, function, and evolution of a regional industrial ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*, 13(2), 228-246. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00111.x>
- Ashton, W. S. et Bain, A. C. (2012). Assessing the « Short Mental Distance » in Eco-Industrial Networks. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 70-82. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00453.x>
- Aubry, C., Barbier, R., Lupton, S. et Pradel, M. (2014). Dimensions économique et sociotechnique de l'épandage des Mafor. Dans *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Expertise scientifique collective INRA-CNRS-Irstea* (p. 833-907).
- Austin, J. . (1962). *How to Do Things With Words*. Harvard university press.
- Avadí, A. (2020). Screening LCA of French organic amendments and fertilisers. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(4), 698-718. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01732-w>
- Avadí, A., Aissani, L., Pradel, M. et Wilfart, A. (2020). Life cycle inventory data on French organic waste treatments yielding organic amendments and fertilisers. *Data in Brief*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105000>
- Avadí, A., Benoit, P., Bravin, M. N., Cournoyer, B., Feder, F., Galia, W., Garnier, P., Haudin, C. S., Legros, S., Mamy, L., Nazaret, S., Patureau, D., Pot, V., Vieublé Gonod, L., Wassenaar, T. et Doelsch, E. (2022). Trace

REFERENCES

- contaminants in the environmental assessment of organic waste recycling in agriculture: Gaps between methods and knowledge. *Advances in Agronomy*, 174, 53-188. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.03.002>
- Aye, L. et Widjaya, E. R. (2006). Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. *Waste Management*, 26(10), 1180-1191. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.010>
- Ayres, R. U. (1994). Industrial Metabolism: Theory and Policy. Dans B. R. Allenby et D. Richards. (dir.), *The greening of industrial ecosystems* (p. 7331-7333). National Academy Press. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043076-7/04159-0>
- Ayres, R. U. et Ayres, L. (2002). *A handbook of industrial ecology*. Edward Elgar Publishing. <http://books.google.com/books?id=g1Kb-xizc1wC&pgis=1>
- Baas, L. (2011). Planning and uncovering industrial symbiosis: Comparing the Rotterdam and Östergötland regions. *Business Strategy and the Environment*, 20(7), 428-440. <https://doi.org/10.1002/bse.735>
- Baas, L. et Boons, F. (2007). The introduction and dissemination of the industrial symbiosis projects in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 7(5/6), 551. <https://doi.org/10.1504/ijetm.2007.015630>
- Baas, L. W. et Boons, F. A. (2004). An industrial ecology project in practice: Exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 1073-1085. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.005>
- Baas, L. W. et Huisingsh, D. (2008). The synergistic role of embeddedness and capabilities in industrial symbiosis: Illustration based upon 12 years of experiences in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *Progress in Industrial Ecology*, 5(5-6), 399-421.
- Baccini, P. et Brunner, P. H. (2012). *Metabolism of the Anthroposphere* (MIT Press).
- Bahers, J. B., Barles, S. et Durand, M. (2019). Urban Metabolism of Intermediate Cities: The Material Flow Analysis, Hinterlands and the Logistics-Hub Function of Rennes and Le Mans (France). *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 686-698. <https://doi.org/10.1111/jiec.12778>
- Bahers, J. B. et Durand, M. (2017). Le retour de la proximité ! Quelles implications pour les services urbains en réseau ? *Flux*, 109-110(3), 1-8. <https://doi.org/10.3917/flux1.109.0001>
- Bahers, J. B. et Giacchè, G. (2019). Towards a metabolic rift analysis: The case of urban agriculture and organic waste management in Rennes (France). *Geoforum*, 98(November 2018), 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.10.017>
- Bain, A., Shenoy, M., Ashton, W. et Chertow, M. (2010). Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1278-1287. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.007>
- Barbier, R. et Larrue, C. (2011). *Démocratie environnementale et territoires : un bilan d'étape. Participations* (vol. 1). <https://doi.org/10.3917/parti.001.0067>
- Barbier, R. et Rémy, E. (2012). Les controverses environnementales publiques. Dans *Manuel de sociologie de l'environnement* (p. 187-201).
- Barbier, R. et Trépos, J.-Y. (2007). Humains et non-humains : Un bilan d'étape de la sociologie des collectifs. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 1, 35-58. <https://doi.org/halshs-00156789f>
- Bareha, Y., Rim, A., Buffet, J. et Girault, R. (2021). *SYS-Metha : Outil de prédiction des flux d'azote et de carbone sur les filières de méthanisation et des propriétés des digestats*. <https://doi.org/https://doi.org/10.15454/U4S6OF>
- Barles, S. (2005). *L'invention des déchets urbains. France : 1790-1970*. Champ vallon.
- Barles, S. (2017). Écologie Territoriale Et Métabolisme Urbain : Quelques Enjeux De La Transition Socioécologique. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, Décembr(5), 819. <https://doi.org/10.3917/ru.175.0819>
- Barles, S., Buclet, N. et Billen, G. (2011). L'écologie territoriale : du métabolisme des sociétés à la gouvernance des flux d'énergie et de matières. *CIST2011 - Fonder les sciences du territoire, Collège international des sciences*

REFERENCES

- du territoire (CIST)*, 16-22.
- Barnett, J., Evans, L. S., Gross, C., Kiem, A. S., Kingsford, R. T., Palutikof, J. P., Pickering, C. M. et Smithers, S. G. (2015). From barriers to limits to climate change adaptation: Path dependency and the speed of change. *Ecology and Society*, 20(3). <https://doi.org/10.5751/ES-07698-200305>
- Barthe, Y., De Blic, D., Heurtin, J. P., Lagneau, É., Lemieux, C., Linhardt, D., De Bellaing, C. M., Rémy, C. et Trom, D. (2013). Sociologie pragmatique: Mode d'emploi. *Politix*, 103(3), 175-204. <https://doi.org/10.3917/pox.103.0175>
- Bartoli, A. et Trébucq, S. (2022). Le territoire, entre dynamiques locales, processus organisationnels et logiques d'acteurs. *Gestion et management public, Volume 9* (2), 6-8. <https://doi.org/10.3917/gmp.092.0006>
- Bates, R. H. (1988). Contra Contractarianism: Some Reflections on the New Institutionalism. *Politics & Society*, 16, 387-401. <https://doi.org/10.1177/003232928801600207>
- Bayard, R. et Gourdon, R. (2007). Traitement biologique des déchets. *Techniques de l'Ingénieur*.
- Beaurain, C. et Brullot, S. (2011). L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine, avril*(2), 313-340. <https://doi.org/10.3917/rru.112.0313>
- Beaurain, C. et Varlet, D. (2015). Régulation des interactions au sein d'un réseau territorialisé d'entreprises dans le cadre de l'écologie industrielle : L'exemple de l'agglomération dunkerquoise. *Revue d'économie industrielle*, 152, 173-206.
- Beck, U. (2002). *La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité*. Champs Essais.
- Befort, N. (2020). Going beyond definitions to understand tensions within the bioeconomy: The contribution of sociotechnical regimes to contested fields. *Technological Forecasting and Social Change*, 153(April 2019), 119923. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119923>
- Behera, S. K., Kim, J. H., Lee, S. Y., Suh, S. et Park, H. S. (2012). Evolution of « designed » industrial symbiosis networks in the Ulsan Eco-industrial Park: « Research and development into business » as the enabling framework. *Journal of Cleaner Production*, 29-30, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.009>
- Belaud, J.-P., Adoue, C., Vialle, C., Chorro, A. et Sablayrolles, C. (2019). A circular economy and industrial ecology toolbox for developing an eco-industrial park: perspectives from French policy. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(5), 967-985. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01677-1>
- Bénicourt, E. (2007). Amartya Sen : un bilan critique. *Cahiers d'Économie Politique*, 52(1), 57. <https://doi.org/10.3917/cep.052.0057>
- Benoît, P., Dabert, P. et Pourcher, A. (2014a). Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des Mafor. Dans S. Houot, M. N. Pons et M. Pradel (dir.), *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Expertise scientifique collective INRA-CNRS-Irstea* (chap. 2, p. 115-363).
- Benoît, P., Patureau, D., Rychen, G. et Topp, E. (2014b). *Conséquences de l'épandage de Mafor en termes de contamination de l'environnement*.
- Berkes, F. (2017). Environmental Governance for the Anthropocene? Social-Ecological Systems, Resilience, and Collaborative Learning. *Sustainability*, 9(7), 1232. <https://doi.org/10.3390/su9071232>
- Berkes, F., Colding, J. et Folke, C. (2000). Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 10(5), 1251-1262. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2)
- Berque, A. (2000). *Écoumène, introduction à l'étude des milieux humains*. Belin.
- Berthet, E. (2013). *Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes Fonds écologique et inconnu commun*.
- Berthet, E. T. A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J. et Martin, G. (2016). How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(2), 280-301. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>

REFERENCES

- Berthet, E. T., Segrestin, B. et Weil, B. (2018). Des biens communs aux inconnus communs : initier un processus collectif de conception pour la gestion durable d'un agro-écosystème. *Revue de l'organisation responsable*, 13(1), 7. <https://doi.org/10.3917/ror.131.0007>
- Berthomé, K. (2013). Concertation. Dans I. Casillo, R. Barbier, L. Blondiaux, F. Chateauraynaud, J.-M. Fourniau, R. Lefebvre, C. Neveu et D. Salles (dir.), *Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation*. GIS Démocratie et Participation. <http://www.dicopart.fr/fr/dico/concertation>
- Bessy, C. et Chateauraynaud, F. (1995). *Experts et faussaires. Pour une sociologie de la perception*. Métailié.
- Beuret, J.-E. (2006). *La conduite de la Concertation* (L'Harmatta).
- Beuret, J.-E. (2013). Concertation (démarche de). Dans I. Casillo, R. Barbier, L. Blondiaux, F. Chateauraynaud, J.-M. Fourniau, R. Lefebvre, C. Neveu et D. Salles (dir.), *Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation*. GIS Démocratie et Participation. <http://www.dicopart.fr/fr/dico/concertation-demarche-de>
- Bijon, N., Cerceau, J., Dechesne, M., Junqua, G. et Wassenaar, T. (2022a). What and why? Exploring rational myths of industrial symbioses in French case studies. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15(June), 200099. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200099>
- Bijon, N., Wassenaar, T., Junqua, G. et Dechesne, M. (2022b). Towards a Sustainable Bioeconomy through Industrial Symbiosis: Current Situation and Perspectives. *Sustainability*, 14(1605). <https://doi.org/10.3390/su14031605>
- Billen, G., Aguilera, E., Einarsson, R., Garnier, J., Gingrich, S., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Le Noë, J. et Sanz-Cobena, A. (2021). Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity. *One Earth*, 4(6), 839-850. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.008>
- Billen, G., Garnier, J., Thieu, V., Silvestre, M., Barles, S. et Chatzimpiros, P. (2012). Localising the nitrogen imprint of the Paris food supply: The potential of organic farming and changes in human diet. *Biogeosciences*, 9(1), 607-616. <https://doi.org/10.5194/bg-9-607-2012>
- Billen, G., Lassaletta, L. et Garnier, J. (2014). A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. *Global Food Security*, 3(3-4), 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.003>
- Billen, G., Toussaint, F., Peeters, P., Sapir, M., Steenhout, A. et J-P Vanderborgh. (1983). *L'écosystème Belgique : Essai d'écologie industrielle*.
- Blatter, J. K. (2008). Case Study. Dans *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods. Volume 1 & 2*. (p. 68-71). Sage Publications.
- Block, F. (2001). Introduction - Polanyi's concept of embeddedness. Dans *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time (réédition)* (p. xxiii-xxvii).
- Blomsma, F. et Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603-614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Bohanec, M., Žnidaržič, M., Rajkovič, V., Bratko, I. et Zupan, B. (2013). DEX methodology: Three decades of qualitative multi-attribute modeling. *Informatika (Slovenia)*, 37(1), 49-54.
- Bohm, K., Hatley, G. A., Robinson, B. H. et Gutiérrez-Ginés, M. J. (2022). Black Soldier Fly-based bioconversion of biosolids creates high-value products with low heavy metal concentrations. *Resources, Conservation and Recycling*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106149>
- Boiral, O. (2007). Corporate Greening Through ISO 14001: A Rational Myth? *Organization Science*, 18(1), 127-146. <https://doi.org/10.1287/orsc.1060.0224>
- Boiral, O., Talbot, D. et Brotherton, M. C. (2020). Measuring sustainability risks: A rational myth? *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2557-2571. <https://doi.org/10.1002/bse.2520>
- Boltanski, L. (1990). Sociologie critique et sociologie de la critique. *Politix*, 3(10), 124-134. <https://doi.org/10.3406/polix.1990.2129>
- Boltanski, L. et Thévenot, L. (1991). *De la justification: les économies de la grandeur*, 496. Gallimard.

REFERENCES

- Bonaiuti, M. (2011). *From Bioeconomics to Degrowth. Georgescu-Roegen's « New Economics » in eight essays. From Bioeconomics to Degrowth*. Routledge.
- Bonneuil, C. et Fressoz, J.-B. (2013). *L'Événement Anthropocène*.
- Boons, F., Chertow, M., Park, J., Spekkink, W. et Shi, H. (2016). Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework. *Journal of Industrial Ecology*, (August). <https://doi.org/10.1111/jiec.12468>
- Boons, F. et Howard-Grenville, J. (2009). *The Social Embeddedness of Industrial Ecology* (Edward Elg). Edward Elgar Publishing.
- Boons, F. et Roome, N. (2000). Industrial ecology as a cultural phenomenon: On objectivity as a normative position. *Journal of Industrial Ecology*, 4(2), 49-54. <https://doi.org/10.1162/108819800569799>
- Borgatti, S. P. (2002). *NetDraw: Graph Visualization Software*. Harvard: Analytic Technologies.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. et Freeman, L. C. (2002). *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. et Johnson, J. C. (2013). *Analyzing Social Networks*. Sage Publications.
- Borlandi, M. (2020). L'individualisme méthodologique défendu par Raymond Boudon. *Revue européenne des sciences sociales*, (58-1), 239-266. <https://doi.org/10.4000/ress.6632>
- Boros, L. (2021). *Intégration de matières organiques locales dans les pratiques agricoles d'une diversité de systèmes de production de légumes en contexte périurbain*.
- Boros, L., Levvasseur, F., Kebalo, L. F., Bijon, N. et Morel, K. (s. d.). Recycling local organic matter in peri-urban horticulture : a case-study in the Parisian region. *Acta Horticulturae*.
- Bos, C., Walhout, B., Peine, A. et van Lente, H. (2014). Steering with big words: articulating ideographs in research programs. *Journal of Responsible Innovation*, 1(2), 151-170. <https://doi.org/10.1080/23299460.2014.922732>
- Bottausci, S., Midence, R., Serrano-Bernardo, F. et Bonoli, A. (2022). Organic Waste Management and Circular Bioeconomy: A Literature Review Comparison between Latin America and the European Union. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031661>
- Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship earth. Dans H. Jarrett (dir.), *Environmental Quality in A Growing Economy: Essays from the Sixth RFF Forum* (vol. 3, p. 3-14). <https://doi.org/10.4324/9781315064147>
- Boullier, D. (1989). Du bon usage d'une critique du modèle diffusionniste : discussion-prétexte des concepts de Everett M. Rogers. *Réseaux*, 7(36), 31-51. <https://doi.org/10.3406/reso.1989.1351>
- Bourdieu, P. (1976). Le champ scientifique. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 2(2), 88-104. <https://doi.org/10.3406/arss.1976.3454>
- Bousquet, F., Barbat, V. et Petzold, S. (2020). La nature stratégique des ressources issues de l'ancrage territorial : proposition d'une grille d'évaluation pour les PME. *Revue internationale P.M.E.*, 33(1), 41-73. <https://doi.org/10.7202/1069283ar>
- Boutaud, A. (2013). *Le développement durable: penser le changement ou changer le pansement ? : bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France : de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au*, 571.
- Bouthier, A., Robert, T., Virginie, P. et Bernard, N. (2009). Cinétique de minéralisation nette de l'azote organique des produits résiduels organiques à court terme in situ et en conditions contrôlées. *Journée Technique Grandes Cultures Biologiques ITAB-Arvalis*, 1-6.
- Bouwman, L., Goldewijk, K. K., Van Der Hoek, K. W., Beusen, A. H. W., Van Vuuren, D. P., Willems, J., Rufino, M. C. et Stehfest, E. (2013). Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900-2050 period. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(52), 20882-20887. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012878108>
- Branson, R. (2016). Re-constructing Kalundborg: The reality of bilateral symbiosis and other insights. *Journal of*

REFERENCES

- Cleaner Production*, 112, 4344-4352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.069>
- Bringezu, S. et Moriguchi, Y. (2002). Material Flow Analysis. Dans R. U. Ayres et L. Ayres (dir.), *A handbook of industrial ecology* (p. 79-90). Edward Elgar Publishing.
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoulaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Cellier, P., Machet, J. M., Meynard, J. M. et Delécolle, R. (1998). STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18(5-6), 311-346. <https://doi.org/10.1051/agro:19980501>
- Brulot, S. (2009). *Mise en œuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France : vers un outil méthodologique d'aide à la décision*.
- Brulot, S., Junqua, G. et Zuindeau, B. (2017). Écologie industrielle et territoriale à l'heure de la transition écologique et sociale de l'économie. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 5, 771-796. <https://doi.org/10.3917/reru.175.0771>
- Brun, F. (2018). *Freins et leviers à l'emploi de fertilisants à base d'urine humaine en agriculture en Île-de-France*.
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. http://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2017-08/rapport_brundtland.pdf
- Bruneval, M. et Pannetier, E. (2011). *COMETHE. Livrables 1, 7, 8 & 9. Méthodologie, diagnostic territorial, études de faisabilité et préconisations. Demarches EIT sur les territoires de l'Aube (ZI Torvilliers, Parc du Grand Troyes, Bassin Indus du Nogentais) (COMETHE)*.
- Buclet, N. (2011). *Écologie industrielle et territoriale, stratégies locales pour un développement durable*, (Septentrio).
- Buclet, N., Cerceau, J., Debuissou, M., Maillefert, M., Météreau, R., Pech, P. et Talandier, M. (2015). Création de richesses et réponses aux besoins de la population d'Aussois. Dans *Essai d'écologie territoriale* (p. 105-160).
- Bugge, M., Hansen, T. et Klitkou, A. (2016). What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability*, 8(7), 691. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Calisto Friant, M., Vermeulen, W. J. V. et Salomone, R. (2020). A typology of circular economy discourses: Navigating the diverse visions of a contested paradigm. *Resources, Conservation and Recycling*, 161(November 2019), 104917. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104917>
- Callon, M. (1986). *Elements pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. L'année sociologique*, 36, 40.
- Callon, M. (1994). L'innovation technologique et ses mythes. *Gérer & Comprendre, série trimestrielle des Annales des Mines*, 34, 1-15.
- Callon, M. (2006). Sociologie de l'acteur réseau. Dans M. Akrich, M. Callon et B. Latour (dir.), *Sociologie de la traduction* (p. 267-276).
- Callon, M., Lascoumes, P. et Barthe, Y. (2014). *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*. Points.
- Callon, M., Rip, A. et Joly, P.-B. (2022). Réinventer l'innovation ? *innovatiO, 1*(Innovation? une problématique pluridisciplinaire.). <http://innovacs-innovatio.upmf-grenoble.fr/index.php?id=252>
- Cangelosi, E., Cangelosi, E., Eau, L. et Rome, D. (2021). *L'Eau bien commun, bien public. Une réflexion à partir de la Rome ancienne*.
- Caniglia, G., Luederitz, C., von Wirth, T., Fazey, I., Martín-López, B., Hondrila, K., König, A., von Wehrden, H., Schöpke, N. A., Laubichler, M. D. et Lang, D. J. (2021). A pluralistic and integrated approach to action-oriented knowledge for sustainability. *Nature Sustainability*, 4(2), 93-100. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00616-z>
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., MacE, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S. et Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.

REFERENCES

- <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Carlile, P. R. (2002). A pragmatic view of knowledge and boundaries: Boundary objects in new product development. *Organization Science*, 13(4), 442-455+456. <https://doi.org/10.1287/orsc.13.4.442.2953>
- Carlile, P. R. (2004). Transferring, translating, and transforming: An integrative framework for managing knowledge across boundaries. *Organization Science*, 15(5), 555-568. <https://doi.org/10.1287/orsc.1040.0094>
- Carlos-Pinedo, S., Wang, Z., Eriksson, O. et Soam, S. (2020). Study of the digestion process at a full-scale solid-state biogas plant by using ORWARE: Model modification and implementation. *Waste Management*, 107, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.036>
- Castán Broto, V., Allen, A. et Rapoport, E. (2012). Interdisciplinary perspectives on urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6), 851-861. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x>
- CCI de France. (2016). *L'écologie Industrielle et Territoriale : retours d'expérience*, 1-20.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M. et Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5), 9-13. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>
- Cefaï, D. (2010). Comment se mobilise-t-on? *Sociologie et sociétés*, 41(2), 245-269. <https://doi.org/10.7202/039267ar>
- Cerceau, J. (2013). *L'écologie industrielle comme processus de construction territoriale : application aux espaces portuaires*.
- Cerceau, J. et Florentin, D. (2018). *Quand l'écologie façonne le territoire : controverses, jeux de pouvoir et dynamiques d'action collective autour du développement des filières chanvre et miscanthus dans la réserve de biosphère de Fontainebleau et du Gâtinais*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cerceau, J., Junqua, G., Gonzalez, C., Laforest, V. et Lopez-Ferber, M. (2014a). Quel territoire pour quelle écologie industrielle ? Contribution à la définition du territoire en écologie industrielle Contribution to the definition of territory in industrial ecology. *Développement durable et territoires*, 5(Vol. 5, n°1), 0-24. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10179>
- Cerceau, J., Mat, N. et Junqua, G. (2018). Territorial embeddedness of natural resource management: A perspective through the implementation of Industrial Ecology. *Geoforum*, 89(December 2016), 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.001>
- Cerceau, J., Mat, N., Junqua, G., Lin, L., Laforest, V. et Gonzalez, C. (2014b). Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. *Journal of Cleaner Production*, 74, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.050>
- CERVIA et ORDIF. (2012). *Etude de cas territoriale sur les déchets de petites entreprises alimentaires franciliennes*.
- Chabalier, P.-F., van de Kerchove, V. et Saint Macary, H. (2006). *Guide de la fertilisation organique à la Réunion*.
- Chambers, R. et Jiggins, J. (1987). Agricultural research for resource-poor farmers Part I: Transfer-of-technology and farming systems research. *Agricultural Administration and Extension*, 27(1), 35-52. [https://doi.org/10.1016/0269-7475\(87\)90008-0](https://doi.org/10.1016/0269-7475(87)90008-0)
- Chambre d'agriculture d'Ile-de-France. (2013). *Grandes cultures biologiques en Ile-de-France. Suivi de fermes de références. RESULTATS TECHNICO-ECONOMIQUES PLURIANNUELS 2005-2011*.
- Chambre d'agriculture occitanie. (2019). *Guide du compostage à la ferme*.
- Charvolin, F. (2003). *L'invention de l'environnement en France. Chroniques anthropologiques d'une institutionnalisation* (La Découverte).
- Chauvet, J.-M. (2020). Des industries agroalimentaires de première transformation aux bioraffineries : exemple de Bazancourt-Pomacle. Dans S. Baumberger (dir.), *Chimie verte et industries agroalimentaires* (chap. 14, p. 281-302). Sciences et Techniques Agroalimentaires.
- Chauvet, J.-M., Allais, F., Hénaff, Y. Le, Schieb, P.-A. et Théoleyre, M. (2013). La bioraffinerie de Bazancourt-

REFERENCES

- Pomacle: Une plate-forme d'innovation ouverte au cœur d'un complexe agro-industriel. *L'actualité chimique*, 375-376(Juin-Juillet-Août), 49-55.
- Chel, A. et Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 91-118. <https://doi.org/10.1051/agro/2010029>
- Chen, P., Anderson, E., Addy, M., Zhang, R., Cheng, Y., Peng, P., Ma, Y., Fan, L., Zhang, Y., Lu, Q., Liu, S., Zhou, N., Deng, X., Zhou, W., Omar, M., Griffith, R., Kabir, F., Lei, H., Wang, Y., ... Ruan, R. (2018). Breakthrough Technologies for the Biorefining of Organic Solid and Liquid Wastes. *Engineering*, 4(4), 574-580. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.07.004>
- Cheng, S. Y., Tan, X., Show, P. L., Rambabu, K., Banat, F., Veeramuthu, A., Lau, B. F., Ng, E. P. et Ling, T. C. (2020). Incorporating biowaste into circular bioeconomy: A critical review of current trend and scaling up feasibility. *Environmental Technology and Innovation*, 19, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101034>
- Chertow, M. et Ehrenfeld, J. (2012). Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 13-27. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x>
- Chertow, M. et Miyata, Y. (2011). Assessing collective firm behavior: Comparing industrial symbiosis with possible alternatives for individual companies in Oahu, HI. *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 266-280. <https://doi.org/10.1002/bse.694>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual review of energy environment*, 25, 313-337.
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>
- Chertow, M. R. et Lombardi, D. R. (2005). Quantifying economic and environmental benefits of co-located firms. *Environmental Science and Technology*, 39(17), 6535-6541. <https://doi.org/10.1021/es050050+>
- Chertow, M. R. et Park, J. (2016). *Taking Stock of Industrial Ecology*. *Taking Stock of Industrial Ecology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7>
- Chevalier, J. M. et Buckles, D. J. (2019). *Participatory Action Research*. Routledge.
- Clark, J. et Deswarte, F. (2015). *Introduction to Chemicals from Biomass. Second Edition*. John Wiley & Sons.
- Clark, W. C. et Dickson, N. M. (2003). Sustainability science: The emerging research program. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), 8059-8061. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231333100>
- Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T. H. et Damgaard, A. (2014). An environmental assessment system for environmental technologies. *Environmental Modelling & Software*, 60, 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.007>
- Clivot, H., Mouny, J. C., Duparque, A., Dinh, J. L., Denoroy, P., Houot, S., Vertès, F., Trochard, R., Bouthier, A., Sagot, S. et Mary, B. (2019). Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model. *Environmental Modelling and Software*, 118(April), 99-113. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.004>
- Comifer. (2009). *Teneur en P, K et Mg des organes végétaux récoltés*. COMIFER PKMg. file:///Users/DURU/Documents/Mendeley Desktop/tablesexportgrillescomifer2009.pdf
- Comifer. (2013a). *Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies*.
- Comifer. (2013b). *Teneurs en azote des organes végétaux récoltés pour les cultures de plein champ, les principaux fourrages et la vigne, 2013(1)*, 1-4.
- Comifer. (2019). *La fertilisation P – K – Mg - les bases du raisonnement*.
- Commission Européenne. (2008). *Règlement (CE) N° 889/2008 de la commission du 5 septembre 2008 ►B RÈGLEMENT (CE) N o 889/2008 DE LA COMMISSION du 5 septembre 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n o 834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquet*, 71.

REFERENCES

- ComMod Collectif et Bousquet, F. (2009). Chapitre 3. La posture d'accompagnement des processus de prise de décision : les références et les questions transdisciplinaires. Dans D. Hervé et F. Laloë (dir.), *Modélisation de l'environnement : entre natures et sociétés* (p. 71-89).
- Commons, J. R. (1934). *Institutional Economics*. Macmillan.
- Compostplus. (2020). *La collecte séparée des biodéchets, une solution d'avenir. Guide Pratique*.
- Cordell, D., Drangert, J. O. et White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2), 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>
- Cormier, O. (2018). *Diagnostic agricole de la plaine et des plateaux de Versailles*.
- Cornish, P. S. (2011). *Peak phosphorus : implications for agriculture*, 2015(2007), 1-17.
- Corvellec, H., Stowell, A. F. et Johansson, N. (2021). Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, jiec.13187. <https://doi.org/10.1111/jiec.13187>
- Costa, I. et Ferrão, P. (2010). A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11), 984-992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.007>
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. et van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature TA - TT -*, 387(6630), 253-260. <https://www-nature-com.ezproxy.royalroads.ca/articles/387253a0.pdf>
- Côté, R. P. et Cohen-Rosenthal, E. (1998). Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *Journal of Cleaner Production*, 6(3-4), 181-188. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(98\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(98)00029-8)
- Courdier, R., Guerrin, F., Andriamasinoro, F. H. et Paillat, J. M. (2002). Agent-based simulation of complex systems: Application to collective management of animal wastes. *Jasss*, 5(3).
- Crozier, M. et Friedberg, E. (1977). *L'Acteur et le Système* (Seuil).
- Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415(23). <https://doi.org/10.1038/415023a>
- Cutaia, L., Luciano, A., Barberio, G., Scaffoni, S., Mancuso, E., Scagliarino, C. et La Monica, M. (2015). The experience of the first industrial symbiosis platform in Italy. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(7), 1521-1533.
- D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B. D. et Toppinen, A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716-734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053>
- D'Amato, D. et Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy , circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*, 188(May), 107143. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>
- D'Amato, D., Veijonaho, S. et Toppinen, A. (2020). Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. *Forest Policy and Economics*, 110(December 2018), 101848. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.12.004>
- Dabert, P. (2015). *Final report - DIVA project - Caractérisation des Digestats et de leurs filières de Valorisation Agronomique*. solagro.org/images/imagesCK/files/publications/f2_diva-rapport-final-anr49-pages.pdf
- Dalemo, M., Sonesson, U., Björklund, A., Mingarini, K., Frostell, B., Jönsson, H., Nybrant, T., Sundqvist, J. O. et Thyselius, L. (1997). *ORWARE - A simulation model for organic waste handling systems. Part I: Model description. Resources, Conservation and Recycling*, 21(1), 17-37. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00020-7)
- Daniel, F. J. (2011). Action Research and Performativity: How Sociology Shaped a Farmers' Movement in The Netherlands. *Sociologia Ruralis*, 51(1), 17-34. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2010.00525.x>
- Darbelay, F. (2015). Rethinking inter- and transdisciplinarity: Undisciplined knowledge and the emergence of a new thought style. *Futures*, 65, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.10.009>
- Darré, J.-P. (2006). La recherche coactive de solutions entre agents de développement et agriculteurs. *Etudes et*

REFERENCES

- travaux, 112.
- David, M. (2008). Snowball Sampling. Dans L. M. Given (dir.), *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods* (p. 816-817). Sage Publications.
- Dawson, C. J. et Hilton, J. (2011). Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy*, 36(SUPPL. 1), S14-S22. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.012>
- Ddiba, D., Andersson, K., Koop, S. H. A., Ekener, E., Finnveden, G. et Dickin, S. (2020). Governing the circular economy: Assessing the capacity to implement resource-oriented sanitation and waste management systems in low- and middle-income countries. *Earth System Governance*, 4, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2020.100063>
- de Ruiz, R. H. (2013). *Ecologia Industrial: Avaliação do Ecopolo Industrial*. <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005828.pdf>
- De Vries, W., Kros, J., Kroeze, C. et Seitzinger, S. P. (2013). Assessing planetary and regional nitrogen boundaries related to food security and adverse environmental impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3-4), 392-402. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.004>
- Debatisse, M. (1980). Le Mur des estomacs et l'avenir agro-industriel : adaptation des matières premières agricoles aux transformations industrielles : conférences du colloque organisé à Paris, le 19 septembre 1980 sous la présidence de M. Debatisse / Association pour la promo. Paris : APRIA (dir.), .
- Deboutière, A., Fernandez-Inigo, H., Georgeault, L., Dermine-Brullot, S., Jambou, M., Savy, A. et Borde, C. (2017). *Programme National De Synergies Interentreprises*.
- Deboutière, A. et Georgeault, L. (2016). *Étude socio-économique et bilan matières de la région Aquitaine*, 44.
- Delmas, M. (2008). Vegetal refining and agrichemistry. *Chemical Engineering and Technology*, 31(5), 792-797. <https://doi.org/10.1002/ceat.200800052>
- Département des Yvelines. (2019). *Enquête publique E18000157 /78. Demande d'autorisation environnementale pour une installation de méthanisation de la société SEPUR. Rapport et conclusions du Commissaire enquêteur.*, 1-69.
- Depover, C., Karsenti, T. et Komis, V. (2018). L'usage des outils informatiques en analyse des données qualitatives. *Adjectif.net Mis*, (July), En ligne. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article216>
- Déry, P. et Anderson, B. (2007). Peak phosphorus Prospect of a Phosphorus Peak. *Energy Bulletin*, (August 13, 2007).
- Descola, P. (2005). *Par-delà Nature et Culture*. Gallimard.
- Desrochers, P. (2004). Industrial symbiosis: The case for market coordination. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 1099-1110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.008>
- Dhaouadi, A. K. (2014). *Insertion des Produits Résiduaire Organiques dans les systèmes de culture : Cas des systèmes céréaliers de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets*, 233 p.
- Di Méo, G. (2006). Territoires des acteurs, territoires de l'action. *Bulletin de la Société Géographique de Liège, Société Géographique de Liège*, (Bordeaux 3), 7-17.
- Di Méo, G. (2008). Une géographie sociale entre représentations et action. *Montagnes méditerranéennes et développement territorial, Institut de géographie alpine*, 13-21.
- DiMaggio, P. J. et Powell, W. W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147-160.
- Diwekar, U., Small, M. J. et Industrial. (2002). Process analysis approach to industrial ecology. Dans R. U. Ayres et L. Ayres (dir.), *A handbook of industrial ecology* (p. 114-137). Edward Elgar.
- Domecq, J.-P. (1989). Origine des excédents agricoles et leurs rôles dans l'économie française. *Économie Rurale*, 194(1), 29-33. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1989.4020>
- Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D. et Roman, L. (2019). Mapping Industrial

REFERENCES

- Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(August 2018), 76-98. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.016>
- Domenech, T. et Davies, M. (2011). Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 10, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.01.011>
- dos Muchangos, L. S., Tokai, A. et Hanashima, A. (2017). Stakeholder analysis and social network analysis to evaluate the stakeholders of a MSWM system – A pilot study of Maputo City. *Environmental Development*, 24(October 2016), 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.04.005>
- Douthwaite, B., de Haan, N. C., Manyong, V. et Keatinge, D. (2001). Blending « Hard » and « Soft » Science: the « Follow-the-Technolog » Approach to Catalyzing and Evaluating Technology Change. *Conservation Ecology*, 5(2), 13. <https://doi.org/10.5751/ES-00335-050213>
- Douthwaite, B., Ekboir, J. M., Twomlow, S. J. et Keatinge, J. D. H. (2009). The concept of integrated natural resource management (INRM) and its implications for developing evaluation methods. *Natural resource management in agriculture: methods for assessing economic and environmental impacts*, 321-340. <https://doi.org/10.1079/9780851998282.0321>
- Douthwaite, B. et Gummert, M. (2010). Learning selection revisited: How can agricultural researchers make a difference? *Agricultural Systems*, 103(5), 245-255. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.01.005>
- Douthwaite, B. et Hoffecker, E. (2017). Towards a complexity-aware theory of change for participatory research programs working within agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 155(April), 88-102. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.002>
- Douthwaite, B., Keatinge, J. D. H. et Park, J. R. (2002). Learning selection: An evolutionary model for understanding, implementing and evaluating participatory technology development. *Agricultural Systems*, 72(2), 109-131. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00071-3)
- Drangert, J.-O., Tonderski, K. et McConville, J. (2018). Extending the European Union Waste Hierarchy to Guide Nutrient-Effective Urban Sanitation toward Global Food Security—Opportunities for Phosphorus Recovery. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2(February), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00003>
- Duan, Y., Tarafdar, A., Kumar, V., Ganeshan, P., Rajendran, K., Shekhar Giri, B., Gómez-García, R., Li, H., Zhang, Z., Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Taherzadeh, M. J., Sarsaiya, S., Jain, A. et Kumar Awasthi, M. (2022). Sustainable biorefinery approaches towards circular economy for conversion of biowaste to value added materials and future perspectives. *Fuel*, 325(June). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124846>
- Dumoulin, F. (2016). *Evaluation environnementale d'un projet de symbiose industrielle territoriale. Application à un projet de gestion territorialisée de résidus organiques valorisés en agriculture dans l'ouest de la Réunion. PhD thesis.*
- Dumoulin, F., Wassenaar, T., Avadí, A. et Paillat, J. M. (2017). A Framework for Accurately Informing Facilitated Regional Industrial Symbioses on Environmental Consequences. *Journal of Industrial Ecology*, 21(5), 1049-1067. <https://doi.org/10.1111/jiec.12495>
- Duru, M., Therond, O. et Fares, M. (2015). Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237-1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Duygan, M., Stauffacher, M. et Meylan, G. (2021). What constitutes agency? Determinants of actors' influence on formal institutions in Swiss waste management. *Technological Forecasting and Social Change*, 162(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120413>
- Ehrenfeld, J. et Gertler, N. (1997). Industrial ecology in practice. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 67-79.
- Ehrenfeld, J. R. (2008). Advocacy and Objectivity in Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 10(4), 1968-1975. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00627-3>
- Eickhout, B., Bouwman, A. F. et van Zeijts, H. (2006). The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116(1-2), 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.009>
- Eider. (2020). *Base de données régionales et départementales sur l'environnement, le transport, l'énergie, le*

REFERENCES

- logement et la construction*, disponible sur. <http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/Eider/series.do>
- Elabras Veiga, L. B. et Magrini, A. (2009). Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 653-661. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.009>
- Eclipse. (2020). <http://www.referentiel-ellipse-eit.org/>.
- Ellen Macarthur Foundation. (2014). *Towards Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf
- Erkman, S. (2004). *Vers Une Ecologie Industrielle* (Editions C).
- Esculier, F. (2018). *Le système alimentation / excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques* [Université Paris-Est].
- Esculier, F., Le Noë, J., Barles, S., Billen, G., Créno, B., Garnier, J., Lesavre, J., Petit, L. et Tabuchi, J. P. (2018). The biogeochemical imprint of human metabolism in Paris Megacity: A regionalized analysis of a water-agro-food system. *Journal of Hydrology*, 573, 1028-1045. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.043>
- Etat Français et MAAF. (2017). *La stratégie nationale bioéconomie*, 2.
- Etienne, M. (2010). *La modélisation d'accompagnement Une démarche participative*. Quae.
- Étienne, M., Abrami, G., Allier, F., Arrault, S., Barnaud, C., Barreteau, O., Becu, N., Bommel, P., Bonté, B., Bousquet, F., Daré, W., Decourtye, A., Dionnet, M., Dray, A., Dumrongrojwathana, P., Gajaseni, N., Gourrat, M., Page, C. Le, Leteurtre, E., ... Rougier, J. (2015). *La modélisation d'accompagnement : partager des représentations, simuler des dynamiques* (vol. 4).
- Etter, B., Tilley, E., Khadka, R. et Udert, K. M. (2011). Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. *Water Research*, 45(2), 852-862. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.10.007>
- European Commission. (2018). *A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*. <https://doi.org/10.2777/478385>
- Eurostat. (2008). *Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne*.
- Farel, R., Charrière, B., Thevenet, C. et Yune, J. H. (2016). Sustainable manufacturing through creation and governance of eco-industrial parks. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 138(10). <https://doi.org/10.1115/1.4034438>
- Farinet, J.-L. (2013). *CompoModel v1. Modèle de simulation de compostage de matières organiques en mélange (non publié)*.
- Fatih Demirbas, M., Balat, M. et Balat, H. (2011). Biowastes-to-biofuels. *Energy Conversion and Management*, 52(4), 1815-1828. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.041>
- Fazey, I., Schöpke, N., Caniglia, G., Hodgson, A., Kendrick, I., Lyon, C., Page, G., Patterson, J., Riedy, C., Strasser, T., Verveen, S., Adams, D., Goldstein, B., Klaes, M., Leicester, G., Linyard, A., McCurdy, A., Ryan, P., Sharpe, B., ... Young, H. R. (2020). Transforming knowledge systems for life on Earth: Visions of future systems and how to get there. *Energy Research and Social Science*, 70(September), 101724. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101724>
- Feenberg, A. (2013). L'anthropologie et la question de la Nature. Réflexions sur L'Écologie des autres, de Philippe Descola. *Revue du MAUSS*, 42(2), 105-118. <https://doi.org/10.3917/rdm.042.0105>
- Fehrenbach, H., Köppen, S., Kauertz, B., Detzel, A., Wellenreuther, F., Breitmayer, E., Essel, R., Carus, M., Bienge, K. et von Geibler, J. (2017). *Biomass Cascade. Increasing resource efficiency by cascading use of biomass - from theory to practice*. *Educational Psychology Journal*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/biomassekaskaden-mehr-ressourceneffizienz-durch>

REFERENCES

- Feiferytė-Skirienė, A. et Stasiškienė, Ž. (2021). Seeking circularity: Circular urban metabolism in the context of industrial symbiosis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169094>
- Fellner, J., Lederer, J., Scharff, C. et Laner, D. (2017). Present Potentials and Limitations of a Circular Economy with Respect to Primary Raw Material Demand. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 494-496. <https://doi.org/10.1111/jiec.12582>
- Ferber, J. et Guérin, V. (2003). Représentations et simulation: de la modélisation à la mise en situation. Dans *Le statut épistémologique de la simulation. 10e journées de Rochebrune: rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels* (p. 85-98). École nationale supérieure des télécommunications.
- Fernandez-Mena, H., Nesme, T. et Pellerin, S. (2016). Towards an Agro-Industrial Ecology: A review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. *Science of the Total Environment*, 543, 467-479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.032>
- Feuerbach, B. et Homezi, E. B. (2021). *Étude de faisabilité pour l'implantation d'une unité de méthanisation sur la Plaine de Versailles Partie 1 : Estimation des gisements de matières sur la Plaine de Versailles et des territoires alentour*, 1-60.
- Fischer-Kowalski, M. et Haberl, H. (2007). *Socioecological Transitions and Global Change. Trajectories of Social Metabolism and Land Use* (vol. 2). Edward Elgar.
- Flichy, P. (2003). *L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation. Sciences et société* (vol. 13). <https://www.cairn.info/l-innovation-technique--9782707140005.htm>
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B. et Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3). <https://doi.org/10.5751/ES-08748-210341>
- Foster, J. B. (2002). Marx's Theory of Metabolic Rift: Classical Foundations for Environmental Sociology. *American Journal of Sociology*, 105(2), 366-405. <https://doi.org/10.1086/210315>
- Fox, N. J. (2008). Induction. Dans *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods. Volume 1 & 2*. (p. 429-430). Sage Publications.
- Fraccascia, L., Spagnoli, M., Riccini, L. et Nastasi, A. (2021). Designing the biomethane production chain from urban wastes at the regional level: An application to the Rome Metropolitan Area. *Journal of Environmental Management*, 297, 113328. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113328>
- Fraccascia, L., Yazdanpanah, V., Van Capelleveen, G. et Yazan, D. M. (2019). A framework for industrial symbiosis systems for agent-based simulation. *Proceedings - 21st IEEE Conference on Business Informatics, CBI 2019, 1*, 419-428. <https://doi.org/10.1109/CBI.2019.00055>
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management: a Stakeholder Approach*. Basic Books.
- Fressoz, J.-B. et Bonneuil, C. (2013). *L'événement anthropocène*.
- Fric, U. et Rončević, B. (2018). E-simbioza – leading the way to a circular economy through industrial symbiosis in Slovenia. *Socijalna Ekologija*, 27(2), 119-140. <https://doi.org/10.17234/SocEkol.27.2.1>
- Friedler, E., Butler, D. et Alfija, Y. (2013). Wastewater Composition. Dans T. A. Larsen, K. M. Udert et J. Lienert (dir.), *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management* (p. 241-257). IWA Publishing.
- Fuchs, J., Générumont, S., Houot, S., Jardé, É., Mollier, A., Ménasseri, S., Mollier, A., Morel, C., Parnaudeau, V., Pradel, M. et Vieublé, L. (2014). Chapitre 3 : Effets agronomiques attendus de l'épandage des Mafor sur les écosystèmes agricoles et forestiers. Dans S. Houot, M. N. Pons et M. Pradel (dir.), *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Expertise scientifique collective INRA-CNRS-Irstea* (chap. 3, p. 364-567). <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Expertise-Mafor-effluents-boues-et-dechets-organiques#%5Cnhttps://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Mafor>
- Funtowicz, S. O. et Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90022-L](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90022-L)
- Funtowicz, S. O. et Ravetz, J. R. (1994). The worth of a songbird: ecological economics as a post-normal science. *Ecological Economics*, 10(3), 197-207. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90108-2)

REFERENCES

- Gabriel, A. W. (2021). *Le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduelles en agriculture Thèse de doctorat.*
- Gabriel, A. W., Madelrieux, S. et Lescoat, P. (2020). A review of socio-economic metabolism representations and their links to action: Cases in agri-food studies. *Ecological Economics*, 178(July 2019), 106765. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106765>
- Gabrielle, B., Menasseri, S. et Houot, S. (1995). Analysis and Field Evaluation of the Ceres Models Water Balance Component. *Soil Science Society of America Journal*, 59(5), 1403-1412. <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900050029x>
- Gaglio, G. (2021). *Sociologie de l'innovation* (Que sais-j).
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erismann, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P. et Sutton, M. A. (2008). Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential. *Science*, 320(May), 889-892.
- Geels, F. W. et Kemp, R. (2007). Dynamics in socio-technical systems: Typology of change processes and contrasting case studies. *Technology in Society*, 29(4), 441-455. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2007.08.009>
- Geels, F. W. et Schot, J. (2007). *Typology of sociotechnical transition pathways*, 36(January), 399-417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Gentil, E. C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thorneloe, S., Kaplan, P. O., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, Y., Ii, R. et Christensen, T. H. (2010). Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Management*, 30(12), 2636-2648. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.004>
- Georgeault, L. (2015). *Le potentiel d'écologie industrielle en France : approche territoriale et éléments de réalisation.*
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and Economic Process.* (Harvard Un). Harvard University Press.
- Ghisellini, P., Cialani, C. et Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Giampietro, M. (2019). On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. *Ecological Economics*, 162(May), 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>
- Giampietro, M. et Funtowicz, S. O. (2020). From elite folk science to the policy legend of the circular economy. *Environmental Science and Policy*, 109(February), 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.012>
- Giampietro, M., Mayumi, K. et Ramos-Martin, J. (2009). Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. *Energy*, 34(3), 313-322. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.020>
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P. et Trow, M. (1994). *The new production of knowledge. The dynamics of science and research in contemporary societies.*
- Gibbs, D. et Deutz, P. (2007). Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production*, 15(17), 1683-1695. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.003>
- Gilly, J. P. et Torre, A. (2000). *Dynamiques de proximité.* Editions L'Harmattan.
- Girard, C. (2013). Démocratie délibérative. Dans I. Casillo, R. Barbier, L. Blondiaux, F. Chateauraynaud, J.-M. Fourniau, R. Lefebvre, C. Neveu et D. Salles (dir.), *Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation* (Paris, GIS). <http://www.dicopart.fr/fr/dico/democratie-deliberative>
- Given, L. M. (2008). *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods. Volume 1 & 2.* Sage Publications.
- Gnyawali, D. R. et Madhavan, R. (2001). Cooperative Networks and Competitive Dynamics: A Structural Embeddedness Perspective. *The Academy of Management Review*, 26(3), 431. <https://doi.org/10.2307/259186>
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F. et Roubelat, F. (2004). La Boîte à outils de prospective stratégique. *Lipsor working*

REFERENCES

- papers*, (5), 122.
- Goldstein, J. (1999). Emergence as a Construct: History and Issues. *Emergence*, 1(1), 49-72. https://doi.org/10.1207/s15327000em0101_4
- Golev, A. et Corder, G. D. (2012). Developing a classification system for regional resource synergies. *Minerals Engineering*, 29, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.10.018>
- González-Roof, Á., Mat, N. et Junqua, G. (2012). *Design and Assessment of Alternative Waste Management Systems*.
- Grabisch, M. et Perny, P. (2014). *Agrégation Multicritère*, (January 2003).
- Graedel, T. E. et Allenby, B. R. (1995). *Industrial ecology*.
- Granjou, C., Louvel, S. et Arpin, I. (2015). *Des promesses scientifiques aux engagements épistémiques Le cas de la nanomédecine et des sciences de la biodiversité*, 1-12.
- Granovetter, M. (1985). Economic Action and Social Structure: The Problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91(3), 481-510.
- Greco, S., Ehrgott, M. et Figueira, J. R. (2016). *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys*. Springer.
- Grenni, S., Horlings, L. G. et Soini, K. (2020). Linking spatial planning and place branding strategies through cultural narratives in places. *European Planning Studies*, 28(7), 1355-1374. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1701292>
- Grillot, M., Ruault, J., Bray, F., Torre, A. et Madelrieux, S. (2019). Caractériser la biomasse d'origine agricole à l'échelle locale. Dans *La Bioéconomie : organisation, innovation, soutenabilité et territoire*.
- Grisoni, A. et Némoz, S. (2017). Les mouvements sociaux écologistes : entre réforme de soi et rapports de classe, entre histoires nationales et circulations européennes. *Socio-logos*, (12), 1-15. <https://doi.org/10.4000/socio-logos.3145>
- Groupe de Travail PyroGaz. (2015). *Pyrolyse et Gazéification, une filière complémentaire pour la transition énergétique et le développement de l'économie circulaire.*, 1-47.
- Guerrin, F. (2001). Magma: A simulation model to help manage animal wastes at the farm level. *Computers and Electronics in Agriculture*, 33(1), 35-54. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(01\)00171-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(01)00171-5)
- Guerrin, F. (2007). *Représentation des connaissances pour la décision et pour l'action*.
- Guerrin, F. (2009). Dynamic simulation of action at operations level. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 18(1), 156-185. <https://doi.org/10.1007/s10458-008-9060-y>
- Guerrin, F., Aubry, C., Akkal-Corfini, N., Paillat, J.-M. et Parnaudeau, V. (2016). Stocker, transporter et épandre les produits résiduels organiques. Dans H. Jarousseau, S. Houot, J.-M. Paillat et H. Saint-Macary (dir.), *Le recyclage des résidus organiques. Regards sur une pratique agro-écologique*.
- Gutés, M. C. (1996). The concept of weak sustainability. *Ecological Economics*, 17(3), 147-156. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(96\)80003-6](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(96)80003-6)
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. et Winiwarter, V. (2016). *Social Ecology. Society-Nature Relations across Time and Space. Social Ecology*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33326-7_22
- Haider, L. J., Hentati-Sundberg, J., Giusti, M., Goodness, J., Hamann, M., Masterson, V. A., Meacham, M., Merrie, A., Ospina, D., Schill, C. et Sinare, H. (2018). The undisciplined journey: early-career perspectives in sustainability science. *Sustainability Science*, 13(1), 191-204. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0445-1>
- Halloy, J., Nova, N. et Monnin, A. (2020). Au-delà du low tech. Technologies zombies, soutenabilité et inventions. *Ritimo*, 21. <https://www.ritimo.org/Au-dela-du-low-tech-technologies-zombies-soutenabilite-et-inventions>
- Hannachi, M. (2011). *La coopération au service du bien commun. Les stratégies des entreprises de collecte et de stockage de céréales face aux OGM*. http://www.inra.fr/sciences_action_developpement/content/download/4333/45120/version/1/file/These_Hannachi_2011.pdf

REFERENCES

- Haraway, D. (1988). Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. *Feminist Studies*, 14(3), 575. <https://doi.org/10.2307/3178066>
- Harchaoui, S. (2020). *Modélisation des transitions en agriculture : énergie , azote , et capacité nourricière de la France dans la longue durée (1882-2016) et prémices pour une généralisation à l'échelle mondiale.*
- Harchaoui, S. et Chatzimpiros, P. (2019). Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882–2013. *Journal of Industrial Ecology*, 23(2), 412-425. <https://doi.org/10.1111/jiec.12760>
- Harder, R., Giampietro, M., Mullinix, K. et Smukler, S. (2021a). Assessing the circularity of nutrient flows related to the food system in the Okanagan bioregion, BC Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, 174(January), 105842. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105842>
- Harder, R., Giampietro, M. et Smukler, S. (2021b). Towards a circular nutrient economy. A novel way to analyze the circularity of nutrient flows in food systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 172(May), 105693. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105693>
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Harris, S., Martin, M. et Diener, D. (2021). Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 172-186. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.018>
- Hatchuel, A. (1999). Connaissances, modèles d'interaction et rationalisations - De la théorie de l'entreprise à l'économie de la connaissance. *Revue d'économie industrielle*, 88(1), 187-209. <https://doi.org/10.3406/rei.1999.1750>
- Hatchuel, A., Agrell, P. et Van Gigch, J. P. (1987). Innovation as system intervention. *Systems Research*, 4(1), 5-11. <https://doi.org/10.1002/sres.3850040102>
- Hauschild, M. Z. (2017). *Introduction to LCA methodology. Life Cycle Assessment: Theory and Practice.* https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_6
- Hein, A. M., Jankovic, M., Feng, W., Farel, R., Yune, J. H. et Yannou, B. (2017). Stakeholder power in industrial symbioses: A stakeholder value network approach. *Journal of Cleaner Production*, 148, 923-933. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.136>
- Hélias, A. et Heijungs, R. (2019). Resource depletion potentials from bottom-up models : Population dynamics and the Hubbert peak theory. *Science of the Total Environment*, 650, 1303-1308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.119>
- Henriques, J., Ferrão, P., Castro, R. et Azevedo, J. (2021). Industrial symbiosis: A sectoral analysis on enablers and barriers. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su13041723>
- Hess, G. (2010). The Ecosystem: Model or Metaphor. *Journal of Industrial Ecology*, 14(2), 270-285. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00226.x>
- Hewes, A. et Lyons, D. I. (2008). The humanistic side of eco-industrial parks: Champions and the role of trust. *Regional Studies*, 42(10), 1329-1342. <https://doi.org/10.1080/00343400701654079>
- Hodgson, G. (2007). What are institutions? *Voprosy Ekonomiki*, 2007(8), 28-48. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2007-8-28-48>
- Hoffecker, E. (2021). Understanding inclusive innovation processes in agricultural systems : A middle-range conceptual model. *World Development*, 140, 105382. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105382>
- Holling, C. S. et Meffe, G. K. (1996). Society for Conservation Biology Command and Control and the Pathology of Natural Resource Management. *Source: Conservation Biology*, 10(2), 328-337. <http://www.jstor.org/stable/2386849%5Cnhttp://www.jstor.org/page/>
- Holm, P. (1999). The Dynamics of Institutionalization: Transformation Processes in Norwegian Fisheries. *Administrative Science Quarterly*, 40(3), 398. <https://doi.org/10.2307/2393791>
- Hopoğlu, S. et Sevinç, D. E. (2020). *Regions and sustainable development. Regional Imbalances and Regional*

REFERENCES

Development Policies: Turkey Experience (vol. 1).

- Horlings, L. G. et Marsden, T. K. (2011). Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could « feed the world ». *Global Environmental Change*, 21(2), 441-452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- Horlings, L. G., Nieto-Romero, M., Pisters, S. et Soini, K. (2020). Operationalising transformative sustainability science through place-based research: the role of researchers. *Sustainability Science*, 15(2), 467-484. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00757-x>
- Houot, S., Levavasseur, F., Resseguier, C., Cheviron, N., Menasseri, S., Akkal, N., Morvan, T., Théron, O., Misslin, R., Villerd, J., Montenanch, D., Clivot, H., Girault, R., Barré, P., Delahaye, A., Cécillon, L., Bourgeteau-Sadet, S., Schaub, A., Chauvin, C., ... Paillat, J. (2021). *PROTERR. Optimisation de l'insertion des Produits Résiduaires Organiques dans les systèmes de culture comme levier des services écosystémiques rendus par les sols à l'échelle territoriale. Rapport Final.*
- Huang, S., Zheng, X., Luo, L., Ni, Y., Yao, L. et Ni, W. (2021). Biostimulants in bioconversion compost of organic waste: A novel booster in sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 319(August), 128704. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128704>
- Huault, I. (2012). Paul DiMaggio et Walter Powell. Des organisations en quête de légitimité. *Les grands auteurs en management*, 18. http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/67/17/97/PDF/DiMaggio_Powell.pdf
- Icare & Consult. (2020). *Etude prospective fixant des objectifs stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables. Rapport final.*
- Institut de l'économie Circulaire. (2017). *Initiatives Inter-Entreprises.*
- Institut Paris Région. (2022). *Réseau d'Observation Statistique de l'Energie et des émissions de gaz à effet de serre en Île-de-France (ROSE).*
- IPCC. (2021a). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Technical Summary.*
- IPCC. (2021b). *Climate change 2021. The physical science basis.* Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers.*
- Irwin, E. G., Culligan, P. J., Fischer-Kowalski, M., Law, K. L., Murtugudde, R. et Pfirman, S. (2018). Bridging barriers to advance global sustainability. *Nature Sustainability*, 1(7), 324-326. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0085-1>
- Ison, R. L. (2008). Systems thinking and practice for action research. Dans P. W. Reason et H. Bradbury (dir.), *The Sage Handbook of Action Research Participative Inquiry and Practice (2nd edition)* (chap. Systems th, p. 139-158). Sage Publications. <http://www.sagepub.co.uk/booksProdDesc.nav?prodId=Book209859%0Ahttp://oro.open.ac.uk/10576/>
- Ison, R. L. (2016). Transforming nature-society relations through innovations in research praxis: A co-evolutionary systems approach. *Interdisciplinarités entre Natures et Sociétés*, (i), 47-70. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3726/978-3-0352-6633-7>
- Jacobsen, N. B. (2006). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1), 239-255. <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>
- Jarousseau, H., Saint-Macary, H., Houot, S. et Paillat, J.-M. (2016). *Le recyclage des résidus organiques: Regards sur une pratique agro-écologique* (Quae).
- Jarre, M., Petit-Boix, A., Priefer, C., Meyer, R. et Leipold, S. (2020). Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading? *Forest Policy and Economics*, 110(August 2018), 101872. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.01.017>
- Jensen, P. D., Basson, L., Hellowell, E. E., Bailey, M. R. et Leach, M. (2011). Quantifying « geographic proximity »: Experiences from the United Kingdom's National Industrial Symbiosis Programme. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.003>
- Johansen, K. et Upham, P. (2019). The post-normal politics and science of wind power planning: Evidence from a

REFERENCES

- Danish near-shore wind farm tender. *Energy Research and Social Science*, 53(September 2018), 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.007>
- Joly, P.-B. (2010). On the Economics of Techno-scientific Promises. Dans M. Akrich, Y. Barthe, F. Muniesa et P. Mustar (dir.), *Débordements. Mélanges offerts à Michel Callon*. (Presse des, p. 203-222). https://doi.org/10.1007/978-1-349-13693-3_2
- Joncoux, S. (2014). Les "produits résiduels organiques" pour une intensification écologique de l'agriculture : ressources, déchets ou produits ? : sociologie des formats de valorisation agricole. *Thesis*, 415.
- Junqua, G., Cerceau, J. et Gonzalez, C. (2012). *La détermination des unités fonctionnelles d'un territoire, première étape pour appliquer l'analyse de cycle de vie à l'échelle territoriale*, 3-8.
- Kahiluoto, H., Kuisma, M., Kuokkanen, A., Mikkilä, M. et Linnanen, L. (2014). Taking planetary nutrient boundaries seriously: Can we feed the people? *Global Food Security*, 3(1), 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2013.11.002>
- Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., Mccarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Narpat, S., Kaspersen, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., ... Iii, B. M. (2001). Sustainability Science. *Science*, 292(5517), 641-642.
- Kebir, L., Nahrath, S. et Wallet, F. (2019). Éditorial. *Espaces et sociétés*, n° 175(4), 7-17. <https://doi.org/10.3917/esp.175.0007>
- Kirchherr, J., Reike, D. et Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(April), 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kirchmann, H., Börjesson, G., Kätterer, T. et Cohen, Y. (2017). From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: A soil science outlook. *Ambio*, 46(2), 143-154. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0816-3>
- Komendantova, N. et Battaglini, A. (2016). Beyond Decide-Announce-Defend (DAD) and Not-in-My-Backyard (NIMBY) models? Addressing the social and public acceptance of electric transmission lines in Germany. *Energy Research and Social Science*, 22, 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.10.001>
- Koppelmäki, K., Helenius, J. et Schulte, R. P. O. (2021). Nested circularity in food systems: A Nordic case study on connecting biomass, nutrient and energy flows from field scale to continent. *Resources, Conservation and Recycling*, 164(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105218>
- Korhonen, J. (2001). Co-production of heat and power: An anchor tenant of a regional industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 9(6), 509-517. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00009-9)
- Korhonen, J., Honkasalo, A. et Seppälä, J. (2018a). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A. et Birkie, S. E. (2018b). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
- Krausmann, F., Schandl, H. et Siefert, R. P. (2008). Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom. *Ecological Economics*, 65(1), 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.009>
- Kudo, S. et Mino, T. (2020). *Framing in Sustainability Science*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9061-6_1
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. The University of Chicago Press. The University of Chicago Press.
- La Fabrique Ecologique. (2019). *Vers des technologies sobres et résilientes – Pourquoi et comment développer l'innovation « low-tech » ?*, 1-30. <https://www.lafabriqueecologique.fr/vers-des-technologies-sobres-et-resilientes-pourquoi-et-comment-developper-linnovation-low-tech/>
- Labatut, J. (2009). *Gérer des biens communs: processus de conception et régimes de coopération dans la gestion des ressources génétiques animales*.
- Laganier, R., Villalba, B. et Zuindeau, B. (2002). Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire. *Développement durable et territoires*, (Dossier 1), 0-19. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.774>

REFERENCES

- Laibach, N., Börner, J. et Bröring, S. (2019). Exploring the future of the bioeconomy: An expert-based scoping study examining key enabling technology fields with potential to foster the transition toward a bio-based economy. *Technology in Society*, 58(November 2018), 101118. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.03.001>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C. et Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Lambert, A. J. D. et Boons, F. A. (2002). Eco-industrial parks: Stimulating sustainable development in mixed industrial parks. *Technovation*, 22(8), 471-484. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(01\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(01)00040-2)
- Langeveld, H., Meeusen, M. et Sanders, J. (2010). *The Biobased Economy* (Earthscan,). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849774802>
- Laumann, E. O., Marsden, P. V. et Prenskey, D. (1983). The Boundary Specification Problem in Network Analysis. *Boundary Specification*, (January 1983), 18-34.
- Lavelle, P. (2007). Cycle des principaux nutriments (azote, phosphore et soufre) à l'échelle planétaire. Dans G. Pédro (dir.), *Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux* (p. 49-73).
- Le Velly, R. (2002). La notion d'encastrement : une sociologie des échanges marchands. *Sociologie du Travail, Association pour le développement de la sociologie du travail*, 44(1), 37-53. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(01\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(01)00040-2)
- Leech, N. L. et Onwuegbuzie, A. J. (2011). Beyond Constant Comparison Qualitative Data Analysis: Using NVivo. *School Psychology Quarterly*, 26(1), 70-84. <https://doi.org/10.1037/a0022711>
- Lefèvre, L. (2015). *ÉVALUATION DE SYSTÈMES DE CULTURE : Évaluation multicritère de la durabilité économique, sociale et environnementale de quatre systèmes de culture innovants, après un cycle de rotation, en comparaison à une gamme de systèmes de culture de référence région.*
- Lefèvre, M. et Luzi, J. (2017). Homo industrialis , ou le culte funeste de l'artificiel. *Ecologie & politique*, 55(2), 19. <https://doi.org/10.3917/ecop1.055.0019>
- Leipold, S. et Petit-Boix, A. (2018). The circular economy and the bio-based sector - Perspectives of European and German stakeholders. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1125-1137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.019>
- Les Greniers d'Abondance. (2020). *Vers la résilience alimentaire. Faire face aux menaces globales à l'échelle des territoires*, 175.
- Lescoat, P., Madelrieux, S. et Grillot, M. (2019). *Bioéconomie, une opportunité pour les territoires qui fait appel à des approches intégrées. Quelles représentations des biomasses et de leurs gestions ?*
- Levi, P. G. et Cullen, J. M. (2018). Mapping Global Flows of Chemicals: From Fossil Fuel Feedstocks to Chemical Products. *Environmental Science and Technology*, 52(4), 1725-1734. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04573>
- Levis, J. W., Barlaz, M. A., DeCarolis, J. F. et Ranjithan, S. R. (2014). Systematic Exploration of Efficient Strategies to Manage Solid Waste in U.S. Municipalities: Perspectives from the Solid Waste Optimization Life-Cycle Framework (SWOLF). *Environmental Science & Technology*, 48(7), 3625-3631. <https://doi.org/10.1021/es500052h>
- Lévy, J.-C. (2009). *L'économie circulaire : l'urgence écologique ? Monde en transe, Chine en transit* (Presse des).
- Lifset, R. (1997). A metaphor, a field, and a journal. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 1-3.
- Lifset, R. et Graedel, T. E. (2002). Industrial ecology: Goals and definitions. Dans R. U. Ayres et L. Ayres (dir.), *A handbook of industrial ecology* (p. 3-15). Edward Elgar Publishing.
- Liobikiene, G., Balezentis, T., Streimikiene, D. et Chen, X. (2019). Evaluation of bioeconomy in the context of strong sustainability. *Sustainable Development*, 27(5), 955-964. <https://doi.org/10.1002/sd.1984>
- Loiseau, E., Aissani, L., Le Féon, S., Laurent, F., Cerceau, J., Sala, S. et Roux, P. (2018). Territorial Life Cycle Assessment (LCA): What exactly is it about? A proposal towards using a common terminology and a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 176, 474-485. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.169>
- Loiseau, E., Roux, P., Junqua, G., Maurel, P. et Bellon-Maurel, V. (2014). Implementation of an adapted LCA

REFERENCES

- framework to environmental assessment of a territory: Important learning points from a French Mediterranean case study. *Journal of Cleaner Production*, 80, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.059>
- Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P. et Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>
- Lowe, E. A. (2001). *Eco-industrial Park Handbook for Asian Developing Countries*. www.indigodev.com
- Luhmann, N. (2009). Self-Organization and Autopoiesis. Dans *Emergence and Embodiment* (p. 143-156). Duke University Press. <https://doi.org/10.1515/9780822391388-009>
- Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D. et Zhu, Y. G. (2009). An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2524-2530. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.011>
- MacDonald, G. K., Bennett, E. M., Potter, P. A. et Ramankutty, N. (2011). Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 3086-3091. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010808108>
- Mackensen, K. et Wille, U. (1999). Qualitative text analysis supported by conceptual data systems. *Quality and Quantity*, 33(2), 135-156. <https://doi.org/10.1023/A:1004305723553>
- Madelrieux, S., Buclet, N., Lescoat, P. et Moraine, M. (2017a). Caractériser les formes d'interaction entre filières agricoles et territoires: quelles méthodes? *Cahiers Agricultures*, 26(2), 0-9. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017014>
- Madelrieux, S., Buclet, N., Lescoat, P. et Moraine, M. (2017b). Écologie Et Économie Des Interactions Entre Filières Agricoles Et Territoire: Quels Concepts Et Cadre D'Analyse? *Cahiers Agricultures*, 26(2). <https://doi.org/10.1051/cagri/2017013>
- Madi Arithi, H. (2021). *Ingénierie des déchets agricoles et alimentaires : diagnostic à l'échelle d'un territoire*.
- Madsen, S. H. J. (2022). A constructivist approach to the spatial organization of transformative innovation policy. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42(April 2021), 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.01.007>
- Magdoff, F., Lanyon, L. et Liebhardt, B. (1997). Nutrient Cycling, Transformations, and Flows: Implications for A More Sustainable Agriculture (p. 1-73). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60600-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60600-8)
- Mangel, M. et Samaniego, F. J. (1984). Abraham Wald's work on aircraft survivability. *Journal of the American Statistical Association*, 79(386), 259-267. <https://doi.org/10.1080/01621459.1984.10478038>
- Mannino, I., Ninka, E., Turvani, M. et Chertow, M. (2015). The decline of eco-industrial development in Porto Marghera, Italy. *Journal of Cleaner Production*, 100, 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.054>
- Mantese, G. C. et Amaral, D. C. (2018). Agent-based simulation to evaluate and categorize industrial symbiosis indicators. *Journal of Cleaner Production*, 186, 450-464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.142>
- Marois, A. (2019). *Rapport d'Alain Marois Pour un pacte de confiance*.
- Martin, M. et Eklund, M. (2011). Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1747-1755. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.016>
- Martin, T. (2017). *Valorisation des urines humaines comme source d'azote : une expérimentation en serre*, 65. [http://files/2092/Valorisation des urines humaines comme source d'az.pdf](http://files/2092/Valorisation%20des%20urines%20humaines%20comme%20source%20d'az.pdf)
- Martin, T. M. P., Esculier, F., Levavasseur, F. et Houot, S. (2020). Human urine-based fertilizers: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 0(0), 1-47. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1838214>
- Masood, M., Barlow, C. Y. et Wilson, D. C. (2014). An assessment of the current municipal solid waste management system in Lahore, Pakistan. *Waste Management and Research*, 32(9), 834-847. <https://doi.org/10.1177/0734242X14545373>
- Mat, N., Cerceau, J., Junqua, G., Duret, B., Magraine, F., Bahers, J.-B. et Julien-Saint Amand, F. (2012). *Rapport*

REFERENCES

Final du projet Depart : De la Gestion des déchets à l'économie circulaire, étude de l'émergence de nouvelles dynamiques partenariales Cas pratiques et perspectives dans les territoires portuaires.

- Matassa, S., Batstone, D. J., Schnoor, J. et Verstraete, W. (2015). *Can Direct Conversion of Used Nitrogen to New Feed and Protein Help Feed the World?* <https://doi.org/10.1021/es505432w>
- Maurer, M., Pronk, W. et Larsen, T. A. (2006). Treatment processes for source-separated urine. *Water Research*, 40(17), 3151-3166. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.07.012>
- Mazoyer, M. et Roudart, L. (2002). *Histoire des agricultures du monde du néolithique à la crise contemporaine* (Seuil).
- Mazoyer, M. et Roudart, L. (2019). *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine.*
- McDowall, W., Geng, Y., Huang, B., Barteková, E., Bleischwitz, R., Türkeli, S., Kemp, R. et Doménech, T. (2017). Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 651-661. <https://doi.org/10.1111/jiec.12597>
- McGee, M. C. (1980). The "ideograph": A link between rhetoric and ideology. *Quarterly Journal of Speech*, 66(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/00335638009383499>
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems*. Chelsea Green.
- Meadows, D. H., Meadows, D., Randers, J. et Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to Growth : a Report for The Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books.
- Meerow, S. et Newell, J. P. (2015). Resilience and Complexity: A Bibliometric Review and Prospects for Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 19(2), 236-251. <https://doi.org/10.1111/jiec.12252>
- Mendes, C., Esquerre, K. et Matos Queiroz, L. (2015). Application of Anaerobic Digestion Model No. 1 for simulating anaerobic mesophilic sludge digestion. *Waste Management*, 35(1), 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.013>
- Merli, R., Preziosi, M. et Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- Mermet, L. (2006). La « concertation » : un terme flottant pour un domaine mouvant ? *Négociations*, 5(1), 75. <https://doi.org/10.3917/neg.005.0075>
- Mermet, L. (2019). Place et conduite de la négociation dans les processus de décision complexe. *Négociations*, n° 32(2), 11-33. <https://doi.org/10.3917/neg.032.0011>
- Mermet, L., Billé, R., Leroy, M., Narcy, J. et Poux, X. (2005). L'analyse stratégique de la gestion environnementale : un cadre théorique pour penser l'efficacité en matière d'environnement. *Sciences-New York*, 137, 127-137. <https://doi.org/10.1051/nss>
- Meyer, J. et Rowan, B. (1977). Institutionalized Organizations: Formal Structure as Myth and Ceremony (translated by Igor Chirikov). *The American Journal of Sociology*, 83(2), 340-363.
- Mikhaylov, A. S. (2018). Socio-spatial dynamics, networks and modelling of regional milieu. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 5(4), 1020-1030. [https://doi.org/10.9770/jesi.2018.5.4\(22\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2018.5.4(22))
- Ministère de l'Agriculture et de L'Alimentation. (2018). *Une stratégie bioéconomique pour la France. Plan d'action 2018-2020*, 12.
- Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie. (2012). *Réduction du gaspillage alimentaire. Etat des lieux et pistes d'actions.*
- Ministère de la transition écologique et solidaire. (2019). *Plan National De Gestion Des Déchets.*
- Mirata, M. (2004). Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: Determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 967-983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.031>
- Mishenin, Y., Koblianska, I., Medvid, V. et Maistrenko, Y. (2018). Sustainable regional development policy formation: Role of industrial ecology and logistics. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 6(1), 329-341. [https://doi.org/10.9770/jesi.2018.6.1\(20\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2018.6.1(20))

REFERENCES

- Mogashoa, T. (2014). Understanding Critical Discourse Analysis in Qualitative Research Understanding Critical Discourse Analysis in Qualitative. *International Journal of Humanities Social Sciences and Education*, 1(7), 104-113.
- Moinard, V. (2018). *Characterization of organic resources and their uses in fertilisation practices in the territory of Plaine de Versailles*.
- Moinard, V., Levavasseur, F. et Houot, S. (2021a). (SUPPLEMENTARY MATERIAL) Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105523. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344921001300>
- Moinard, V., Levavasseur, F. et Houot, S. (2021b). Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation & Recycling*, 169(July 2020), 105523. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105523>
- Moine, A. (2006). Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. *L'espace géographique*, 35, 115-132. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00867363>
- Mokyr, J. (1992). *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press, USA.
- Mollinga, P. P. (2010). Boundary work and the complexity of natural resources management. *Crop Science*, 50(March 2010), S-1-S-9. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.10.0570>
- Moore, M. L., Tjornbo, O., Enfors, E., Knapp, C., Hodbod, J., Baggio, J. A., Norström, A., Olsson, P. et Biggs, D. (2014). Studying the complexity of change: Toward an analytical framework for understanding deliberate social-ecological transformations. *Ecology and Society*, 19(4). <https://doi.org/10.5751/ES-06966-190454>
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., Powell, F. E., Geronimo, R. C., Bielecki, C. R., Counsell, C. W. W., Dietrich, B. S., Johnston, E. T., Louis, L. V., Lucas, M. P., Mckenzie, M. M., Shea, A. G., Tseng, H., Giambelluca, T. W., Leon, L. R., Hawkins, E. et Trauernicht, C. (2017). Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7(7), 501-506. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- Morel, C., Houot, S., Montenach, D., Michaud, A., Hammel, F., Mercier, V. et Denoroy, P. (2017). *Dynamique à long terme du phosphore dans deux essais au champ du réseau SOERE-PRO*, (January), 1-12.
- Morse, J. (2015a). Critical analysis of strategies for determining rigor in qualitative inquiry. Dans C. A. C. Puebla, M. G. A. Pech et Y. O. Peña (dir.), *Salud intercultural. Creando puentes a partir de la investigación cualitativa* (p. 17-38).
- Morse, J. M. (2015b). Data were saturated... *Qualitative Health Research*, 25(5), 587-588. <https://doi.org/10.1177/1049732315576699>
- Morse, J. M. et Mitcham, C. (2002). Exploring Qualitatively-Derived Concepts: Inductive—Deductive Pitfalls. *International Journal of Qualitative Methods*, 1(4), 28-35. <https://doi.org/10.1177/160940690200100404>
- Mortensen, L. et Kørnøv, L. (2019). Critical factors for industrial symbiosis emergence process. *Journal of Cleaner Production*, 212, 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222>
- Nahrath, S., Varone, F. et Gerber, J.-D. (2009). Les espaces fonctionnels : nouveau référentiel de la gestion durable des ressources ? *Vertigo*, (Volume 9 Numéro 1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.8510>
- Neumayer, E. (2013). *Weak versus Strong Sustainability. Weak versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms* (vol. fourth ed.). Edward Elgar.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G. et Matias, J. C. O. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., Pimentel, C. et Matias, J. C. O. (2019). The Potential of Industrial Symbiosis: Case Analysis and Main Drivers and Barriers to Its Implementation. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24), 1-68. <https://doi.org/10.3390/su11247095>
- Ng, H. S., Kee, P. E., Yim, H. S., Chen, P. T., Wei, Y. H. et Chi-Wei Lan, J. (2020). Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. *Bioresour Technology*, 302(135), 122889. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122889>

REFERENCES

- Nieddu, M., Garnier, E. et Bliard, C. (2010). L'émergence d'une chimie doublement verte. *Revue d'Economie Industrielle*, 132(4), 53-84. <https://doi.org/10.4000/rei.4355>
- Noirot-Cosson, P.-E. (2016). *Optimisation de l'insertion des Produits RésiduaireS Organiques dans les systèmes de cultures d'un territoire francilien: évolution des stocks de carbone organique des sols et substitution des engrais minéraux.*
- Nuhoff-Isakhanyan, G., Wubben, E. F. M., Omta, O. S. W. F. et Pascucci, S. (2017). Network structure in sustainable agro-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1209-1220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.196>
- O'Neil Green, D. (2008). Categories. Dans *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods. Volume 1 & 2.* (p. 71-72). Sage Publications.
- Odum, E. P. (1953). *Fundamentals of Ecology.* Saunders.
- Odum, E. P. et Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of Ecology. Fifth Edition.* Cengage.
- Odum, H. T. (2007). *Environment, power and society for the twenty-first century. The hierarchy of energy.*
- OECD. (2004). Biotechnology for Sustainable Growth and Development. Organization of Economic Cooperation and Development. *Meeting of the OECD committee for scientific and technological policy at ministerial level.*
- Olson, M. (1965). *The Logic of Collective Action. Public goods and the theory of groups.* Sociology. Harvard University Press. <https://doi.org/10.1177/003803856700100307>
- ORDIF. (2013). *Les DAE non dangereux produits en Île-de-France : Industrie, commerces, services.*
- Orée. (2013). *Référentiel ELIPSE : Evaluation des PerformanceS des démarches d'Ecologie industrielle et territoriale*, 1-60.
- Orée. (2016). *Le recueil des démarches d'écologie industrielle et territoriale*, 1-75.
- Orée. (2020). *Etat des lieux de l'écologie industrielle et territoriale en France : Evaluation, maturité, pérennité.*
- Ostrom, E. (2015). *Governing the commons. The evolution of institutions for collective action* (Cambridge). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.4135/9781446200964.n32>
- Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management*, 21(1), 49-62. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4>
- Pahun, J., Fouilleux, E. et Daviron, B. (2018). De quoi la bioéconomie est-elle le nom? Genèse d'un nouveau référentiel d'action publique. *JRC Technical Reports*, 26.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2016). *L'analyse qualitative en Sciences Humaines et Sociales. Fourth ed.* Armand Colin.
- Pakarinen, S., Mattila, T., Melanen, M., Nissinen, A. et Sokka, L. (2010). Sustainability and industrial symbiosis-The evolution of a Finnish forest industry complex. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1393-1404. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.015>
- Panyathanakun, V., Tantayanon, S., Tingsabhat, C. et Charmondusit, K. (2013). Development of eco-industrial estates in Thailand: Initiatives in the northern region community-based eco-industrial estate. *Journal of Cleaner Production*, 51, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.033>
- Paquin, R. L. et Howard-Grenville, J. (2012). The Evolution of Facilitated Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 83-93. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00437.x>
- Parajuli, R., Dalgaard, T., Jørgensen, U., Adamsen, A. P. S., Knudsen, M. T., Birkved, M., Gylling, M. et Schjørring, J. K. (2015). Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 244-263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.041>
- Park, H. S., Rene, E. R., Choi, S. M. et Chiu, A. S. F. (2008). Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea-From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.045>

REFERENCES

- Park, J. M., Park, J. Y. et Park, H. S. (2016). A review of the National Eco-Industrial Park Development Program in Korea: Progress and achievements in the first phase, 2005-2010. *Journal of Cleaner Production*, 114, 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.115>
- Parnaudeau, V. V., Reau, R. R., Dubrulle, P. P., Aubert, C. et Baillet, A. (2011). Designing a DSS to reduce nitrogen losses in cropping systems. Dans *Nitrogen and Global Change: key findings-Future challenges*. <https://doi.org/hal-02746645>
- Parrique, T. (2019). *The political economy of degrowth* [Université Clermont Auvergne; Stockholms universitet].
- Parrique, T., Barth, J., Briens, F., Kerschner, C., Kraus-Polk, A., Kuokkanen, A. et Spangenberg, J. H. (2019). Decoupling debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability. *European Environmental Bureau*, 80. www.eeb.org
- Parrott, L. et Meyer, W. S. (2012). Future landscapes: Managing within complexity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(7), 382-389. <https://doi.org/10.1890/110082>
- Pasty, J.-C. (2004). Les débouchés non alimentaires des produits agricoles : un enjeu pour la France et l'union européenne. *Notes d'IENA. Informations du conseil économique et social*, 173.
- Patel, A., Mungray, A. A. et Mungray, A. K. (2020). Technologies for the recovery of nutrients, water and energy from human urine: A review. *Chemosphere*, 259, 127372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127372>
- Patermann, C. et Aguilar, A. (2018). The origins of the bioeconomy in the European Union. *New Biotechnology*, 40, 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.04.002>
- Paugam, S. (2012). *L'enquête sociologique*. Puf.
- Pauliuk, S. et Hertwich, E. G. (2015). Socioeconomic metabolism as paradigm for studying the biophysical basis of human societies. *Ecological Economics*, 119, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.08.012>
- Pearce, D. W. et Turner, R. K. (1990). The Circular Economy. Dans *Economics of Natural Resources and the Environment* (chap. 13, p. 378). John Hopkins University Press.
- Pecqueur, B. (2016). Le développement territorial : une nouvelle approche des processus de développement pour les économies du Sud. *Le territoire est mort, vive les territoires !*, 295-316. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.3408>
- Pédro, G. (2007). *Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux*. EDP Sciences.
- Pellerin, S., Bamière, L., Savini, I. et Réchauchère, O. (2021). *Stocker du carbone dans les sols français. Stocker du carbone dans les sols français*. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3149-2>
- Peres, R. (2020). Le territoire comme soutien à l'innovation dans les pôles de compétitivité : vers une attractivité territoriale durable. *Gestion et management public*, 8(4), 9-23. <https://doi.org/10.3917/gmp.084.0009>
- Perret, C. (2018). *Vers une symbiose territoriale systémique . Territoire Zéro Déchet Zéro Gaspillage en Pays de Savoie* .
- Peters, V. et Wester, F. (2007). How qualitative data analysis software may support the qualitative analysis process. *Quality and Quantity*, 41(5), 635-659. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9016-8>
- Petit, C., Gimat, C. et Vettoretti, A. (2019). *Les Ateliers de Saclay, Réflexion en écologie territoriale sur le cas du plateau de Saclay : Synthèse*.
- Petit, C., Levavasseur, F. et Verger, Y. (2018). Reconnecter villes et campagnes : vers des symbioses agricoles et agri-urbaines ? Une exploration sur le plateau de Saclay. *Vertigo*, (Hors-série 31), 0-24. <https://doi.org/10.4000/vertigo.21809>
- Petit, O. (2002). Action collective et politiques d'environnement orientées vers une coévolution durable : le regard des institutionnalistes. Dans G. Froger et P. Méral (dir.), *Gouvernance II. Action collective et politiques d'environnement*. Helbing & Lichtenhahn.
- Pfau, S. F., Hagens, J. E., Dankbaar, B. et Smits, A. J. M. (2014). Visions of sustainability in bioeconomy research. *Sustainability (Switzerland)*, 6(3), 1222-1249. <https://doi.org/10.3390/su6031222>

REFERENCES

- Polanyi, K. (1944). *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time*.
- Pollans, L. B. (2017). Trapped in trash: 'Modes of governing' and barriers to transitioning to sustainable waste management. *Environment and Planning A*, 49(10), 2300-2323. <https://doi.org/10.1177/0308518X17719461>
- Polprasert, C. et Koottatep, T. (2017). *Organic Waste Recycling. Technology, Management and Sustainability. 4th edition*. IWA Publishing.
- Posch, A. (2010). Industrial Recycling Networks as Starting Points for Broader Sustainability-Oriented Cooperation? *Journal of Industrial Ecology*, 14(2), 242-257. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00231.x>
- Prats, C., Ferrer, J., Gras, A. et Ginovart, M. (2010). Individual-based modelling and simulation of microbial processes: Yeast fermentation and multi-species composting. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 16(6), 489-510. <https://doi.org/10.1080/13873954.2010.481809>
- Prevot, G. (2010). *Valorisation énergétique des déchets de biomasse d'origine végétale*, 123. <https://doi.org/n°08-0231/1A>
- Pupin, V., Viel, J. et Colin, M. (2008). Une démarche patrimoniale de gestion de la qualité du vivant en Île-de-France : l'expérience de la plaine de Versailles et du plateau des Alluets. *Courrier de l'environnement de l'INRA n°55*.
- Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M. et Krömer, J. O. (2017). Resource recovery from wastewater by biological technologies: Opportunities, challenges, and prospects. *Frontiers in Microbiology*, 7(JAN), 1-23. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>
- Queste, J. (2016). Concertation et changements : Le cas du recyclage des déchets organiques à la Réunion. *Thesis*, 253.
- Queste, J., Bousquet, F., Gurung, T. R. et Trébuil, G. (2011). *Jeux de rôles comme objets frontières dans un conflit de partage de l'eau d'irrigation au Bhoutan*, 20, 118-123.
- Queste, J. et Wassenaar, T. (2019). A practical dialogue protocol for sustainability science to contribute to regional resources management: its implementation in Réunion. *Natural Resources Forum*, 43(1), 3-16. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12164>
- Raworth, K. (2012). A safe and just space for humanity - Can we live inside the doughnut? Why the world needs planetary and social boundaries. *Oxfam Great Britain*, 1-26. <https://doi.org/10.1080/00420980120087081>
- RECORD. (2016). *Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse. {Revue} des gisements et des procédés associés*, (n°14-0913/1A), 91.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141(10), 2417-2431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014>
- Reed, M. S., Fraser, E. D. G. et Dougill, A. J. (2006). An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecological Economics*, 59(4), 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.008>
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C. H. et Stringer, L. C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1933-1949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.001>
- Région Ile de France. (2019). *PRPGD - Partie D - Les déchets organiques*, 184-215.
- République Française. (2018). *Feuille de route de l'économie circulaire. 50 mesures pour une économie 100% circulaire*. <https://www.consultation-economie-circulaire.gouv.fr/file/1395/download?token=Y2J-3IOP>
- Ribon, B., Badariotti, D. et Kahn, R. (2018). Fondements des analyses de flux de matières et d'énergie et typologies d'applications pour la gouvernance des territoires et des organisations. *Vertigo*, 18(Volume 18 numéro 2), 1-21. <https://doi.org/10.4000/vertigo.20822>
- Riesman, D. (2013). *Theories of Collective Action. Downs, Olson and Hirsch*. (vol. 53).
- Rip, A. et Kemp, R. (1997). *Technological change*, 327-400.

REFERENCES

- Robinson, J. (2008). Being undisciplined: Transgressions and intersections in academia and beyond. *Futures*, 40(1), 70-86. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2007.06.007>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rogers, E. M. (1963). *Diffusion of Innovations*. Free Press.
- Romelaer, P. (2005). L'entretien de recherche. Dans *Management des ressources humaines* (p. 101-137). <https://www.cairn.info/revue-informations-sociales-2005-3-page-48.htm>
- Roswall, T. et Paustian, K. (1984). Cycling of nitrogen in modern agricultural systems. *Journal of Chemical Education*, 1, 101-107.
- Rowe, G. et Frewer, L. J. (2005). A typology of public engagement mechanisms. *Science Technology and Human Values*, 30(2), 251-290. <https://doi.org/10.1177/0162243904271724>
- Rufino, M. C., Tittonell, P., Reidsma, P., López-Ridaura, S., Hengsdijk, H., Giller, K. E. et Verhagen, A. (2009). Network analysis of N flows and food self-sufficiency-a comparative study of crop-livestock systems of the highlands of East and southern Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 85(2), 169-186. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9256-9>
- Russell, S. et Lux, C. (2009). Getting over yuck: Moving from psychological to cultural and sociotechnical analyses of responses to water recycling. *Water Policy*, 11(1), 21-35. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.007>
- Saavedra, Y. M. B., Iritani, D. R., Pavan, A. L. R. et Ometto, A. R. (2018). Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1514-1522. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.260>
- Saberian, M., Li, J., Donnoli, A., Bonderenko, E., Oliva, P., Gill, B., Lockrey, S. et Siddique, R. (2021). Recycling of spent coffee grounds in construction materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125837. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125837>
- Saha, I., Smirnova, T. S. et Maryev, V. A. (2021). Implementation of Eco-Industrial Park for Effectual Establishment of Circular Economy in Russia. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(5). <https://doi.org/10.46488/nept.2021.v20i05.020>
- Salas-Zapata, W. A. et Ortiz-Muñoz, S. M. (2019). Analysis of meanings of the concept of sustainability. *Sustainable Development*, 27(1), 153-161. <https://doi.org/10.1002/sd.1885>
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A. et Cardona-Arias, J. A. (2017). Methodological characteristics of sustainability science: a systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, 19(4), 1127-1140. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9801-z>
- Salas-Zapata, W. A., Rios-Osorio, L. A. et Troughon-Osorio, A. L. (2013). Typology of scientific reflections needed for sustainability science development. *Sustainability Science*, 8(4), 607-612. <https://doi.org/10.1007/s11625-012-0183-3>
- Salvia, G., Zimmermann, N., Willan, C., Hale, J., Gitau, H., Muindi, K., Gichana, E. et Davies, M. (2021). The wicked problem of waste management: An attention-based analysis of stakeholder behaviours. *Journal of Cleaner Production*, 326(December 2020), 129200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129200>
- Santos, I. F. S., Barros, R. M. et Filho, G. L. T. (2020). Biogas Production From Solid Waste Landfill. Dans *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (p. 11-19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10585-5>
- Santos, V. E. N. et Magrini, A. (2018). Biorefining and industrial symbiosis: A proposal for regional development in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 177, 19-33. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.107>
- Sayer, J. A. et Campbell, B. (2002). Research to integrate productivity enhancement, environmental protection, and human development. *Ecology and Society*, 5(2). <https://doi.org/10.5751/es-00300-050232>
- Schiller, F., Penn, A. S. et Basson, L. (2014). Analyzing networks in industrial ecology - A review of Social-Material Network Analyses. *Journal of Cleaner Production*, 76, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.029>

REFERENCES

- Schumpeter, J. A. (1911). *Théorie de l'évolution économique*.
- Schwarz, E. J. et Steininger, K. W. (1997). Implementing nature's lesson: The industrial recycling network enhancing regional development. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 47-56. [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(97)00009-7)
- Shang, C., Wu, T., Huang, G. et Wu, J. (2019). Weak sustainability is not sustainable: Socioeconomic and environmental assessment of Inner Mongolia for the past three decades. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(October 2018), 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.032>
- Shaw, M. A. (2019). Strategic instrument or social institution: Rationalized myths of the university in stakeholder perceptions of higher education reform in Poland. *International Journal of Educational Development*, 69(April 2018), 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2019.05.006>
- Sheppard, P., Garcia-Garcia, G., Angelis-Dimakis, A., Campbell, G. M. et Rahimifard, S. (2019). Synergies in the co-location of food manufacturing and biorefining. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 340-359. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.08.001>
- Sherwood, J. (2020). The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology*, 300(January), 122755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122755>
- Shi, H., Chertow, M. et Song, Y. (2010). Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.002>
- Shi, H., Tian, J. et Chen, L. (2012a). China's Quest for Eco-industrial Parks, Part I: History and Distinctiveness. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 8-10. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00454.x>
- Shi, H., Tian, J. et Chen, L. (2012b). China's Quest for Eco-industrial Parks, Part II: Reflections on a Decade of Exploration. *Journal of Industrial Ecology*, 16(3), 290-292. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00505.x>
- Sholanke, D. et Gutberlet, J. (2022). Call for participatory waste governance: waste management with informal recyclers in Vancouver. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 24(1), 94-108. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2021.1956308>
- Short, S. W., Bocken, N. M. P., Barlow, C. Y. et Chertow, M. R. (2014). From refining sugar to growing tomatoes: Industrial ecology and business model evolution. *Journal of Industrial Ecology*, 18(5), 603-618. <https://doi.org/10.1111/jiec.12171>
- Sibertin-blanc, C. et Therond, O. (2011). *Formal Modeling of Social-Ecological Systems Formal Modeling of Social-Ecological Systems*, (November 2014).
- Siddiqi, A. et Collins, R. D. (2017). Sociotechnical systems and sustainability: current and future perspectives for inclusive development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 24, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.01.006>
- Sidompe. (2020). *Rapport Annuel d'activité 2019*.
- Simboli, A., Taddeo, R. et Morgante, A. (2015). The potential of Industrial Ecology in agri-food clusters (AFCs): A case study based on valorisation of auxiliary materials. *Ecological Economics*, 111, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.01.005>
- Simboli, A., Taddeo, R. et Raggi, A. (2017). The multiple dimensions of urban contexts in an industrial ecology perspective: an integrative framework. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1411-y>
- Simoni, M.-L., Guerber, F., Nicol, J.-P., Roche, P.-A. et Tual, A. (2016). *Eau potable et assainissement : à quel prix ?*, 560.
- Smil, V. (2001). *Enriching the earth. Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production. Chemical and Engineering News* (vol. 79).
- Smil, V. (2002). Nitrogen and food production: Proteins for human diets. *Ambio*, 31(2), 126-131. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.126>

REFERENCES

- Smith, P. (2016). Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global Change Biology*, 22(3), 1315-1324. <https://doi.org/10.1111/gcb.13178>
- Snellinx, S., Van Meensel, J., Farahbakhsh, S., Bourgeois, L., Mertens, A., Lauwers, L. et Buysse, J. (2021). Waste treatment company decision-making in a complex system of markets influenced by the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 328(July), 129672. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129672>
- Sokka, L., Pakarinen, S. et Melanen, M. (2011). Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use - An example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland. *Journal of Cleaner Production*, 19(4), 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.014>
- Solagro. (2016). *Le scénario Afterres 2050*.
- Song, X., Geng, Y., Dong, H. et Chen, W. (2018). Social network analysis on industrial symbiosis: A case of Gujiao eco-industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 193, 414-423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.058>
- Spangler, K., Schumacher, B. L., Bean, B. et Burchfield, E. K. (2022). Path dependencies in US agriculture: Regional factors of diversification. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 333(May 2021), 107957. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107957>
- Spekkink, W. (2013). Institutional capacity building for industrial symbiosis in the Canal Zone of Zeeland in the Netherlands: A process analysis. *Journal of Cleaner Production*, 52, 342-355. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.025>
- Spekkink, W. (2015). Building capacity for sustainable regional industrial systems: An event sequence analysis of developments in the Sloe Area and Canal Zone. *Journal of Cleaner Production*, 98, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.028>
- Spekkink, W. A. H. et Boons, F. A. A. (2016). The Emergence of Collaborations. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 26(4), 613-630. <https://doi.org/10.1093/jopart/muv030>
- Staffas, L., Gustavsson, M. et McCormick, K. (2013). Strategies and policies for the bioeconomy and bio-based economy: An analysis of official national approaches. *Sustainability (Switzerland)*, 5(6), 2751-2769. <https://doi.org/10.3390/su5062751>
- Star, S. L. (2010). Ceci n'est pas un objet-frontière ! *Revue d'anthropologie des connaissances*, Vol 4, 1(1), 18. <https://doi.org/10.3917/rac.009.0018>
- Star, S. L. et Griesemer, J. R. (1989). Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social Studies of Science*, 19(3), 387-420. <https://doi.org/10.1177/030631289019003001>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. et Ludwig, C. (2015a). The trajectory of the anthropocene: The great acceleration. *Anthropocene Review*, 2(1), 81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. et Sörlin, S. (2015b). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 736-746. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C. et Liverman, D. (2018). *Trajectories of the Earth System in the Anthropocene*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Sterr, T. et Ott, T. (2004). The industrial region as a promising unit for eco-industrial development - Reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 947-965. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.029>
- Strauss, A. et Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Sage Publications.
- Sutton, M. A., Bleeker, A., Howard, C. M., Bekunda, M., Grizzetti, B., de Vries, W., van Grinsven, H. J. M., Abrol, Y. P., Adhya, T. K., Billen, G., Davidson, E. A., Datta, A., Diaz, R., Erismann, J. W., Liu, X. J., Oenema, O., Palm, C., Raghuram, N., Reis, S., ... Zhang, F. S. (2013). *Our Nutrient World The challenge to produce more food and energy with less pollution* (vol. ISBN). https://www.researchgate.net/profile/Wim_Vries/publication/283418805_Our_nutrient_world_The_challeng

REFERENCES

- e_to_produce_more_food_energy_with_less_pollution/links/57b0692708ae15c76cba2649/Our-nutrient-world-The-challenge-to-produce-more-food-energy-with-less-pol
- Talbot, D. (2008). Les institutions créatrices de proximités. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, octobre(3), 289-310. <https://doi.org/10.3917/reru.083.0289>
- Taleb, N. N., Read, R., Douady, R., Norman, J. et Bar-Yam, Y. (2014). *The Precautionary Principle (with Application to the Genetic Modification of Organisms)*, 1-17. <http://arxiv.org/abs/1410.5787>
- Tedesco, P. A., Bigorne, R., Bogan, A. E., Giam, X., Jézéquel, C. et Huguény, B. (2014). Estimating How Many Undescribed Species Have Gone Extinct. *Conservation Biology*, 28(5), 1360-1370. <https://doi.org/10.1111/cobi.12285>
- Therond, O. (2019). *Modelling of socio-Agro-Ecological systems for Landscape Integrated Assessment*.
- Therond, O., Sibertin-Blanc, C., Lardy, R., Gaudou, B., Mazzega, P., Auda, Y., Sanchez-Perez, J. M. et Sauvage, S. (2014). Calibration of simulation platforms including highly interweaved processes: The MAELIA multi-agent platform. *Proceedings - 7th International Congress on Environmental Modelling and Software: Bold Visions for Environmental Modeling, iEMSs 2014*, 2(June), 658-665.
- Tian, J., Shi, H., Chen, Y. et Chen, L. (2012a). Assessment of industrial metabolisms of sulfur in a Chinese fine chemical industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 32, 262-272. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.001>
- Tian, J., Shi, H., Li, X. et Chen, L. (2012b). Measures and potentials of energy-saving in a Chinese fine chemical industrial park. *Energy*, 46(1), 459-470. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.003>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. et Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Tilton, J. E. (2018). The Hubbert peak model and assessing the threat of mineral depletion. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 280-286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.026>
- Touzard, H. (2006). Consultation, concertation, négociation. *Négociations*, 5(1), 67. <https://doi.org/10.3917/neg.005.0067>
- Trébuil, G., Ruault, C., Soulard, C. et Bousquet, F. (2018). Les démarches Commod et Gerdal dans l'accompagnement de collectifs multi-acteurs pour faciliter l'innovation dans les agro-écosystèmes. Dans G. Faure, Y. Chiffolleau, F. Goulet, L. Temple et J.-M. Touzard (dir.), *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires* (éditions Q). <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2813-3>
- Trimmer, J. T. et Guest, J. S. (2018). Recirculation of human-derived nutrients from cities to agriculture across six continents. *Nature Sustainability*, 1(8), 427-435. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0118-9>
- Tudor, T., Adam, E. et Bates, M. (2007). Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review. *Ecological Economics*, 61(2-3), 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.010>
- Tversky, A. et Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, 185(4157), 1124-1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
- Ubando, A. T., Del Rosario, A. J. R., Chen, W.-H. et Culaba, A. B. (2021). A state-of-the-art review of biowaste biorefinery. *Environmental Pollution*, 269, 116149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116149>
- Ubando, A. T., Felix, C. B. et Chen, W.-H. (2020). Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 299(November 2019), 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>
- UNIFA. (2019). *LES LIVRAISONS D'ENGRAIS MINÉRAUX en France métropolitaine. Campagne 2017-2018*.
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. C.N.92.2016.TREATIES-XXVII.7.d of 17 March 2016 (Issuance of Certified True Copies). <http://bigpicture.unfccc.int/#content-the-paris-agreemen>
- Vahidzadeh, R., Bertanza, G., Scaffoni, S. et Vaccari, M. (2021). Regional industrial symbiosis: A review based on social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124054. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124054>

REFERENCES

- Vainio, A., Ovaska, U. et Varho, V. (2019). Not so sustainable? Images of bioeconomy by future environmental professionals and citizens. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1396-1405. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.290>
- Valentine, S. V. (2016). Kalundborg Symbiosis: Fostering progressive innovation in environmental networks. *Journal of Cleaner Production*, 118, 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.061>
- van Beers, D., Corder, G., Bossilkov, A. et van Berkel, R. (2008). Industrial Symbiosis in the Australian Minerals Industry: The Cases of Kwinana and Gladstone. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 55-72. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1161>
- Van Berkel, R., Fujita, T., Hashimoto, S. et Fujii, M. (2009a). Quantitative assessment of urban and industrial symbiosis in Kawasaki, Japan. *Environmental Science and Technology*, 43(5), 1271-1281. <https://doi.org/10.1021/es803319r>
- Van Berkel, R., Fujita, T., Hashimoto, S. et Geng, Y. (2009b). Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997-2006. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1544-1556. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.010>
- Van Berkel, R., Van Beers, D. et Bossilkov, A. (2006). Regional resource synergies for sustainable development: The case of Kwinana. *Materials Forum*, 30(December 2015), 176-187.
- van der Voet, E. (2002). Substance Flow Analysis. Dans R. U. Ayres et L. Ayres (dir.), *A handbook of industrial ecology* (p. 91-101). Edward Elgar Publishing.
- van der Wiel, B. Z., Weijma, J., van Middelaar, C. E., Kleinke, M., Buisman, C. J. N. et Wichern, F. (2019). Restoring nutrient circularity: A review of nutrient stock and flow analyses of local agro-food-waste systems. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 3(August), 100014. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100014>
- Van Ewijk, S. et Stegemann, J. A. (2016). Limitations of the waste hierarchy for achieving absolute reductions in material throughput. *Journal of Cleaner Production*, 132, 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.051>
- van Lente, H. et van Til, J. I. (2008). Articulation of sustainability in the emerging field of nanocoatings. *Journal of Cleaner Production*, 16(8-9), 967-976. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.04.020>
- Vea, E. B., Martinez-Sanchez, V. et Thomsen, M. (2018a). A review of waste management decision support tools and their ability to assess circular biowaste management systems. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10), 40-60. <https://doi.org/10.3390/su10103720>
- Vea, E. B., Romeo, D. et Thomsen, M. (2018b). Biowaste Valorisation in a Future Circular Bioeconomy. *Procedia CIRP*, 69(May), 591-596. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.062>
- Veleva, V., Todorova, S., Lowitt, P., Angus, N. et Neely, D. (2015). Understanding and addressing business needs and sustainability challenges: Lessons from Devens eco-industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 375-384. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.014>
- Venkata Mohan, S., Nikhil, G. N., Chiranjeevi, P., Nagendranatha Reddy, C., Rohit, M. V., Kumar, A. N. et Sarkar, O. (2016). Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. *Bioresource Technology*, 215, 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130>
- Verlicchi, P. et Zambello, E. (2015). Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil - A critical review. *Science of the Total Environment*, 538, 750-767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.108>
- Victor, D. et Agamuthu, P. (2013). Strategic environmental assessment policy integration model for solid waste management in Malaysia. *Environmental Science and Policy*, 33, 233-245. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.06.008>
- Vilaça, A. S. I., Simão, L., Montedo, O. R. K., Novaes de Oliveira, A. P. et Raupp-Pereira, F. (2022). Waste valorization of iron ore tailings in Brazil: Assessment metrics from a circular economy perspective. *Resources Policy*, 75(October 2021), 0-10. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102477>
- Villarroel Walker, R., Beck, M. B., Hall, J. W., Dawson, R. J. et Heidrich, O. (2014). The energy-water-food nexus: Strategic analysis of technologies for transforming the urban metabolism. *Journal of Environmental Management*, 141, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.054>

REFERENCES

- Vinck, D. (2009). De l'objet intermédiaire à l'objet fortière. Vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 3(1), 51-72. <https://doi.org/10.3917/rac.006.0051>
- Vivien, F.-D. (2005). *Le développement soutenable*. La Découverte.
- Vivien, F. D., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R. et Giampietro, M. (2019). The Hijacking of the Bioeconomy. *Ecological Economics*, 159(December 2018), 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.027>
- Voltr, V., Menšík, L., Hlisenikovsky, L., Hruška, M., Pokorný, E. et Pospíšilová, L. (2021). The soil organic matter in connection with soil properties and soil inputs. *Agronomy*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy11040779>
- von Hippel, E. (2005). *Democratizing Innovation*.
- von Neumann, J. et Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*.
- Vulsteke, E., Van Den Hende, S., Bourez, L., Capoen, H., Rousseau, D. P. L. et Albrecht, J. (2017). Economic feasibility of microalgal bacterial floc production for wastewater treatment and biomass valorization: A detailed up-to-date analysis of up-scaled pilot results. *Bioresource Technology*, 224, 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.090>
- Wadström, C., Johansson, M. et Wallén, M. (2021). A framework for studying outcomes in industrial symbiosis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151(January). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111526>
- Walls, J. L. et Paquin, R. L. (2015). Organizational Perspectives of Industrial Symbiosis: A Review and Synthesis. *Organization and Environment*, 28(1), 32-53. <https://doi.org/10.1177/1086026615575333>
- Wang, S., Hawkins, G. L., Kiepper, B. H. et Das, K. C. (2016). Struvite precipitation as a means of recovering nutrients and mitigating ammonia toxicity in a two-stage anaerobic digester treating protein-rich feedstocks. *Molecules*, 21(8). <https://doi.org/10.3390/molecules21081011>
- Wassenaar, T., Doelsch, E., Feder, F., Guerrin, F., Paillat, J. M., Thuriès, L. et Saint Macary, H. (2014). Returning Organic Residues to Agricultural Land (RORAL) - Fuelling the Follow-the-Technology approach. *Agricultural Systems*, 124, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.10.007>
- Wassenaar, T. et Queste, J. (2014). *Gestion Intégrée des Résidus Organiques par la Valorisation Agronomique à La Réunion - compte-rendu final du projet GIROVAR (2011-2014)*. <http://www.tco.re/nos-competences/amenagement-au-coeur-des-grand-projets/projet-girovar>
- Wassenaar, T. et Queste, J. (2015). Co-designing organic residue recycling chains in off-balance regions. *5th International Symposium for Farming Systems Design*, (September), 241-242. http://fsd5.european-agronomy.org/video/FSD/M_240_Tom Wassen/index.html
- Wassenaar, T., Queste, J. et Paillat, J.-M. (2016). Le recyclage agricole des résidus organiques : une ressource naturelle pour en préserver d'autres. *Agronomie, Environnement & Société*, 6(1), e12. <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol6-n1-juin-2016-regards-agronomiques-sur-les-relations-entre-agriculture-et-ressources-naturelles/revue-aes-vol6-n1-12/%5Cnhttp://agritrop.cirad.fr/58>
- Wasserman, S. et Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications (Structural Analysis in the Social Sciences)* (Cambridge).
- Watzlawick, P., Weakland, J. H. et Fisch, R. (2011). *Change: Principles of problem formulation and problem resolution*, 176.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E. et Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218-1230.
- Wielemaker, R., Stuiver, J., Zeeman, G. et Weijma, J. (2019). Identifying Amsterdam's nutrient hotspots: A new method to map human excreta at building and neighborhood scale. *Journal of Industrial Ecology*, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jiec.12962>
- Williams, C. C. et Millington, A. C. (2004). The diverse and contested meanings of sustainable development. *Geographical Journal*, 170(2), 99-104. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7398.2004.00111.x>

REFERENCES

- Wilson, D. C. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management and Research*, 25(3), 198-207. <https://doi.org/10.1177/0734242X07079149>
- Winkler, J. et Bilitewski, B. (2007). Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *Waste Management*, 27(8), 1021-1031. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.023>
- Wittmaier, M., Langer, S. et Sawilla, B. (2009). Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems - Applied examples for a region in Northern Germany. *Waste Management*, 29(5), 1732-1738. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.004>
- WMO. (2021). *State of the Global Climate 2020*. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880#.YHg0ABMzZR0
- Wohlfahrt, J., Ferchaud, F., Gabrielle, B., Godard, C., Kurek, B., Loyce, C. et Therond, O. (2019a). Characteristics of bioeconomy systems and sustainability issues at the territorial scale. A review. *Journal of Cleaner Production*, 232, 898-909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.385>
- Wohlfahrt, J., Ferchaud, F., Gabrielle, B., Godard, C., Kurek, B., Loyce, C. et Therond, O. (2019b). Characteristics of bioeconomy systems and sustainability issues at the territorial scale. A review. *Journal of Cleaner Production*, 232, 898-909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.385>
- Wolman, A. (1965). The Metabolism of Cities. *Scientific American*, 213(3), 178-190. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0965-178>
- Yeo, Z., Masi, D., Low, J. S. C., Ng, Y. T., Tan, P. S. et Barnes, S. (2019). Tools for promoting industrial symbiosis: A systematic review. *Journal of Industrial Ecology*, 1-22. <https://doi.org/10.1111/jiec.12846>
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods*. Vol. 5. SAGE.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods*. 6th ed. SAGE.
- Yu, Y., Yazan, D. M., Bhochhibhoya, S. et Volker, L. (2021). Towards Circular Economy through Industrial Symbiosis in the Dutch construction industry: A case of recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126083. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126083>
- Zabaleta, I., Mertenat, A., Scholten, L. et Zurbrügg, C. (2020). *Selecting Organic Waste Treatment Technologies (SOWATT)*.
- Zamora, P., Georgieva, T., Ter Heijne, A., Sleutels, T. H. J. A., Jeremiasse, A. W., Saakes, M., Buisman, C. J. N. et Kuntke, P. (2017). Ammonia recovery from urine in a scaled-up Microbial Electrolysis Cell. *Journal of Power Sources*, 356, 491-499. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.02.089>
- Zhang, Y., Zheng, H., Chen, B. et Yang, N. (2013). Social network analysis and network connectedness analysis for industrial symbiotic systems: Model development and case study. *Frontiers of Earth Science*, 7(2), 169-181. <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0349-4>
- Zhu, Q. et Cote, R. P. (2004). Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: A case study of the Guitang Group. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 1025-1035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.030>
- Zhu, Q., Lowe, E. A., Wei, Y. A. et Barnes, D. (2007). Industrial symbiosis in China: A case study of the Guitang Group. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 31-42. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.929>
- Zilberman, D., Kim, E., Kirschner, S., Kaplan, S. et Reeves, J. (2013). Technology and the future bioeconomy. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, 44(SUPPL1), 95-102. <https://doi.org/10.1111/agec.12054>
- Zukin, S. et DiMaggio, P. (1990). *Structures of Capital: The Social Organization of the Economy*.

ANNEXES

A Annexes de la partie I

A-1 L'écologie industrielle pour l'étude du métabolisme

A-1.1 L'émergence de l'écologie industrielle

Des racines dans l'écologie scientifique

Les avancées significatives de la compréhension des écosystèmes en termes de flux de matière et d'énergie du XX^e siècle ont ouvert la voie à l'analyse de la société sous ces mêmes aspects. Les travaux des écologues Eugene et Howard T. Odum sont un marqueur important dans la représentation des organismes et des écosystèmes (Odum, 1953). Ils s'inscrivent dans la définition de l'écologie donnée par Haeckel comme « *l'étude de l'environnement naturel comprenant les relations des organismes entre eux et avec leur milieu.* »¹⁹⁸ (Haeckel, 1869 in Odum et Barrett, 2005). La vision systémique apportée par ce champ de recherche apporte un regard complexe sur les systèmes naturels et leurs différents niveaux d'interaction, de la cellule d'un organisme vivant aux populations d'individus, jusqu'aux niveaux globaux des écosystèmes et des biomes. Les travaux en écologie s'intéressent notamment au métabolisme des organismes, c'est-à-dire à leurs besoins en énergie et en éléments nutritifs, se traduisant par des *flux* de prélèvement de ressources dans un milieu naturel et de rejets dans ce même milieu. Cette représentation mobilise une approche cybernétique, c'est-à-dire la représentation des éléments étudiés comme des systèmes complexes dotés de variables de contrôle et de boucles de régulation, et dont les dynamiques sont non linéaires et non prédictibles. Elle se base notamment sur les lois de la thermodynamique, notamment la loi de conservation de l'énergie.

Une analogie centrale

L'écologie industrielle entre dans la continuité de cette approche avec un brouillage de la ligne de démarcation entre sociétés humaines et l'environnement dit « naturel ». L'étude sous le prisme écologique des flux de matières et d'énergie associés aux activités humaines constitue une nouvelle étape de la discipline, qui fournit un éclairage sur la manière d'organiser ces activités (Odum, 2007). Des communautés de chercheurs s'intéressent progressivement à délimiter des systèmes au sein des sociétés humaines, pour décrire les flux de matière et d'énergie entrants et sortants (Billen *et al.*, 1983). On retrouve par exemple cette idée dans les travaux

¹⁹⁸ « the study of the natural environment including the relations of organisms to one another and to their surroundings. »

d'écologie urbaine qui ont étudié les systèmes urbains comme des organismes vivants (Castán Broto *et al.*, 2012 ; Wolman, 1965). Le champ de l'écologie industrielle s'approprie ainsi la notion de métabolisme, en se basant sur une analogie centrale entre les écosystèmes naturels et la société industrielle (Allenby et Cooper, 1994), guidée par la montée des préoccupations environnementales croissantes de la fin du XXe siècle (Boulding, 1966). L'analogie est la suivante : à l'instar de tout organisme biologique, les activités humaines nécessitent un approvisionnement régulier en matière et en énergie et relâchent dans leur environnement des déchets, c'est-à-dire des matières ou de l'énergie dégradées, qu'elles ne sont plus en mesure d'utiliser (Ayres, 1994). Il est ainsi possible de s'intéresser au métabolisme d'un procédé (Diwekar *et al.*, 2002), d'une industrie (Short *et al.*, 2014), d'un écosystème industriel (Tian *et al.*, 2012a), d'un territoire (Ribon *et al.*, 2018) voire de régions entières (Schwarz et Steininger, 1997). Les objets étudiés sont donc très divers, variant d'un niveau très local à un niveau global. Un aspect structurant de l'analogie, au-delà de l'intérêt descriptif qu'elle fournit, est l'objectif de faire évoluer la société humaine pour imiter les écosystèmes naturels considérés comme « matures » (Graedel et Allenby, 1995). L'idée qui sous-tend cette vision est que les écosystèmes naturels évolueraient d'une forme « immature » linéaire dans laquelle les organismes prélèvent des ressources et produisent des déchets, vers une forme mature circulaire dans laquelle la quasi-totalité des déchets métaboliques sont utilisés par d'autres agents comme des ressources. Dans ce type de système, seul un faible apport en énergie est nécessaire, qui peut être l'énergie solaire renouvelable. Cette représentation fait de l'analogie un modèle à suivre, position qui a été largement critiquée, y compris par des auteurs de la discipline, notamment au vu des fortes simplifications qu'elle implique (Hess, 2010). Elle peut également être considérée comme une des prémices ayant conduit, plus tard, à l'économie circulaire (Pearce et Turner, 1990) qui prend aujourd'hui le pas sur l'écologie industrielle dans les arènes institutionnelles (voir Encadré 1). D'autres préfèrent voir dans l'analogie une métaphore, c'est-à-dire que la ressemblance des activités humaines avec les écosystèmes naturels est suffisante pour leur appliquer des méthodes communes (Lifset, 1997).

Des outils pour l'étude du métabolisme

L'objectif de l'écologie industrielle est de comprendre la dépendance des activités humaines envers leur environnement, leur impact sur celui-ci et les moyens de les rendre durables sur le long terme (Lifset et Graedel, 2002). Pour cela, une gamme d'outils est mobilisée pour formaliser la notion de métabolisme à l'échelle des systèmes techniques ou sociotechniques, et en mesurer les caractéristiques. L'étude du métabolisme est réalisée par des analyses de flux de matière (*material flow analysis*) et des analyses de flux de substances (*substance flow analysis*) (Bringezu et Moriguchi, 2002 ; van der Voet, 2002). Ces méthodes consistent à délimiter les frontières d'un système technique (ou sociotechnique) particulier et à faire l'inventaire des flux entrant et sortant de ce système. Ce flux peut correspondre à une masse totale de matière, à la masse d'une substance particulière (un élément chimique, une molécule) ou encore à de l'énergie. Un autre outil de l'écologie industrielle fortement mobilisé est l'analyse de cycle de vie (ACV). Cette analyse consiste à faire l'inventaire des impacts tout au long de la chaîne de production, d'utilisation et de fin de vie d'un produit ou d'un service (Hauschild, 2017), afin de comprendre les impacts environnementaux, en amont comme en aval de ces activités. Le schéma proposé par Ayres et Ayres (2002), représenté en Figure 95, offre une illustration intéressante des champs d'application de l'écologie industrielle, parfois réduite à un seul de ces aspects.

ANNEXES

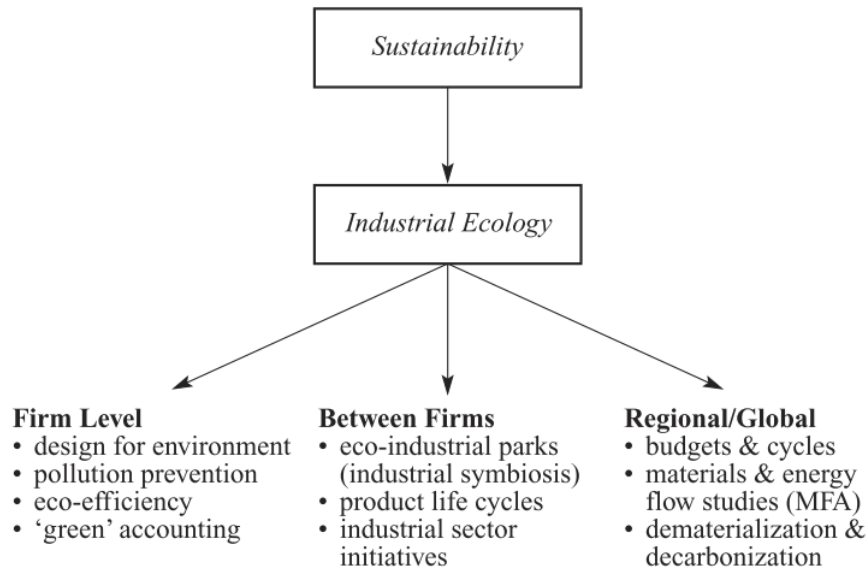


Figure 95 : Les différents champs d'application de l'écologie industrielle, tels que représentés dans l'ouvrage de référence de Ayres et Ayres, 2002, p.10.

A-1.2 La symbiose industrielle

La symbiose industrielle

Parmi les objets d'étude de l'écologie industrielle, la symbiose industrielle en est un tellement emblématique que les deux notions peuvent parfois être confondues. La lecture de la Figure 95 permet de bien saisir comment la seconde s'insère par rapport à la première. La symbiose industrielle est en réalité une des modalités de mise en œuvre de l'écologie industrielle, à une échelle intermédiaire¹⁹⁹. Marian Chertow en propose la définition la plus consensuelle : « La partie de l'écologie industrielle connue sous le nom de symbiose industrielle engage des entités traditionnellement séparées dans une approche collective de l'avantage compétitif, impliquant des échanges de matière, d'énergie, et de sous-produits.²⁰⁰ » (Chertow, 2000, p. 314). Elle est considérée comme une solution pour permettre le bouclage des flux de matière et d'énergie (Ehrenfeld et Gertler, 1997). La conceptualisation de la symbiose industrielle et l'intérêt pour cet objet d'étude sont étroitement liés à la « découverte » du cas d'étude emblématique de Kalundborg (Chertow, 2007 ; Ehrenfeld et Gertler, 1997). Face à une réglementation environnementale contraignante et à une pression croissante sur la ressource en eau du lac Tissø, les principales industries de cette ville danoise ont progressivement bâti un réseau de synergies entre elles à partir des années 1960 (Branson, 2016). La réutilisation d'eau de refroidissement de la raffinerie pour la production de vapeur dans la centrale thermique, le

¹⁹⁹ La traduction littérale du schéma serait « échelle inter-entreprises ». Cela s'inscrit dans une version plutôt réductrice de l'écologie industrielle et de la symbiose industrielle, de laquelle le propos cherche par la suite à s'écarter.

²⁰⁰ "The part of industrial ecology known as industrial symbiosis engages traditionally separate entities in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and by-products."

recyclage du soufre issu de la combustion de charbon pour alimenter une industrie de plaques de plâtre, la valorisation agricole des résidus d'une industrie pharmaceutique, sont devenues autant de synergies emblématiques faisant de cette symbiose un modèle de référence à reproduire (Chertow et Park, 2016). Les multiples tentatives en ce sens ont conduit à une diversité de situations de par le monde (Boons *et al.*, 2016), dont le bilan reste cependant assez mitigé (Baas, 2011). La symbiose industrielle s'inscrit dans la continuité de la métaphore biologique, comparant les synergies entre entreprises avec les interactions entre les différentes espèces qui ont lieu au sein des écosystèmes naturels. Le développement de symbioses industrielles a donc pour objectif de mettre en place des synergies entre différents acteurs du territoire, au sein desquelles les déchets des uns deviennent les ressources des autres (Erkman, 2004). Il est considéré que de telles synergies sont des échanges gagnant-gagnant, à la fois pour chaque partenaire, mais aussi en conciliant les avantages économiques et environnementaux (Chertow et Lombardi, 2005).

Caractériser les symbioses industrielles

La définition de ce qu'est une symbiose industrielle s'est retrouvée confrontée à une grande diversité de situations. Dans les premiers exercices de classification, Chertow identifie ainsi plusieurs échelles possibles de synergies, comprenant les échanges au sein d'une entreprise, des échanges entre entreprises co-localisées ou encore les échanges au travers de réseaux plus larges (Chertow, 2000). Elle propose, quelques années plus tard, de définir la symbiose industrielle au travers d'un « heuristique 3-2 », c'est-à-dire, au moins 3 entreprises, échangeant au moins 2 matières différentes (Chertow, 2007). La question de l'auto-organisation et de la facilitation des symbioses industrielles est centrale dans les travaux d'analyse de symbioses existantes et dans les projets de développement de nouvelles symbioses (Chertow et Ehrenfeld, 2012). Les auteurs ont notamment montré un intérêt marqué pour les symbioses industrielles qui émergent spontanément, sans qu'une action externe soit nécessaire, comme c'est d'ailleurs considéré être le cas pour la symbiose de Kalundborg (Chertow, 2007). Certains auteurs en concluent que l'auto-organisation est plus efficace que la planification dans la mise en œuvre de ces synergies, appelant à limiter les efforts d'intervention en ce sens (Desrochers, 2004). Cette vision tend cependant à sous-estimer l'influence des acteurs publics et des politiques de protection de l'environnement, dont la contribution reste indispensable pour créer des conditions favorables à la mise en œuvre de symbioses industrielles (Buclet, 2011). La grille de lecture consensuelle des symbioses industrielles s'est finalement établie autour de cette distinction entre les symbioses auto-organisées et les symbioses planifiées ou facilitées (Paquin et Howard-Grenville, 2012). Frank Boons et ses collègues proposent d'aller plus loin en identifiant des schémas de développement communs aux symbioses industrielles dans leur diversité (Boons *et al.*, 2016). Malgré ces travaux, la distinction reste vague dans la littérature et nous avons eu, à plusieurs reprises au cours de ces travaux, l'occasion de remettre cette question de la facilitation au cœur du débat (Chapitre 5 et Chapitre 6).

Le cas des démarches d'écologie industrielle et territoriale en France

L'influence de l'écologie territoriale en France a conduit les chercheurs, mais aussi les décideurs publics, à s'éloigner du cadre initial de l'écologie industrielle pour intégrer les considérations territoriales. Cela s'observe notamment par la dénomination endémique des symbioses industrielles, appelées à l'échelle nationale « **démarches d'Ecologie Industrielle et Territoriale** » (EIT) (Abitbol *et al.*, 2014). Si ce vocabulaire cherche implicitement à se démarquer de celui de la littérature scientifique – symbiose industrielle – la mise en pratique de démarches d'EIT s'inscrit tout à fait dans la continuité de l'écologie industrielle²⁰¹. Au vu de la multiplicité des formes de symbioses industrielles, les démarches d'EIT sont *une forme* de symbiose industrielle, comme les éco-parcs en sont une autre (Lowe, 2001), plus centrée sur l'activité industrielle. Ces démarches sont accompagnées depuis les années 2010 par des plans de subventions et d'accompagnement. L'association Orée, par exemple, propose un outil qui recense les démarches existantes et leur fournit des outils d'évaluation (Orée, 2013, 2020). Il y a environ 200 projets en France, d'un niveau de maturité variable, qui s'apparentent à des démarches d'EIT. Sous certains aspects, l'approche française de l'EIT est assez techno-centrée. A de nombreuses reprises, l'accent est mis sur la nécessité d'établir un diagnostic et une comptabilité des flux, sans nécessairement tenir compte de l'aspect social des territoires (Georgeault, 2015). Par ailleurs, ce programme qui s'inscrit désormais dans le cadre de l'économie circulaire (voir Encadré 1) a tendance à se focaliser sur le secteur industriel, ou en tout cas à considérer l'écologie industrielle comme un outil à destination d'entreprises (Belaud *et al.*, 2019). Cependant, il existe également des travaux marquants sur les aspects sociaux et territoriaux. Des chercheurs se sont par exemple intéressés aux dynamiques des jeux d'acteurs (Brullot, 2009), et aux mécanismes favorisant la coopération au sein de ces démarches (Abitbol, 2012). Par ailleurs, les démarches d'EIT se sont écartées d'un modèle focalisé sur les synergies techniques pour s'orienter vers une vision large des synergies inter-entreprises, impliquant notamment la mutualisation d'équipements.

²⁰¹ Une partie de l'explication de ce choix sémantique tient probablement de l'aspect péjoratif du mot « industriel » dans la culture française. Lorsque le terme « écologie » est compris dans sa dimension politique en tant que mouvement social (Grisoni et Némoy, 2017) – et non dans le sens biologique du terme –, l'expression « écologie industrielle » en langue française prend la tournure d'un oxymore, ce qui n'empêche toutefois pas son emploi comme l'a montré le président de la République dans ses vœux de l'année 2019 (<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2018/12/31/voeux-aux-francais-2019>).

A-1.3 Ecologie de l'anthroposphère – vers une vision élargie de l'écologie industrielle

Les tropismes de l'écologie industrielle

Malgré l'influence de l'approche systémique de l'écologie biologique et les efforts faits pour intégrer l'encastrement social de l'écologie industrielle (voir section 1.2.2), force est de constater que l'objet d'étude du champ de recherche se restreint plutôt à certaines activités humaines spécifiques, notamment l'industrie secondaire. Le modèle de la symbiose industrielle de Kalundborg, notamment, a fortement ancré les démarches de recherche dans sa continuité. Comme l'indique Nicolas Buclet, « *L'accent mis par nombre d'auteurs sur cette symbiose²⁰² a (...) renforcé l'idée que l'écologie industrielle devait s'occuper prioritairement d'écologie de l'industrie plutôt que d'écologie de la société industrielle* » (Buclet, 2011, p.170). Cela se vérifie dans une revue récente des démarches de symbiose industrielle, effectuée par Neves et al. (2020), dans laquelle le secteur manufacturier est largement surreprésenté (Neves et al., 2020, Fig. 9, p.16). Un des principaux angles morts de cette approche est de laisser de côté, ou d'intégrer de manière marginale, des secteurs entiers de l'activité humaine. L'écologie industrielle « classique » s'intéresse de fait peu aux systèmes agricoles (Fernandez-Mena *et al.*, 2016). Ce secteur est néanmoins une composante centrale du métabolisme des sociétés. La rupture métabolique à laquelle nous nous intéressons fait sans aucun doute partie des problèmes auxquels l'écologie industrielle peut répondre. Il est pour cela nécessaire d'avoir une approche élargie de la discipline.

Ni un modèle, ni une métaphore : une transposition

Dans la manière dont est considérée l'écologie industrielle dans ces travaux, nous proposons de dépasser le débat entre l'écosystème comme modèle ou comme métaphore (Hess, 2010). Il faut pour cela intégrer le fait que l'humanité *fait partie intégrante* des écosystèmes, y compris dans ses dimensions techniques et industrielles. La considération que les flux matériels mobilisés par l'espèce humaine sont fondamentalement différents de ceux mobilisés par les autres espèces vivantes est en réalité un parti pris épistémologique basé sur une distinction entre « nature » et « culture » qui est un frein dans la représentation des problématiques environnementales (Descola, 2005 ; Feenberg, 2013). Une vision élargie de l'écologie industrielle, nécessaire pour dépasser ce blocage, consiste à la recentrer sur l'angle d'analyse de l'écologie scientifique, qui est l'étude de l'interaction d'entités entre elles et avec leur milieu, pour l'appliquer à l'ensemble des activités humaines qui permettent aux sociétés de subvenir à leurs besoins. Nous proposons donc de considérer l'écologie industrielle comme **la science de l'écologie appliquée à l'anthroposphère dans sa composante sociale et culturelle**. Cette conception peut être décrite par le titre et le développement de l'ouvrage de Baccini et Brunner (2012) : « Métabolisme de l'Anthroposphère ». Elle vise à analyser le fonctionnement matériel des sociétés humaines et donc les conditions de leur durabilité au vu des contraintes environnementales et des contextes sociaux et culturels. Les systèmes d'intérêt ne se limitent pas à l'étude d'industries du secteur secondaire, mais peuvent se situer à tous les niveaux d'action de l'humain sur son environnement. Les systèmes agricoles peuvent ainsi être vus comme des

²⁰² Note : Buclet ne fait pas ici référence précisément à la symbiose de Kalundborg, mais plutôt au modèle général de la symbiose industrielle, qui s'inspire de cette dernière.

activités humaines au cœur du métabolisme des systèmes sociotechniques (Villarroel Walker *et al.*, 2014). Par ailleurs, les dimensions sociale et culturelle sont pleinement intégrées car elles apportent un niveau de compréhension supplémentaire au métabolisme des sociétés.

Nous proposons, sur la Figure 96, une analogie entre les objets auxquels s'intéresse cette vision élargie de l'écologie industrielle et les niveaux d'étude du monde vivant proposés par Odum et Barrett (2005). De même que l'écologie s'intéresse à différentes échelles du monde vivant, l'écologie industrielle peut s'intéresser à différentes échelles de l'anthroposphère. Notons bien que ce parallèle n'est ni une métaphore, ni un modèle, mais bel et bien une extension du champ d'application de l'écologie à la société humaine. Cela n'implique aucunement que celle-ci doit fonctionner de la même manière qu'un écosystème non anthropique²⁰³, mais plutôt qu'elle doit être analysée de la même manière, dans son interaction avec son milieu. Le volet normatif de l'écologie industrielle, c'est-à-dire l'ambition de rendre durable la civilisation humaine, n'est donc pas une déduction des observations de l'écologie conventionnelle comme cela a pu être défendue à l'origine (Graedel et Allenby, 1995). Les actions à entreprendre dérivent de l'analyse du métabolisme de l'anthroposphère, comparé à la capacité de son milieu à fournir sur le long terme les ressources nécessaires et à absorber ses déchets²⁰⁴. La Figure 96 montre que l'aspect technique et l'aspect social sont deux angles d'approche complémentaires de ce métabolisme.

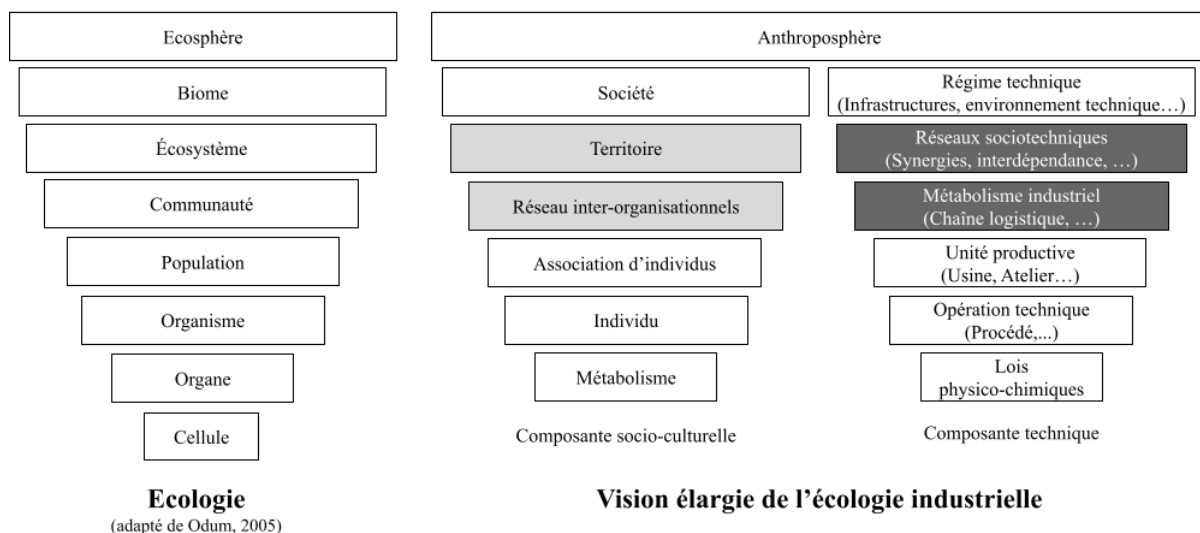


Figure 96 : Représentation de la vision élargie de l'écologie industrielle, comme la science de l'écologie appliquée à l'anthroposphère dans sa composante technique et socio-culturelle. La partie gauche correspond aux objets d'intérêt de l'écologie selon Odum et Barrett (2005). La partie droite représente cette transposition avec les objets d'étude de l'écologie industrielle. Les cases grisées représentent les champs d'étude de l'écologie territoriale. Parmi celles-ci, celles en gris foncé représentent la vision techno-centrée de l'écologie industrielle.

Cette définition est très proche de l'analyse des systèmes socio-écologiques, qui s'intéressent notamment à la durabilité en termes de résilience sociétale (Folke *et al.*, 2016). Il est intéressant de noter que le concept de « résilience », s'il est issu de la psychologie, a préalablement été exploré au travers de l'écologie des systèmes naturels avant de s'appliquer aux

²⁰³ La notion d'anthropocène développée en introduction suggère d'ailleurs que l'expansion des activités de l'humanité est telle qu'il n'existe aujourd'hui plus, ou plus que de manière marginale, d'écosystèmes non affectés par ces activités.

²⁰⁴ Il s'agit du concept de *carrying capacity*, ou capacité porteuse d'un écosystème.

systèmes anthropiques. Les auteurs définissent la résilience comme la capacité d'un système socio-écologique à « *conserver son fonctionnement et son identité lorsqu'il est soumis à une perturbation* », ce qui se traduit par « *la capacité (1) d'absorber les chocs et les perturbations, (2) de s'auto-organiser et (3) d'apprendre et de s'adapter.* »²⁰⁵ (Berkes, 2017, p.4).. Les travaux s'intéressant à la résilience sociétale sont un exemple de transposition aux activités humaines des outils initialement destinés à étudier les milieux naturels (Meerow et Newell, 2015).

L'écologie territoriale : une approche systémique de l'écologie industrielle

La conception de l'écologie industrielle dans cette vision élargie est ainsi très intégrative et permet de situer l'écologie territoriale par rapport aux autres approches. Les cases grisées sur la Figure 96 permettent de proposer une distinction sémantique entre écologie industrielle et écologie territoriale. L'écologie industrielle devient un concept générique qui englobe de nombreux niveaux d'étude différents, étant tous intéressants à leur échelle mais insuffisants individuellement pour saisir la totalité de la problématique. Dans cette formalisation, l'écologie territoriale est un champ d'application de l'écologie industrielle qui s'intéresse à la durabilité du métabolisme à l'échelle de territoires, appréhendés dans toute leur complexité et leurs relations avec les autres territoires. Elle est une des approches possibles, se plaçant à un niveau d'analyse relativement haut dans la complexité des systèmes et complémentaire à d'autres approches. Cela permet également de comprendre en quoi les visions restreintes et techno-centrées de la symbiose industrielle intègrent également ce prisme et participent, dans une certaine mesure, aux réflexions de l'écologie territoriale (cases en gris sombre).

²⁰⁵ Citation complète : “A resilient social-ecological system has the ability to respond to perturbations while preserving the functioning and identity of the system. In general, resilient systems have the ability (1) to absorb shocks and stresses, (2) to self-organize, and (3) to learn and adapt”

Homo industrialis ?²⁰⁶

Il est important pour le propos de la thèse de se doter d'outils et de concepts permettant l'étude de la rupture métabolique et de sa résorption. Il ne s'agit pas ici de hiérarchiser les approches entre elles, ce qui entraînerait nécessairement un conflit d'usage du vocabulaire. L'objectif est de montrer en quoi les racines communes des différents champs de recherche peuvent se rejoindre au sein d'une vision englobante, qui est la seule permettant de considérer l'intégralité de la problématique de cette recherche. Utiliser « écologie industrielle » comme terme générique pour désigner ce champ englobant, qu'il semblerait plus pertinent d'appeler « écologie de l'anthroposphère », est un choix fait dans l'objectif de simplifier le discours. L'ambition de cette recherche est en effet bien éloignée de celle qui consisterait à proposer une évolution conceptuelle des sciences de la durabilité vers de nouveaux paradigmes épistémologiques. Le terme « écologie industrielle » a l'avantage d'être très ancré dans le champ académique et a, de fait, permis de mobiliser des communautés de pratiques très différentes (Cerseau, 2014). Notons tout de même que ce choix est loin d'être neutre. Il implique un fort parti pris implicite qui entérine le fait que les activités humaines, à l'échelle de l'anthroposphère, ont nécessairement une forme industrielle. Le modèle de production industriel correspond à la concentration et à l'intensification des moyens de production, et a jusqu'à présent toujours été rattaché à un modèle économique basé sur la croissance, qui accroît mécaniquement les impacts environnementaux (Parrique, 2019). Il s'agit cependant d'un phénomène très récent à l'échelle de l'histoire humaine, bien qu'ayant eu des conséquences majeures sur les perturbations environnementales des dernières décennies (Fressoz et Bonneuil, 2013). Conserver dans l'absolu le terme « écologie industrielle » pour désigner un champ englobant présenterait un frein important pour la discipline, tant pour l'imagination de voies de durabilité en dehors du système industriel que pour sa capacité à remettre en cause l'hégémonie de ce système de production. Il s'agit notamment d'un fort point de tension avec l'approche de l'écologie territoriale par les régimes socio-écologiques, étant donné que ce cadre théorique appelle à s'extraire du régime industriel (Fischer-Kowalski et Haberl, 2007). Nous laisserons aux épistémologues intéressés par les embryons de propositions faites dans ce travail le soin de développer et consolider ce cadre s'ils l'estiment pertinent.

²⁰⁶ Formule empruntée à Lefèvre et Luzi, 2017, dont le propos est très acerbe envers la civilisation industrielle.

A-2 Les différentes voies de traitement des PRO

Cette section décrit de manière synoptique et non exhaustive cette diversité des modes de traitement et leurs grands principes, représentés sur la Figure 17 du Chapitre 2.

A-2.1 Description des principes de traitement de déchets

Voies biologiques

Les voies **biologiques** impliquent la transformation des matières organiques par des êtres vivants, qui dégradent et décomposent la matière en éléments plus simples. Ceux-ci peuvent être des microorganismes, des micro- ou macro-algues, des invertébrés (lombrics, larves de mouche) ou encore des macro-organismes (poissons d'élevage, bétail). Les deux voies biologiques les plus communes pour traiter les déchets solides, le compostage et la méthanisation, impliquent des transformations par l'action de micro-organismes (Bayard et Gourdon, 2007). La principale différence entre ces deux techniques est que le compostage est une biodégradation en présence d'oxygène, dite aérobie, à l'inverse de la méthanisation qui se fait en absence d'oxygène – anaérobie. Le compostage implique une forte montée une température garantissant une hygiénisation du compost et une réduction importante du volume des PRO. La méthanisation (ou digestion anaérobie) nécessite au contraire un apport en chaleur, afin de maintenir une température constante. Elle produit une phase liquide ou solide (digestat) et une phase gazeuse appelée biogaz. Celui-ci est composé environ pour moitié de méthane (CH₄). Le digestat est moins stable biologiquement que le compost et peut à nouveau subir des dégradations en voie aérobie. Il concentre l'essentiel des nutriments, y compris l'azote dont une partie est sous forme d'ammoniaque (volatil). L'épuration des eaux urbaines implique également des transformations par des micro-organismes, combinant des processus aérobie et anaérobie – nitrification/dénitrification – de manière à consommer le carbone et à accélérer le cycle de minéralisation de l'azote en N₂. Une autre voie biologique courante impliquant des microorganismes est la fermentation, permettant de transformer les sucres en alcool. Un autre moyen de traitement est la fermentation alcoolique, qui s'effectue sur des matières particulières, riches en sucres simples (C₆H₁₂O₆), transformées en éthanol (C₂H₅OH) par l'intermédiaire de levures, qui captent une partie de l'azote et du carbone pour leur développement. Les microorganismes ne sont pas les seuls agents biologiques utilisés dans le traitement des PRO. L'utilisation d'organismes plus gros, comme des insectes ou des algues (Polprasert et Koottatep, 2017), permet d'accélérer certains processus de dégradation, ou de concentrer des nutriments et des protéines dans des corps manipulables, qui pourront mieux être valorisés par la suite (Huang *et al.*, 2021 ; Lalander *et al.*, 2019), par exemple parce que la concentration de certains polluants y est réduite (Bohm *et al.*, 2022). Selon leurs caractéristiques, les PRO transformés peuvent être utilisés en alimentation animale voire humaine – sous forme de protéines, en biostimulants pour l'agriculture, ou transformés en vecteurs énergétiques. D'autres procédés biologiques plus innovants se basent sur certains métabolismes particuliers permettant par exemple la bio-électrolyse (Zamora *et al.*, 2017), la pile à bactérie (Archer et Steinberger-Wilckens, 2018), la synthèse de biopolymères ou même l'extraction de métaux (Puyol *et al.*, 2017).

Voies thermiques

Les voies **thermiques** impliquent une élévation forte de la température et éventuellement de la pression (Antonini, 2005). La présence ou non d'oxygène est déterminante, car elle déterminera si les déchets seront oxydés lors d'une réaction exothermique, ou réduits dans un procédé endothermique, auquel il faut alors fournir la chaleur. Le procédé thermique le plus courant pour les déchets solides est l'incinération, qui permet de réduire au maximum leur masse, en produisant une énergie thermique valorisable directement ou indirectement. En l'absence d'oxygène, les voies thermiques peuvent également être utilisées pour décomposer la matière organique en composés organiques réduits, en vue d'une valorisation énergétique ultérieure. Ces réactions anaérobies permettent de produire des combustibles gazeux (H_2), liquides (biodiésel, hydrocarbures), ou solides (biochar, hydrochar). La température permet de décomposer certains polluants organiques difficilement biodégradables, mais conserve les métaux. Certains procédés complémentaires sont parfois nécessaires pour convertir le produit obtenu après traitement en un produit énergétique utilisable sur le marché. Ainsi, le gaz de synthèse (syngaz) peut être utilisé pour reformer divers vecteurs énergétiques. Des procédés thermiques similaires peuvent également être utilisés pour traiter des effluents liquides. On parle d'oxydation hydrothermale lorsque la réaction se passe en présence d'oxygène, et de carbonisation, liquéfaction ou gazéification hydrothermale en l'absence d'oxygène. Ces processus sont similaires à ceux qui conduisent à la formation d'hydrocarbures dans les fonds océaniques à haute température et haute pression.

Voies physico-chimiques

Les voies **physico-chimiques** font intervenir des réactions chimiques ou des processus physiques maîtrisés afin de transformer, traiter, et convertir la matière dans des formats qui simplifient sa manipulation ou sa valorisation. Elles incluent des opérations aussi diversifiées que l'adsorption, l'absorption, le stripping, la précipitation, la filtration, le lavage, le séchage, le chaulage, l'acidification, le reformage, la réaction catalytique, la distillation, ... Elles peuvent ainsi permettre l'extraction de matières d'intérêt ou de polluants (molécules, métaux...), (Kirchmann *et al.*, 2017 ; Martin *et al.*, 2020). Elles peuvent aussi transformer la matière en vue de la rendre valorisable, comme c'est notamment le cas pour la synthèse de biocarburants par transestérification de substrats riches en graisses (Clark et Deswarte, 2015).

A-2.2 Principales réglementations influençant la symbiose territoriale bioéconomique

Retour au sol des résidus organiques

La réglementation évolue dans un sens qui vise à augmenter le volume de matières recyclées. Depuis 2015, la Loi sur la Transition Écologique pour une Croissance Verte (LTECV) impose aux gros producteurs de biodéchets de trier à la source et valoriser ces déchets. La directive européenne de 2018 relative à la gestion des déchets impose la généralisation de ce tri pour tous les producteurs de biodéchets, y compris les particuliers, à l'horizon 2023. Les collectivités ont d'ores et déjà l'obligation d'appliquer la collecte séparée lorsqu'elles sont productrices des flux, et peuvent proposer une collecte à d'autres acteurs professionnels. Dans la feuille de route de l'économie circulaire (FREC) (République Française, 2018), le volet agricole précise les orientations nationales et les principes de gestion des biodéchets. Pour l'instant, la

réglementation pour le retour au sol des matières organiques découle des normes NFU44051 et NFU44095, qui autorisent les produits répondant à certaines caractéristiques. La FREC a pour but de mettre en place la sortie du statut de déchet de certaines matières, dans le cadre d'un "pacte de confiance" (Marois, 2019), qui vise à trouver un équilibre entre retour au sol et gestion du risque de pollution. Dans cette logique, la qualité des matières entrantes dans les procédés aura une importance déterminante, d'où l'exclusion, pour l'instant, des boues de STEP. Les collectivités doivent également commencer à mettre en place les filières pour le tri à la source des particuliers.

Réglementation sanitaire

Le recyclage des biodéchets est également soumis à la réglementation sanitaire européenne 142/2011, car les produits concernés sont considérés comme des sous-produits animaux de catégorie 3 (SPAn C3). Ces produits représentent notamment un risque élevé en termes de santé animale (risque d'épizootie), et par répercussion un risque sur la santé humaine. Afin de prévenir ces risques, une hygiénisation des flux doit être faite, au plus près de la collecte. Concernant le compostage centralisé, du fait des fortes températures atteintes au cours du processus, et sous réserve de contrôle de ces paramètres, une hygiénisation supplémentaire n'est pas requise. A cet égard, le traitement des biodéchets en compostage de proximité est accepté bien qu'il soit impossible d'en contrôler précisément les conditions, mais le compost ne peut en contrepartie pas être utilisé en agriculture. En revanche, les paramètres de fonctionnement des procédés de méthanisation favorisent le développement des pathogènes, et une hygiénisation doit être effectuée en amont.

Réglementations sur l'azote

La problématique de fuite des nitrates vers l'environnement est particulièrement présente sur la zone d'étude, notamment car elle fait partie du bassin Seine-Normandie. Dans la région Ile-de-France, la DRIEE est une instance publique ayant pour mission la mise en œuvre de politiques de protection de l'environnement, et notamment les modalités de protection des eaux et milieux aquatiques. La zone, et de manière plus générale, l'intégralité du département des Yvelines, est notamment considérée comme une zone sensible vis-à-vis du traitement des eaux résiduaires urbaines, et une zone vulnérable vis-à-vis de la pollution aux nitrates d'origine agricole. La catégorie "zone sensible" établit des normes de rejets strictes pour les stations d'épuration de plus de 10k eqH. La catégorie "zone vulnérable" implique un programme d'action régional de mesures spécifiques visant à limiter la pollution azotée issue de l'agriculture. Les mesures en vigueur sont décrites dans le 5e plan d'action nitrates d'Ile-de-France (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2016) qui comporte 8 axes. Ces axes imposent notamment : (1) des périodes d'interdiction d'épandage, (2) l'étanchéité des ouvrages de stockage d'effluents d'élevage, (3) une limitation de la dose d'épandage de fertilisants azotés en prenant en compte les doses recommandées par le COMIFER, (4) l'établissement d'un plan de fumure et d'un cahier d'enregistrement des pratiques, (5) une limitation de la quantité d'azote issue d'effluents d'élevage pouvant être apportée à 170 kgN par hectare par an, (6) des modalités spécifiques pour les conditions d'épandage, (7) la couverture des sols par des cultures intermédiaires et (8) la couverture végétale permanente le long de certains cours d'eau.

B Annexe de la partie II

B-1 Annexe du chapitre 5

B-1.1 Présentation étendue des cas d'étude

Tableau 47 : Selection and main characteristics of case studies. Country names are presented according to ISO 3166. Continent abbreviations: AS, Asia; EU, Europe; NA, North America; OC, Oceania; SA, South America. Corpus 1, Boons et al.; 2016; Corpus 2, Mortensen and Kørnøv, 2019. Emergence, Governance, and Serendipity are defined in Section 5.2.4 and B-1.3. ID: Industrial Diversity as defined in Section 2.2.1. AT, Anchor Tenant, as defined in Section 2.2.1. NA, Not Assessable.

Name, Country, Continent	Corpus	Emergence	Governance	Serendipity	Type of Activities (SCN A38)	ID	AT	AT Sector	BE-IS (OM-Synergies)	Range	Boundaries	Ref.
Kalundborg, DK, Eu	1	Internal	Self-organized	Goal-Directed	A, CD, CE, CF, CG, D, O	6	Yes	D CD	Yes	Medium	Time	(Dome nech et Davies, 2011 ; Ehrenfeld et Gertler, 1997 ; Jacobson, 2006)
Styria, AT, Eu	1	Internal	Self-organized	Serendipitous	A, CB, CC, CD, CE, CG, CH, D, E, O	9	No	-	Yes	Very Large	None	(Schwarz et Steininger, 1997)
Guayama, PR, NA	1	Internal	Self-organized	Goal-Directed	CD, CF, CG, CH, CM, D	6	Yes	D	No	Small	Time	(Chertow et Lombardi, 2005)
Kwinana, AU, Oc	1	Internal	Facilitated	Goal-Directed	A, CD, CE, CG, CH, D; E, H	8	No	-	Yes	Medium	Spa, Soc, Tech	(van Beers et al., 2008 ; Van Berkel et al., 2006)
Gladstone, AU, Oc	1	Internal	Facilitated	Serendipitous	B, CE, CG, CH, D, H	6	No	-	No	Medium	Spa	(van Beers et al., 2008)
Nanjangud, IN, As	1	Internal	Self-organized	Serendipitous	A, CA, CD, CE, CG	5	Yes	CA	Yes	Large	None	(Bain et al., 2010)

Annexe de la partie II

<i>Jyväskylä, FI, Eu</i>	1	Internal	Self-organized	Goal-Directed	A, CC, D, F, O	4	Yes	D	Yes	Medium	Time	(Korhonen, 2001)
<i>Kuusankoski (KYMI EIP), FI, Eu</i>	1	Internal	Self-organized	Serendipitous	A, CC, CE, D, E	5	Yes	CC	Yes	Medium	None	(Pakarinen <i>et al.</i> , 2010 ; Sokka <i>et al.</i> , 2011)
<i>Guitang Group, CH, As</i>	1	Internal	Self-organized	Goal-Directed	A, CA, CC, CE, CG	5	Yes	CA	Yes	Medium	None	(Zhu <i>et al.</i> , 2007 ; Zhu et Cote, 2004)
<i>British Sugar, GB, Eu</i>	1	Internal	Self-organized	Serendipitous	A, CA, CE, CG, D	5	Yes	CA	Yes	Large	None	(Short <i>et al.</i> , 2014)
<i>Humber Industrial Symbiosis Program, GB, Eu</i>	1	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	A, CA, CD, CG, CM, D, E	7	No	-	Yes	Large	Spa, Soc, Tech	(Mirata, 2004)
<i>West-Midlands Industrial Symbiosis Program, GB, Eu</i>	1	Hybrid	Facilitated	Serendipitous	CA, CE, CG, CL, CM, D, I, MB, O, R	6	Yes	CG	Yes	Large	Spa	(Mirata, 2004)
<i>Rotterdam Harbour and Industry Complex, NL, Eu</i>	1	Internal	Facilitated	Goal-Directed	CD, CE, CG, CH, D, O	5	No	-	No	Large	Soc, Time	(Baas et Boons, 2004, 2007)
<i>Ulsan, KR, As</i>	1	External	Facilitated	Goal-Directed	CC, CD, CE, CG, CH, CL, D, E, O	8	No	-	No	Medium	Spa, Time	(Behera <i>et al.</i> , 2012 ; Park <i>et al.</i> , 2008)
<i>Tianjin Economic-Technological Development Area (TEDA), CH, As</i>	1	External	Facilitated	Goal-Directed	CE, CH, CI, CL, D, E	6	No	-	No	Large	Spa, Time	(Shi <i>et al.</i> , 2010, 2012a)
<i>Fort Devens Army Base, US, NA.</i>	1	External	Facilitated	Goal-Directed	CC, CE, CF, CI, CK, CM, E, H, I, JA, MC, O, P, R	8	No	-	No	Small	Spa	(Veleva <i>et al.</i> , 2015)

ANNEXES

<i>Händelö island, SE, Eu</i>	1	Internal	Facilitated	Serendipitous	A, CE, D, E, O	4	Yes	D	Yes	Medium	None	(Baas, 2011 ; Martin et Eklund, 2011)
<i>Biopark Terneuzen, NL, Eu</i>	1	External	Facilitated	Goal-Directed	A, CA, CD, CE, D, E, H	7	No	-	Yes	Medium	Tech	(Spekkinck, 2013)
<i>Zhejiang Hangzhou Bay Shangyu Industrial Area (SYLA), CN, As</i>	1	Internal	Self-organized	Serendipitous	CE, D, E	3	No	-	No	Medium	Spa	(Tian <i>et al.</i> , 2012b, 2012a)
<i>Campbell Industrial Park (Hawai), US, / Porto Marghera, IT, Eu</i>	1	Internal	Self-organized	Serendipitous	B, CD, CG, D, E, R	5	Yes	D	No	Medium	Spa	(Chertow et Miyata, 2011)
	2	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	CD, CE, D, E	4	No	-	No	Small	Spa, Soc	(Mannino <i>et al.</i> , 2015)
<i>Industrial Symbiosis Platform (Sicily), IT, Eu</i>	2	Hybrid	Facilitated	Serendipitous	A, CA, CC, CE, CG, CH, CI, CJ, CK, CM, D, E, F, G, H, M, N, Q, S	15	No	-	Unknown	Very Large	Spa	(Cutaia <i>et al.</i> , 2015)
<i>Relvao Eco Industrial Park, PT, Eu</i>	2	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	A, CC, CE, E	4	Yes	E	Yes	Medium	Spa, Soc, Tech	(Costa et Ferrão, 2010)
<i>Barceloneta, PR, NA</i>	2	Internal	Self-organized	Goal-Directed	A, CA, CE, CF, D, E	6	Yes	CF	Yes	Large	None	(Ashton, 2009)
<i>Northern Region Industrial Estate (NRIE), TH, As</i>	2	External	Planned	Goal-Directed	CA, CK, CI, CM	4	No	-	Unknown	Small	Spa, Soc, Time	(Panyathanakun <i>et al.</i> , 2013)
<i>Santa Cruz EIP, BR, SA</i>	2	External	Facilitated	Goal-Directed	CE, CG, CH, CM, D, E, N	6	No	-	No	Medium	Spa, Time	(de Ruiz, 2013 ; Elabras Veiga et Magrini, 2009)

Annexe de la partie II

<i>Paracambi, BR, SA</i>	2	External	Planned	Goal-Directed	CB, CE, CG, CH, CJ, D, E	7	yes	D	No	Large	Spa, Soc, Time	(Elabrais Veiga et Magrini, 2009)
<i>Bazancourt-Pomacles, FR, Eu</i>	2	Internal	Facilitated	Goal-Directed	A, CA, CE, H, M, O, P	4	yes	CE	Yes	Medium	Soc, Tech	(Chauvet et al., 2013)
<i>Kawasaki, JP, As</i>	2	External	Facilitated	Goal-Directed	CC, CE, CG, CH, E	5	yes	CG	Yes	Medium	Spa, Soc, Tech	(Van Berkel et al., 2009b, 2009a)
<i>Deux Synthe, FR, Eu</i>	2	Hybrid	Facilitated	Goal-Directed	A, CE, CG, CH, D, E, F	7	No	-	No	Medium	Spa, Soc	(Beaurain et Varlet, 2015)

B-1.2 Liste des synergies incluant de la matière organique

Tableau 48 : Listes des synergies incluant de la matière organique observées dans les cas d'étude

<i>BE-IS</i>	<i>FROM</i>	<i>FROM NACE</i>	<i>Type of producer</i>	<i>WHAT</i>	<i>TO</i>	<i>TO NACE</i>	<i>Type of reciever</i>	<i>Product / Use</i>	<i>Type of Use</i>	<i>GENERAL Type of Use</i>	<i>Narrative</i>	<i>Narrative</i>
<i>Kalundgborg</i>	Novo Nordisk (Pharmaceutical)	CF	Other Industry	NovoGro (Yeast biomass residue)	Biogas Plant	E	Waste	Biogas	Energy (indirect)	Indirect	Biogas and Biofuel	Global Biorefinery
<i>Kalundgborg</i>	Novo Nordisk (Pharmaceutical)	CF	Other Industry	Yeast slurry	Biogas Plant	A	Agriculture	spreading	Agricultural (Direct)	Direct	Agriculture	Metabolic resource
<i>Kalundgborg</i>	Water Plant	E	Waste	Sludge	Farmers	A	Agriculture	spreading	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Kalundgborg</i>	Novo Nordisk (Pharmaceutical)	CF	Other Industry	Biomass residue (potato and corn starch)	NovoNordisk	CF	Waste	Fertilizer	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Metabolic biorefinery
<i>Styria</i>	Paper producing industry	CC	Wood Industry	Bark	Paper producing industry	CC	Wood Industry	Recycling	Raw Material	Indirect	Recycling	Metabolic resource
<i>Styria</i>	Paper producing industry	CC	Wood Industry	Waste paper, carton	Paper producing industry	CC	Wood Industry	Recycling	Raw Material	Indirect	Recycling	Metabolic resource
<i>Styria</i>	Paper producing industry	CC	Wood Industry	Waste paper, carton	Waste paper dealer	E	Waste	Recycling	Raw Material	Indirect	Recycling	Metabolic resource
<i>Styria</i>	Saw mill	CC	Wood Industry	Wood residual	Paper producing industry	CC	Wood Industry	Recycling	Raw Material	Indirect	Recycling	Metabolic resource
<i>Styria</i>	Saw mill	CC	Wood Industry	Wood residual	Stone and Ceramic industry	CG	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Styria*</i>	Textile Industry	CB	Other Industry	Textile waste	Stone and Ceramic industry	CG	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Styria*</i>	Chemical industry	CE	Chemical Industry	pine oil pitch	Stone and Ceramic industry	CG	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Styria</i>	Agricultural associations	A	Agriculture	Residue from flax refining	Stone and Ceramic industry	CG	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Kwinana</i>	Alumina Refinery	CH	Other Industry	Domestic organic waste	Worm Farm	A	Agriculture	Input for worm farm	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource

<i>Kwinana</i>	Water supply and treatment company	E	Waste	Biosludge	Turf Farm	A	Agriculture	Waste fertilizer	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Nanjangud</i>	Sugar Cane Refinery	CA	Agro-Industry	Press mud and Molasses	Distillery	CE	Chemical Industry	Alcohol	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Nanjangud</i>	Food processing facilities	CA	Agro-Industry	Spent Coffee grounds	Oil extraction facility	CE	Chemical Industry	Extraction	Product	Indirect	Biorefinery	Metabolic biorefinery
<i>Nanjangud</i>	Plywood manufacturer	CC	Wood Industry	Sawdust	Oil extraction facility	CE	Chemical Industry	Heat?	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Nanjangud</i>	Oil extraction facility	CE	Chemical Industry	Biomass boiler fuel	Food processing facilities	CA	Agro-Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Nanjangud</i>	Oil extraction facility	CE	Chemical Industry	Biomass boiler fuel	Other industries (Garment Manufacturer & Electrical Insulation)	CM	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Jyväskylä</i>	Plywood mill	CC	Wood Industry	Waste wood	Boiler plant	D	Energy	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Jyväskylä</i>	Plywood mill	CC	Wood Industry	Waste wood	CHP	D	Energy	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Kuusankoski (KYMI EIP)</i>	Forest Ecosystem	A	Agriculture	Wood residual	Power plant	D	Energy	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Kuusankoski (KYMI EIP)</i>	Paper mill	CC	Wood Industry	Bark	Power plant	D	Energy	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Kuusankoski (KYMI EIP)</i>	WWTP	E	Waste	Sludge	Power plant	D	Energy	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Guitang Group</i>	Sugar Refinery	CA	Agro-Industry	Molasse	Alcohol Plant	CE	Chemical Industry	Alcohol	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Guitang Group</i>	Sugar Refinery	CA	Agro-Industry	Bagasse	Pulp Plant	CC	Wood Industry	Pulp	Raw Material	Indirect	IS	Metabolic resource
<i>Guitang Group</i>	Sugar Refinery	CA	Agro-Industry	Filter mud	Cement mill	CM	Other Industry	Cement	Raw Material	Indirect	IS	Metabolic resource
<i>Guitang Group</i>	Alcohol Plant	CE	Chemical Industry	Alcohol residue	Fertilizer Plant	CE	Chemical Industry	Fertilizer	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Metabolic biorefinery
<i>British Sugar</i>	Slicing operation	CA	Agro-Industry	Pulp	Pulp press	CA	Agro-Industry	Animal feed	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Global Biorefinery

<i>British Sugar</i>	Tomato Horticultuer	A	Agriculture	Compost	Tomato Horticultuer	A	Agriculture	spreading	Agricultural (Direct) Product	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>British Sugar</i>	Crystallisation operation	CE	Chemical Industry	Residual Resin	Resin separation	CE	Chemical Industry	Betaine	Product	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>British Sugar</i>	Resin separation	CE	Chemical Industry	Residual Resin	Fermentation and Distillation	CE	Chemical Industry	Bioethanol	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Food & Fish Processing	CA	Agro-Industry	Waste Edible Oil	Bio-Diesel Production	CE	Chemical Industry	Bio-Diesel	Energy (indirect)	Indirect	Biogas and Biofuel	Global Biorefinery
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Food & Fish Processing	CA	Agro-Industry	Waste Edible Oil	Refineries	CE	Chemical Industry	Refined products	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Food & Fish Processing	CA	Agro-Industry	Organic Waste	Gasifier	E	Waste	Biogas	Energy (indirect)	Indirect	Biogas and Biofuel	Global Biorefinery
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Food & Fish Processing	CA	Agro-Industry	Offal	Protein extraction	CE	Chemical Industry	Protein	Product	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Food & Fish Processing	CA	Agro-Industry	Organic Waste	Pet Food	CA	Agro-Industry	Pet Food	Product	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Food & Fish Processing	CA	Agro-Industry	Organic Waste	Local Farms	A	Agriculture	Direct use	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	WWTP	E	Waste	Dry Organic Pellets	Gasifier	E	Waste	Biogas	Energy (indirect)	Indirect	Biogas and Biofuel	Global Biorefinery

<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	WWTP	E	Waste	Dry Organic Pellets	Local Farms	A	Agriculture	Dry Organic Pellets	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Humber Industrial Symbiosis Program</i>	Furniture Production	CM	Other Industry	Wood Dust and Chips	Local Farms	A	Agriculture	mulch?	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>West-Midlands Industrial Symbiosis Program</i>	Food processors & Restaurants	CA	Agro-Industry	Waste Edible Oil	Bio-fuel production	CE	Chemical Industry	Biofuel	Energy (indirect)	Indirect	Biogas and Biofuel	Global Biorefinery
<i>Händelö island</i>	Agroetanol Plant (Etanol + Animal Protein)	CE	Chemical Industry	Stillage	Biogas Plant	E	Waste	Biogas	Energy (indirect)	Indirect	Biogas and Biofuel	Metabolic biorefinery
<i>Händelö island</i>	Agroetanol Plant	CE	Chemical Industry	Stillage	Biogas Plant	E	Waste	Bio-fertilizer	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Metabolic biorefinery
<i>Händelö island</i>	Agroetanol Plant	CE	Chemical Industry	Remaining fodder	Livestock fodder	A	Agriculture	Animal feed	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Biopark Terneuzen</i>	Cargill	CA	Agro-Industry	Starch residue	Alcohol Factory	CE	Chemical Industry	Alcohol	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Relvao Eco Industrial Park</i>	Pulp and paper producer	CC	Wood Industry	Ash	Fertilizer Producer	CE	Chemical Industry	Fertilizer	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Global Biorefinery
<i>Relvao Eco Industrial Park</i>	Municipal Waste	E	Waste	Biomass	Pulp and paper	CC	Wood Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Relvao Eco Industrial Park*</i>	Biomass processor	CC	Wood Industry	Biomass	Pulp and paper	CC	Wood Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Relvao Eco Industrial Park</i>	Aviary	A	Agriculture	Sludge	Fertilizer Producer	CE	Chemical Industry	Fertilizer	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Global Biorefinery

<i>Relvao Eco Industrial Park</i>	WWTP	E	Waste	Sludge	Fertilizer Producer	CE	Chemical Industry	Fertilizer	Agricultural (Indirect)	Indirect	Agriculture	Global Biorefinery
<i>Barceloneta</i>	Pharmaceutical Firms	CF	Other Industry	Fermentation Residue	Animal feed	A	Agriculture	Animal feed	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Barceloneta</i>	Treated Sludge	E	Waste	Treated sludge	Hay Farm	A	Agriculture	spreading	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Bazancourt-Pomacles</i>	Sugar Refinery	CA	Agro-Industry	beet residue	Ethanol production	CE	Chemical Industry	Alcohol	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Bazancourt-Pomacles</i>	Starch Plant	CA	Agro-Industry	Wheat Residue	Ethanol production	CE	Chemical Industry	Alcohol	Energy (indirect)	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Bazancourt-Pomacles</i>	Starch Plant	CA	Agro-Industry	Wheat Residue	Acid Production	CE	Chemical Industry	Acid	Product	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Bazancourt-Pomacles</i>	Starch and Sugar Plant	CA	Agro-Industry	Treated sludge	Local Farms	A	Agriculture	spreading	Agricultural (Direct)	Agriculture	Agriculture	Metabolic resource
<i>Bazancourt-Pomacles</i>	Starch Plant	CA	Agro-Industry	Wheat Residue	Industrial Pilots	CE	Chemical Industry	Green Chemistry Products	Product	Indirect	Biorefinery	Global Biorefinery
<i>Kawasaki</i>	Municipal WWTP	E	Waste	Sewage Sludge	Cement Factory	CM	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Kawasaki</i>	Municipal WWTP	E	Waste	Sewage Sludge	Cement Factory	CM	Other Industry	Alternative raw material	Raw Material	Indirect	Biorefinery	Metabolic resource
<i>Kawasaki</i>	Paper Mill	CC	Wood Industry	Sewage Sludge	Cement Factory	CM	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource
<i>Kawasaki</i>	Commercial and Industrial Waste Collector	E	Waste	Organic Waste	Cement Factory	CM	Other Industry	Heat	Energy (direct)	Energy	Energy Valorization	Metabolic resource

B-1.3 Précisions sur la typologie de symbioses industrielles à trois dimensions

IS corresponds to a high diversity of different situations. Capturing this diversity with a robust and consistent framework is a prerequisite for analyzing the presence of BE within this range of different practices. Chertow (2000) proposed the first distinction between different IS types, based on the scale of the synergy network and the nature of the synergies involved. Following this seminal work, authors have analyzed specific characteristics of IS and established unidimensional descriptions. The most acknowledged distinction is between self-organized and planned ISs (Chertow, 2007). However, its relevance tends to decrease with the increasing diversity of case studies. Some multidimensional descriptions of ISs have also been proposed. Golev and Corder (2012) introduced a description system to evaluate the performance of ISs in reaching environmental or economic goals, allowing comparisons to be made between different case studies. (Cerceanu et al. (2014b) analyzed the relation between the geographical and temporal dimensions of industrial ecology initiatives in port cities. The advantage of such typologies is that they allow the differentiation and comparison of ISs according to accurate criteria. They provide precious knowledge of different types of ISs according to specific dimensions. Lately, a significant contribution was made by (Boons *et al.*, 2016), through a typology of ISs intended to overcome what the authors call the “problem of equivalence”. This typology considers IS a dynamic process, and the authors introduce a generic sequence of events to compare different case studies. They identified seven distinct IS types, which are (1) self-organization, (2) organizational boundary change, (3) facilitation—brokerage, (4) facilitation—collective learning, (5) pilot facilitation and dissemination, (6) government planning, and (7) eco-cluster development. Although this work remains the most comprehensive to date, no consensus on IS typology has emerged, as we can observe that recent IS reviews (Neves *et al.*, 2020 ; Vahidzadeh *et al.*, 2021) do not specifically refer to this typology—nor do they propose a new one. Moreover, this typology does not rely on clearly formulated criteria, which makes it difficult to use as a comparative tool. These are the reasons why we introduce new descriptive characteristics in this section.

Emergence des symbioses

IS literature has long studied the emergence of initiatives, and makes a distinction between bottom-up cases, such as the historical example of Kalundborg (Ehrenfeld et Gertler, 1997), and top-down cases in which IS is pushed by an external policy. A middle-out approach was also described in some studies (Costa et Ferrão, 2010). The important question, addressed by the emergence dimension, is “Who is the initiator of the IS?”. Relevant knowledge includes whether the IS emerged by itself, with internal co-located actors, or if it was induced by external actors. As we describe further, this dimension must be separated from the governance process that takes place after IS emergence. We propose new terms to explicitly refer to the emergence process, minimizing the risk of confusion with governance. Emergence of IS can be driven by (i) internal actors, (ii) external actors, or (iii) both internal and external actors.

Internal emergence: The IS emerges as actors spontaneously engage in synergies with each other. It begins with the cooperative behavior of individual actors. The actors, or groups of actors, that promote IS are directly involved in the synergies. It can be described as actor-driven, and refers to the traditionally-named bottom-up approach.

External emergence: The IS is initially a project promoted, suggested, or imposed by a third party, external to the symbiosis. This is, for instance, the case when public or academic actors drive IS dynamics through facilitation actions. We can call this type of IS policy-driven, or top-down symbioses.

Hybrid emergence: As suggested by Costa and Ferrão (2010) there might be significant contribution to the emergence of an IS from both internal and external actors. This refers to the middle-out situation, which we include as a midpoint between internal and external emergence.

Gouvernance dans la conception des synergies

It is often difficult to distinguish, in literature, the description of the emergence of the symbiosis and the governance that takes place once actors in synergy. The terms self-organized, facilitated, and planned, formalized by Chertow (2007), sometimes refer to the course of the IS (Domenech *et al.*, 2019), and sometimes to the emergence process (Baas, 2011). The meaning of those terms appears, then, to be similar to the meaning of, respectively, the terms bottom-up, middle-out, and top-down. However, the process of emergence can be distinguished from the governance of the synergies once the IS exists. The question raised by the governance dimension is “How are synergies between actors designed and agreed upon?”. The determining factor is the level of participation of actors in the synergy design. We propose the use of existing terminology, with a cautious definition of each term. Governance dimensions include, then, (i) self-organized, (ii) facilitated, and (iii) planned synergies.

Self-organized synergies: Synergies are bilateral contracts between actors, and fairly independent from each other. This corresponds to the maximal level of autonomy of the actors.

Facilitated synergies: Synergies are designed in a collective process involving the actors. The process can be facilitated by an internal or an external actor, and can involve the other actors to varying degrees. Facilitation actually refers to an extremely large range of practices, and the definition that we use for facilitation does not address this problem. This stems from the fact that there are no significant investigations in the literature that describe the different forms of facilitation. As this was not the purpose of our study, we cannot increase the accuracy of this term.

Planned synergies: The word ‘planned’ can evoke the planning of the IS (which is related to the emergence), but should here be understood as the planning of synergies. In planned ISs, synergies are designed by a third party, without involving the actors. Flow exchanges and technical solutions are analyzed separately from the actors. It encompasses the ‘engineered’ synergies (Côté et Cohen-Rosenthal, 1998) in the greenfield development of Eco-Industrial Parks. Extreme cases of planned ISs are rare, because the participation of actors, to at least some degree, is a prerequisite to engaging in synergies. The traditional distinction between self-organized and planned ISs is, then, of limited relevance, since the majority of cases that are not self-organized are facilitated, rather than planned.

Serendipity²⁰⁷

Paquin and Howard-Grenville (2012) coined the term ‘serendipity’ to designate the ability of actors to build new synergies independently from overarching goals, in opposition to goal-directed ISs. Baas and Boons (2004) also suggested this idea, distinguishing epistemic rationale, which corresponds to a “narrow economic/rational focus”, from adaptation rationale, which “allows a slow and cautious process by the intermediary organization”. Contrary to what might be intuitively thought, this dimension of IS cannot be directly inferred from other dimensions. For instance, facilitated ISs, which one might think of as necessarily goal-directed, can either foster or restrain the serendipity of actors. The important question to address is “What are the synergies for?”. New synergies can, in fact, serve either individual or collective interests. The distinction depends on what is considered a collective interest. In this work, we chose to consider implicit collective goals to be a goal-directed strategy. Such goals might not be loudly advocated by coordinating structures, but rather represent a shared vision of the situation, which strongly frames the quest for synergies and their purpose. These implicit goals can play a determinant role in ISs, and are generally the consequence of contextual situations or actions of external actors. We used the terms from Paquin and Howard-Grenville (2012), and kept similar definitions.

Serendipitous IS: The synergies pursue actors’ individual goals. The synergies are mainly guided by economic market dynamics and incentives.

Goal-Directed IS: The synergies pursue explicit or implicit collective goals. These goals can be given by a coordinating structure, or by the general context. Synergies can, for instance, be constrained by regulation, encouraged by a political action plan, or de-signed in a facilitation process.

B-2 Annexe du chapitre 6

B-2.1 Characteristics and references of case studies

Tableau 49 : Panel of case studies selected and outstanding characteristics

Name	Attributed Number	French Region	Coordinating structure	Perimeter of the initiative	Initiation year	Type of actors	IS feature (not exhaustive)	Function and seniority of interviewee	Ref.	Additional documents
Caux Seine Développement	I	Normandy	Economic Development Agency	Municipality	1972	Industrial	Water sharing	Facilitator (recently arrived)	1,3	5,6

²⁰⁷ Ce terme anglais n’est pas traduit, car il n’existe pas de terme en langue française l’exprimant de manière satisfaisante.

ANNEXES

Organic Vallée	II	Occitanie	Collaborative Enterprise	Industrial platform	2010	Rural	Territorial organic waste recycling	Director (present from the beginning)	2	7, 8, 9
Club d'Ecologie Industrielle de l'Aube	III	Great East	Association	Administrative department	2003	Industrial, rural and urban	Energy and material substitution	Director (present from the beginning)	1,3	10, 11
Biovallée	IV	Auvergne-Rhône-Alps	Association	Group of municipalities	1990	Industrial and rural	Mutual knowledge	General Secretary (recently arrived)	3	12, 13, 14, 15, 16, 17
3.EVA	V	Occitanie	Association	Group of municipalities	2014	Rural	Organic waste recycling	Facilitator (present from the beginning)	2	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
Sarrebourg Moselle Sud	VI	Great East	Collectivity	Municipality	2016	Rural	Mutual knowledge	Facilitator (recently arrived)	4	25, 26, 27, 28, 29
Bazancourt-Pomacle	VII	Great East	None	Industrial platform	1990	Industrial and rural	Energy and material substitution	Other (present from the beginning)	1,3	30, 31, 32, 33
CBE Sud Luberon	VIII	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Association	Associative perimeter	2013	Industrial, rural and urban	Mutual knowledge	Director (present from the beginning)	/	34, 35, 36, 37, 38, 39
Syded	IX	New Aquitaine	Waste management Syndicate	Municipalities belonging to the syndicate.	2010	Rural and urban	Organic waste recycling	Director (present from the beginning)	2	40, 41, 42
ValOrizon	X	New Aquitaine	Waste management Syndicate	Municipalities belonging to the syndicate.	2015	Industrial and rural	Eco-industrial park	Facilitator (present from the beginning)	2	43, 44, 45, 46

Annexe de la partie II

Initiatives Durables	XI	Great East	Association	Administrative region	2012	Industrial, rural and urban	Energy and material substitution	Director (present from the beginning)	3,4	47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54
Cyclad	XII	New Aquitaine	Waste management Syndicate	Municipalities belonging to the syndicate.	2017	Rural	Waste recycling	Facilitator (present from the beginning)	/	55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64
SOLTENA	XIII	New Aquitaine	Association	Administrative region	2009	Industrial, rural and urban	Support to initiatives	Facilitator (present from the beginning)	1,3	65, 66, 67, 68, 69
PIICTO	XIV	Provence-Alps-Cote d'Azur	Association	Industrial platform	2014	Industrial	Energy and material substitution	General Secretary (present from the beginning)	1,3	70

B-2.2 References for the case studies

Main references

1. Abitbol, L., Blavot, C., Duret, B., Georgeault, L., Mat, N., Rault, M., Valluis, C., 2014. L'écologie industrielle et territoriale : le guide pour agir dans les territoires. Paris, France.
2. Ademe, 2018. ConcerTO - Gestion territoriale de la matière organique. Ademe.
3. Orée, 2016. Le recueil des démarches d'écologie industrielle et territoriale 1-75.
4. Elipse, 2020. <http://www.referentiel-elipse-eit.org/>, visited on January 2021

Additional documents

5. AGENCE D'URBANISME LE HAVRE ESTUAIRE DE LA SEINE, (2011) Le 21^e siècle de l'estuaire de la Seine, n°1-6 ; 20p.
6. Caux Seine Développement (2017), Rapport annuel d'activité, 12p.
7. Organic Vallée (2018), Dossier de présentation, 16p.
8. Organic Vallée (2018), Stimuler l'essor de l'économie circulaire sur son territoire 15p.
9. SCORPOLINI-BURGER Agathe (2021), interview notes
10. Mélanie BRUNVAL et Emmanuelle PANNETIER (2011) COMETHE, livrables 1.7.8 et 9, Méthodologie, diagnostic territorial, études de faisabilité et préconisations - Démarche d'écologie industrielle menée sur les territoires de l'Aube.
11. <https://www.ceiaube.fr/>, visited in January 2021
12. Présentation du GPRA biovallée, <https://uniter.rhonealpes.fr/spip.php?rubrique36>, visited on January 2021
13. RTES (2014) BIOVALLÉE, UNE MARQUE AU SERVICE D'UN TERRITOIRE, available on <https://www.rtes.fr/biovallee-une-marque-au-service-d-un-territoire>, visited on January 2021
14. Biovallée (2019) Biovallée Quesako, available on <https://biovallee.net/territoire-et-transition-ecologique/biovallee-quesako/> visited on January 2021
15. <https://riviere-drome.fr/>, visited on January 2021,
16. Biovallée (2013), Dossier de presse, 13p.
17. Biovallée, Etude de préfiguration d'un éco-territoire de référence.

ANNEXES

18. <http://www.mavallee.co/le-ptce-3-eva/lhistoire-de-3-eva/>, visited on january 2021
19. 3.EVA (2018), Bilan d'activité, 2 p.
20. 3.EVA, (2017) Étude de faisabilité d'une plateforme territoriale de valorisation multi-déchets, 5p.
21. Groupement d'Intérêt Économique et Environnemental en Haute Vallée de l'Aude (2017), 22. Bulletin d'information n°1 (4p.), available on <https://www.coop-cavale.fr/bulletin-n1-giee/>, visited on january 2021
23. Groupement d'Intérêt Économique et Environnemental en Haute Vallée de l'Aude (2017), 24. Bulletin d'information n°3 (4p.), available on <https://www.coop-cavale.fr/bulletin-n3-giee/>, visited on january 2021
25. <http://www.referentiel-ellipse-eit.org/> visited on january 2021
26. Collectif Grand-Est (2019), Ecologie industrielle en Sud Moselle, territoire engagé du Grand Est!, available on <https://www.collectif-grandest.org/initiative/h/ecologie-industrielle-en-sud-moselle-territoire-engage-du-grand-est.html>, visited on january 2021
27. Environnement Moselle (2016), Sarrebourg/Moselle – Sud : une démarche d'écologie industrielle et territoriale, available on <https://www.blog.mosl.fr/environnement/sarrebourg-moselle-sud-une-demarche-d-ecologie-industrielle-et-territoire/>, visited on january 2021
28. Climaxion (2017), Deux nouvelles démarches d'écologie industrielle émergent dans le Grand Est, available on <https://www.climaxion.fr/actualites/deux-nouvelles-demarches-decologie-industrielle-emergent-grand-est>, visited on january 2021
29. Républicain Lorrain (2017) Entreprises du sud mosellan : un catalogue pour mutualiser ses ressources, available on <https://www.republicain-lorrain.fr/edition-de-sarrebourg-chateau-salins/2017/05/03/entreprises-du-sud-mosellan-un-catalogue-pour-mutualiser-ses-ressources>, visited on january 2021
30. Chauvet, J.-M., 2020. Des industries agroalimentaires de première transformation aux bioraffineries : exemple de Bazancourt-Pomacle, in: Baumberger, S. (Ed.), Chimie Verte et Industries Agroalimentaires. Sciences et Techniques Agroalimentaires, pp. 281–302.
31. Chauvet, J.-M., Allais, F., Hénaff, Y. Le, Schieb, P.-A., Théoleyre, M., 2013. La bioraffinerie de Bazancourt-Pomacle: Une plate-forme d'innovation ouverte au cœur d'un complexe agro-industriel. Actual. Chim. 375–376, 49–55.
32. Chauvet, J.-Marie, 2014. La bioraffinerie de Bazancourt--Pomacle: un modèle d'intégration au coeur du pôle IAR., Présentation, 33p.
33. <https://www.a-r-d.fr/>, visited on january 2021
34. <http://www.cbesudluberon.com/>, visited on january 2021
35. CBE Sud Luberon (2016), Livre Blanc, Mutation territoriale vers une économie circulaire en Sud Luberon et Val de Durance, available on :
36. http://www.nova-terra.net/assets/CBE_livre_blanc_HD_web.pdf, visited on january 2021
37. <http://www.nova-terra.net/>, visited on january 2021
38. République Française (2002), Décret n°2002-790 du 3 mai 2002 relatif aux comités de bassin d'emploi et au comité de liaison des comités de bassin d'emploi
39. CBE Sud Luberon (2013), Rapport d'activité
40. <https://www.syded-lot.fr/>, visited on january 2021
41. Syded du Lot (2015) Territoire Zéro Déchet Zéro Gaspillage. Dossier de candidature SYDED Haute-Vienne « Tous Eco Citoyens : zéro déchet, zéro gaspi »
42. Entraid' (2019) Rien ne se perd avec le co-compostage, available on <https://www.entraid.com/articles/rien-ne-se-perd-avec-le-co-compostage>, visited on january 2021
43. <https://www.valorizon.com/>, visited on january 2021
44. Le Républicain Sud Gironde (2014), Aiguillon: le SMIVAL 47 devient ValOrizon, available on https://actu.fr/nouvelle-aquitaine/langon_33227/aiguillon-le-smival-47-devient-valorizon_13692045.html, visited on january 2021
45. Recyclage Récupération (2014), Déchets : le Smival 47 se recycle et devient ValOrizon, available on <https://www.recyclage-recuperation.fr/archives-dechets-com/dechets-le-smival-47-se-recycle-et-devient-valorizon/>, visited on january 2021
46. ValOrizon (2018), Feuille de route départementale en faveur de l'économie circulaire et de la croissance verte. Conférence territoriale
47. <https://www.initiativesdurables.com/>, visited on january 2021
48. <http://www.ideealsace.com>, visited on january 2021
49. Idée Alsace (2018), Industriel de Mulhouse Alsace Agglomération, vous souhaitez optimiser vos ressources et gagner en efficacité? Avec Action Industrie Collaborative c'est possible! available on <http://www.ideealsace.com/component/content/article/139-nd59-4-decembre-2018/1146-fiches-ressources-aic-m2a>, visited on january 2021

Annexe de la partie II

50. Idée Alsace (2017), Entreprises de Mulhouse, venez mutualiser vos ressources !, available on <http://www.ideealsace.com/component/content/article/120-nd39-7-fevrier-2017/1006-action-industrie-collaborative>, visited on january 2021
51. Idée Alsace (2018), C'est parti pour la démarche EIT du Pays Rhin Vignoble Grand Ballon (PRVGB), available on, <http://www.ideealsace.com/component/content/article/135-nd54-5-juin-2018/1120-demarche-eit-du-pays-rhin-vignoble-grand-ballon>, visited on january 2021
52. <https://www.cles-ports-de-strasbourg.eu/>
53. Spectra (2008), L'Art et la Manière devient Idée Alsace, available on <https://www.spectra.fr/lalsace-lart-et-la-maniere-devient-idee-alsace/>, visited on january 2021
54. Dernières Nouvelles d'Alsace (20/09/2004), L'Alsace forge sa nouvelle signature
55. Préfet de la Charente Maritime (2019) Arrêté portant sur la modification des statuts du Cyclad
56. Optigede (2020), Cyclab : Le laboratoire d'innovation en économie circulaire de Cyclad, available on <https://www.optigede.ademe.fr/fiche/cyclab-le-laboratoire-dinnovation-en-economie-circulaire-de-cyclad>, visited on january 2021
57. Recita (2018), Cyclab : Le laboratoire d'innovation en économie circulaire de Cyclad, available on <https://www.recita.org/initiative/h/cyclab-le-laboratoire-dinnovation-en-economie-circulaire-de-cyclad.html>, visited on january 2021
58. Le petit économiste (2017), Un jeu de quilles, produit d'une collaboration exemplaire en économie circulaire, available on <http://www.lepetiteconomiste.com/Un-jeu-de-quilles-produit-d-une.7559>, visited on january 2021
59. Cyclad (2020), Qu'est-ce que Cyclab? available on <http://www.cyclad.org/page.php?P=127>, visited on january 2021
60. <http://www.tropheescyclab.fr/categories/laureats-2019/>
61. Banque des Territoires (2019), En Charente-Maritime, le laboratoire Cyclab invente un futur aux déchets (17), available on <https://www.banquedesterritoires.fr/en-charente-maritime-le-laboratoire-cyclab-invente-un-futur-aux-dechets-17>, visited on january 2021
62. France Info (2019), Cyclab lance le premier point de vente de produits recyclés à Surgères, available on <https://france3-regions.francetvinfo.fr/nouvelle-aquitaine/charente-maritime/cyclab-lance-premier-point-vente-produits-recycles-surgeres-1644556.html>, visited on january 2021
63. Sud Ouest (2015), Smictom Vals Aunis va devenir Cyclad, available on <https://www.sudouest.fr/2015/02/24/smictom-vals-aunis-va-devenir-cyclad-1839277-1469.php?nic>, visited on january 2021
64. Cyclad (2021), 56 tonnes de coquilles collectées, available on <http://www.cyclad.org/page.php?P=30&RA=84>, visited on january 2021
65. AsDF (2018) Fiche retour d'expérience Nouvelle Aquitaine : le pôle des éco-industries au service des entreprises, available on https://www.adcf.org/files/DOCS/REX-eco-circulaire/5_Fiche_REX_Pole_Eco-industries.pdf, visited on january 2021
66. Pôle Eco Industries (2015), L'économie Circulaire en Poitou-Charentes, état des lieux - mai 2015, available on https://soltena.fr/documents/piece_jointe/EC_Doc_Orientations.pdf, visited on january 2021
67. Economie Circulaire (2021), Pôle Eco-Industries, available on <https://www.economiecirculaire.org/company/h/pole-eco-industries.html>, visited on january 2021
68. Actu Environnement (2016) Pôle Eco-Industries : un centre de compétences en économie circulaire pour la grande région ALPC, available on <https://www.actu-environnement.com/ae/pdt/pole-eco-industries-poitou-charentes-economie-circulaire-787.php4>, visited on january 2021
69. <https://www.soltena.fr/>
70. <https://piicto.fr/>, visited on january 2021

B-2.3 Interview Guide

Usual opening question: Can you describe your role and the history of the initiative?

Dimensions to be investigated during the interview:

	Who	What	To Whom	Why	How	When	Governance
Beginning of the initiative How did the initiative emerge in the first place?	Who was the initiating actor?	What were the first actions taken? What were the actors told?	Who was included in the initiative?	What was the original project?	What were the circumstances surrounding the emergence?	Did the project emerge at a particular time?	/
Development of the initiative How did the action evolve?	Who carried the initiative?	What actions were taken?	Did the participating actor change? If so, how?	Did the purpose of the initiative change?	If yes, what led to these changes?	What was the influence of external events?	What is the role of each actor?

B-2.4 Graphical representation of possible responses

Figure 4 illustrates the modes of response (sections 2.5.2. and 3.1.2) by representing the relative position of target actors within the existing IS-I perimeter, and the openness to governance through this action. The IS-I perimeter represented in this figure may not be geographical, but rather correspond to actors already involved in the IS-I actions (depending on whether or not the action is institutionalized).

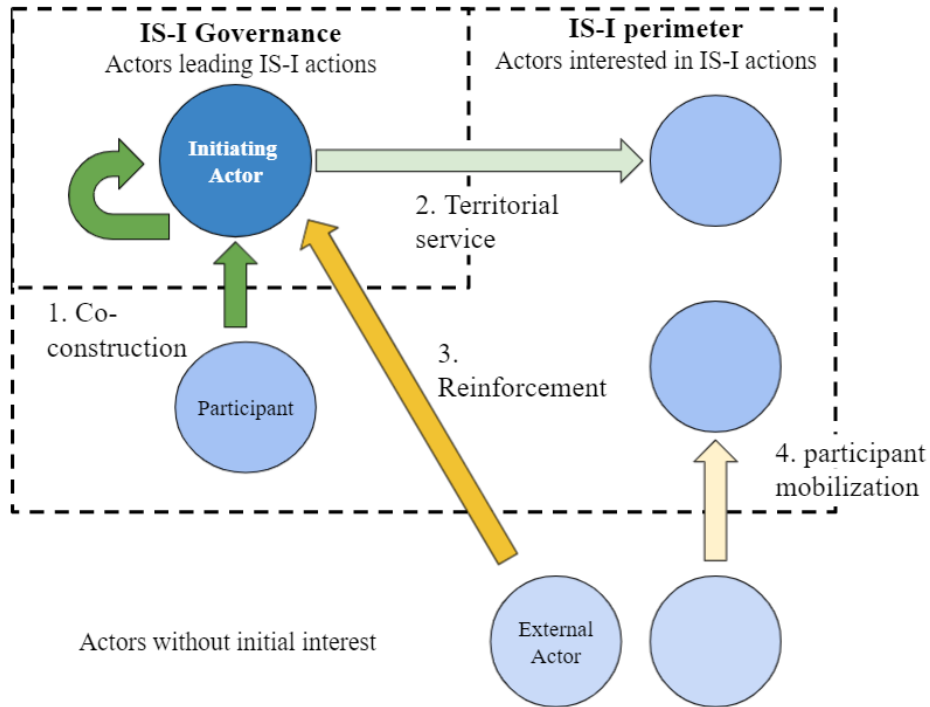


Figure 97 : illustration des types de réponses collectives

B-2.5 Observed frequencies of situations, responses, and rational myths.

Tableau 50 : Proportion of RMs found in the discourses we analyzed. P-IS: percentage of IS-Is (n=14) including the RM or RM component; N-D = number of discourses. Percentage in the column N-D corresponds to the percentage of total discourses (n=106); Green cells indicate dimensions that were systematically present at least once in all the case studies, and yellow cells indicate the most frequent “situation-response” pairs of RMs (see section 6.3.4 for more details).

		Reaction		Intricacy		Strategy		Ideograph	
		P-IS	N-D	P-IS	N-D	P-IS	N-D	P-IS	N-D
		64%	14	50%	7	86%	30	100%	55
P-IS	N-D		13%		7%		28%		52%
Co-construction		Specific co-construction		Open co-construction		Strategic co-construction		Institutionalized co-construction	
100%	45	29%	6	14%	2	71%	14	86%	22
	42%		6%		2%		13%		21%
Territory Service		Specific service		Open service		Strategic service		Institutionalized service	
71%	31	21%	3	21%	3	36%	8	57%	18
	29%		3%		3%		8%		17%
Reinforcement		Specific reinforcement		Open reinforcement		Strategic reinforcement		Institutionalized reinforcement	
50%	9	14%	2	0%	0	21%	3	21%	3
	8%		2%		0%		3%		3%
Participant mobilization		Specific mobilization		Open mobilization		Strategic mobilization		Institutionalized mobilization	
71%	21	21%	3	14%	2	29%	5	50%	9
	20%		3%		2%		5%		8%

B-2.6 Additional question Q'

Other dimensions that are not discussed in the main text for reasons of brevity, have been added here to facilitate the understanding of the driving force behind the evolution of IS. These dimensions are in *italics* in the following question (Q')

(Q') *When* does this action take place, and *How* are the actors involved in the collective process ?

Information on dimensions related to the question (Q') – *When* and *How* – was not always available, and is consequently not systematically reported. We have included the dimensions in all the discourses in which enough evidence was found in the interview or in additional documents. The two dimensions were described with an inductive method. Answers to the question *When?* indicate events that take place before the action is taken and that are cited as driving forces or as background to explain the action. Answers to the question *How?* indicate the means by which the initiating actors got other actors to cooperate in the action. The following sections detail our observations.

When - Temporal context

We found hints of important anterior events – in answers to the question *When?* - in 75 out of the 106 discourses. In many of the discourses, this indication referred to the continuation of the IS-I (n=31), in agreement with preceding actions. Another important temporal marker is the influence of public policies (n=20). These policies are external to the IS-I and represent either opportunities (action programs, subsidies, favorable regulations) or constraints (constraining regulations, budget cuts, administrative changes) to which IS-I actors adapt. Other temporal events are more linked to individual dynamics, such as strategic choices (n=9) or awareness raising (n=8) leading to a move towards cooperative development. Lastly, we should mention that some actions take place in the context of positive or negative contingencies (n=4), sometimes taking the form of public political support (n=3).

How - Factors of success in rallying target actors

We were able to identify the methods used to collectively rally target actors – in response to the question *How?* - in 48 out of the 106 discourses. We identified success factors that are already well-known in IS. For instance, the influence of personal levers – political carriage, charisma, activation of networks – (n=13) known as the role of “champions” (Hewes and Lyons, 2008) in IS. Conviviality and mutual knowledge (n=12) were also mentioned and are known to enhance IS-Is (Abitbol, 2012). Communication and awareness raising (n=11) are other features used to familiarize actors with IS culture. When this culture of symbioses stabilizes and the first exemplary actions are taken, we observed that legitimacy was a sufficient legitimacy lever to get actors involved (n=11).

B-2.7 Observed Characteristics of most frequent rational myths

Tableau 51 : Principal RMs and their attributes in the discourses analyzed. Categories of actors used to inform the dimensions “Who?” and “To Whom?” are described in section 6.2, categories of events (“When?”) and mobilization strategies (“How?”) are described in section 0. * mean presence of all RMs in IS-I.

	Institutionalized co-construction (n=22)	Institutionalized service (n=18)	Strategic co-construction (n=14)	Institutionalized mobilization (n=12)	Base value (All discourses) (n=106)
IS including RM	86%	57%	71%	50%	32%*
Initiating actors	Public (77%) Private (64%) Associative (18%) Citizen (5%) Trade Union (5%)	Public (78%) Private (61%) Associative (22%) Academic (22%) Trade Unions (22%)	Public (79%) Private (57%) Academic (14%) Associative (7%) Trade Union (7%)	Public (83%) Private (50%) Academic (17%) Associative (8%) Trade Union (8%)	Public (83%) Private (58%) Academic (13%) Associative (12%) Trade Unions (8%) Citizen (3%)
Target actors	Private (95%) Public (64%) Associative (23%) Citizens (14%)	Private (83%) Public (61%) Academic (22%) Associative (22%) Citizens (22%)	Private (79%) Public (36%) Academic (7%) Associative (7%)	Private (83%) Public (8%) Associative (8%) Citizens (8%)	Private (88%) Public (42%) Associative (17%) Citizens (15%) Academic (8%)

ANNEXES

	Academic (5%)	Trade Unions (6%)			Trade Unions (1%)
Temporal context	Public policy (5) IS-I continuation (5) Evolving ideas (2) Political support (2) Contingency (1)	IS-I continuation (9) Public Policy (4)	IS-I continuation (5) Strategic Choice (3) Evolving ideas (2) Public policy (1)	Public Policy (4) IS-I Continuation (2) Evolving ideas (1)	IS-I continuation (31) Public Policy (20) Strategic Choice (9) Evolving ideas (8) Contingency (4) Political support (3)
Collective mobilization strategy	Conviviality (5) Personal levers (5) Legitimacy (2) Communication (1)	Communication (1) Conviviality (1) Personal levers (1) Legitimacy (1)	Communication (3) Conviviality (1) Legitimacy (1)	Personal levers (2) Legitimacy (1)	Personal levers (13) Conviviality (12) Communication (11) Legitimacy (11)

C Annexe de la partie III

C-1 Annexes du chapitre 7

C-1.1 Principes détaillés d'analyse qualitative par encodage thématique

L'analyse qualitative des entretiens a été effectuée grâce au logiciel NVivo© facilitant l'encodage et l'interprétation de textes (Leech et Onwuegbuzie, 2011). L'encodage correspond à l'association d'éléments qualitatifs, en l'occurrence textuels (mots, phrases, paragraphes...), appelés **références**, à des thèmes appelés **codes**. On parle d'analyse **déductive** lorsque les codes sont prédéterminés avant l'analyse qualitative, et d'analyse **inductive** lorsque les codes sont uniquement issus des textes analysés (Given, 2008). Les codes peuvent être hiérarchisés entre eux, certains thèmes englobant d'autres sous-thèmes. Une même référence peut être associée à plusieurs codes, et les codes peuvent évidemment – c'est d'ailleurs tout leur intérêt – regrouper des références issues de documents différents. Ainsi, il est possible très simplement d'identifier toutes les références à un même code (par exemple, les références à un texte réglementaire, à un procédé de traitement, à une problématique sociale...), dans l'ensemble du corpus de texte analysé. L'encodage permet également d'associer le texte étudié à des **cas**, qui sont les objets étudiés par l'analyse qualitative. Dans cette étude, les cas correspondent aux structures du système de gestion des PRO (pour l'étude de l'objectif (A)), et aux sessions de promesses plausibles (pour l'étude de l'objectif (C)). Une même référence peut ainsi avoir plusieurs niveaux d'encodage, qui permet par la suite d'effectuer des analyses croisées entre codes et cas. Les étapes générales suivies pour l'analyse qualitative effectuée en vue de l'étude des deux questions de recherche sont les suivantes : (1) Définition du périmètre d'analyse, c'est-à-dire de l'angle de lecture initial par lequel est abordé la question de recherche, (2) Encodage des entretiens, (3) Lecture, analyse et réorganisation des codes, (4) rectification de l'encodage et (5) stabilisation de l'analyse et interprétation des résultats (Depover *et al.*, 2018 ; Peters et Wester, 2007). Comme dans l'approche déductive, les codes peuvent être prédisposés dans les grands thèmes abordés dans le guide d'entretien. Chaque entretien est lu avec attention, afin d'encoder les éléments qui paraissent importants à la lecture ou qui sont abordés dans plusieurs entretiens différents. Les codes ainsi créés ne sont pas hiérarchisés et sont modifiés régulièrement au cours de l'encodage. Un processus itératif est alors engagé, et peut amener à reprendre certains documents déjà encodés afin d'observer si certains codes peuvent être ajoutés. Une fois l'intégralité du corpus encodé une première fois, il faut harmoniser et réorganiser les codes. La première étape est d'identifier des liens thématiques entre les codes créés et de matérialiser ces liens en hiérarchisant les codes entre eux, en les rapprochant de thématiques communes, plus générales. Ensuite, la cohérence interne de chaque code doit être vérifiée. Cela consiste à examiner, pour chaque code, si toutes les références qui y sont associées sont bien cohérentes les unes avec les autres, et si le code définit bien ce lien de cohérence. Au cours de ce processus, certaines références peuvent être désencodées ou réencodées. Il est parfois aussi pertinent, lorsqu'un code est trop générique, de le séparer en plusieurs sous-codes afin d'améliorer la compréhension qualitative du corpus. A l'inverse, lorsque des codes contiennent peu de références, il faut vérifier qu'ils ne peuvent pas être rattachés à un code plus générique. Ce processus de rectification de l'encodage est itératif,

allant de pair avec celui de lecture, d'analyse et de réorganisation des codes (Wadström *et al.*, 2021). L'analyse est stabilisée lorsque chaque code est hiérarchisé et cohérent. Un moyen de vérifier cette stabilité est le principe de **saturation** : à partir d'un certain nombre d'entretiens, les éléments encodés dans ces entretiens ne changent plus fondamentalement la hiérarchie de codes établie (Morse, 2015b). Une seconde manière de s'assurer de la robustesse de l'encodage, qui n'a pas pu être mise en œuvre dans cette étude, est le travail en binôme sur un même corpus de texte, afin de voir si les analyses convergent.

C-2 Annexes du chapitre 8

C-2.1 Annexes - Diagnostic

Proratas utilisés

Tableau 52 : Valeurs de population et de SAU utilisées pour calculer des estimations à l'échelle de la plaine de Versailles à partir de données régionalisées.

Ile-de-France	Yvelines	Plaine de Versailles
Population (nb. Hab.)		
12210000	1437000	145000
/	11,77%	1,19%
/	/	10,09%
SAU (ha)		
567425	88123	10000
/	15,53%	1,76%
/	/	11,35%

Caractéristiques des PRO

Tableau 53 : Caractéristiques utilisées pour établir le potentiel de recyclage à partir du diagnostic du SGPRO. Sources : 1. (Dhaouadi, 2014), 2. PROTERR, 3. (Ademe, 2015), 4. (Moinard et al., 2021a), 5 (Benoît et al., 2014a), 6. (Chabalière et al., 2006) – ou 100% si pas de valeur, 7. (Avadi et al., 2020), 8. Pas de valeur pertinente (matière non épandue). *Les Keq indiqués prennent en compte les pratiques agricoles. Pour l'azote, ils sont égaux à 0 pour les PRO amendants, et au Keq de la littérature pour les PRO fertilisants. **Moyenne de valeurs. ***valeur recalculée pour une siccité de 25%

	%MS	MO	N	P	K	Type (1)	Efficacité**			Source	
		(%MS)					KeqN	KeqP	KeqK	Carac	Keq
PRO Bruts											
Effluents animaux (moy.)	24,7%	73,7%	0,8%	0,2%	0,7%	Amendant/Fertilisant	11%	85%	100%	1**	5 1**, 5
Fumiers Chevaux (moy)	35%	75%	1%	0%	1%	Immobilisant	0%	100%	100%	1**	5
DV	55%	60%	0,65%	0,12%	0,56%	Amendant	0%	0%	0%	2	7
FFOM	17%	83%	0,46%	0,27%	0,08%	-	0	0	0	3	7
ERU	0,07%		0,00006	0,00002182	3,1544E-05	-	0	0	0	4	7
PRO transformés.											
Lisier séché (humival)	88%	73%	4,58%	1,59%	0,77%	Fertilisant	58%	85%	100%	1	1,5
Farine animale	84%	95%	11,00%	0,52%	0,34%	-	0	0	0	2	7
Broyat DV	55%	60%	0,65%	0,12%	0,56%	Amendant	0%	100%	100%	2	5
						42% Immobilisant					6
Compost DV	58%	46%	1,10%	0,18%	0,81%	68% amendant	0%	100%	100%	1**	
Compost DV enrichi	49%	47%	0,74%	0,21%	0,30%	Amendant	0%	100%	100%	1	1,5
Boues STEP***	25%	59%	1,43%	0,90%	0,32%	Fertilisant	50%	85%	100%	2	6
Boues STEP digérées	0,035	0,65	0,16%	0,27%	0,07%	Fertilisant?	63%	85%	100%	2	6

Données sur la production végétale

Tableau 54 : Caractéristiques utilisées pour calculer le besoin en nutriments des cultures produites sur la plaine de Versailles. Sources : 1.Comifer, 2013, 2.Comifer, 2009, 3. Agreste, 2020.

	Valeurs Comifer			Données Yvelines					
	N (kg/qt)	P (kg/t)	K (kg/t)	RDT (qtx/ha)	RDT (t/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Prod. Yvelines
<i>Blé</i>	2,2	2,91	14,4	88	9	193	25	126	34690
<i>Betterave industrielle</i>	0,11	0,22	1,2	786	79	86	17	94	1765
<i>Orge et escourgeon</i>	1,9	3,27	15,3	79	8	149	26	120	14745
<i>Maïs grain et maïs semence</i>	3,3	5,46	8,3	82	8	270	45	68	5280
<i>Colza grain et navette</i>	2,9	6,2	19,1	31	3	89	19	58	11795
<i>Pommes de terre de consommation</i>	0,34	0,41	3,2	453	45	154	19	145	500
<i>Pois protéagineux</i>	3,1	4,41	25,3	51	5	157	22	128	1515
<i>Triticale</i>	1,9	3,71	12,5	62	6	118	23	78	870
<i>Féveroles et fèves</i>	3,8	5,24	10,8	31	3	118	16	34	1165
<i>Lin textile</i>	0,56	0,89	6	59	6	33	5	35	555
<i>Avoine</i>	2	4,58	13,7	62	6	124	28	85	355
<i>Tournesol</i>	2,4	5,24	8,7	30	3	72	16	26	130
<i>Soja</i>	0	4,36	13,3	28	3	0	12	37	60
<i>Autres</i>	/	/	/	/	/	/	/	/	35791
Source	1	2	2	3	3	3	3	3	3

Comparaison aux travaux antérieurs

Les conclusions du bilan de flux réalisé rejoignent bien celles de Moinard *et al.*, 2021b, comme le montre le Tableau 55. Notons quelques légères variations, qui peuvent s'expliquer par les éléments suivants : (1) Le besoin agricole utilisé par Moinard *et al.* correspond à des valeurs territoriales données par la chambre d'agriculture, alors qu'elles ont été calculées à partir de la production agricole dans la thèse²⁰⁸, (2) Le choix des coefficients d'équivalence pour l'azote pour les boues de station d'épuration utilisé dans la thèse est de 0,5 (Avadí *et al.*, 2020), alors qu'il est de 0,1 dans l'article. Ces légères différences mettent en évidence que les choix du modélisateur et des caractéristiques utilisées pour les PRO ont des conséquences non négligeables sur la représentation du système.

Tableau 55 : Comparaison du potentiel de substitution de la thèse avec les résultats de l'étude de Moinard *et al.*, 2021b.

	<i>Valeur thèse</i>	<i>Valeur Moinard</i>
<i>Substitution N</i>	4%	0%
<i>Substitution P</i>	43%	44%
<i>Substitution K</i>	41%	50%

Cette représentation du SGPRO combinant des aspects techniques et sociaux n'est pas commune dans la littérature.

C-2.2 Annexe – Formalisation du SGPRO

La Figure 98 représente les différentes étapes suivies, et la manière de parvenir aux résultats présentés dans la partie 8.2, ainsi qu'aux résultats intermédiaires servant de donnée d'entrée pour d'autres analyses. Ces étapes sont (1) la mise en lien des références avec la question de recherche, (2) la catégorisation inductive des références pour répondre à ces questions, (3) la mise en application des résultats obtenus afin de catégoriser les acteurs identifiés et (4) l'utilisation de ces résultats pour mener des analyses plus poussées du SGPRO.

²⁰⁸ Ramenés à l'hectare, les besoins calculés dans cette section sont de 130,8 tN, 19,2 tP et 65,9 tK, ce qui est cohérent avec les valeurs utilisées par Moinard *et al.* (2021) de 150 tN et 17,5 tP, mais s'écartent de la valeur de 33,2 tK.

Méthodologie détaillée d'analyse qualitative

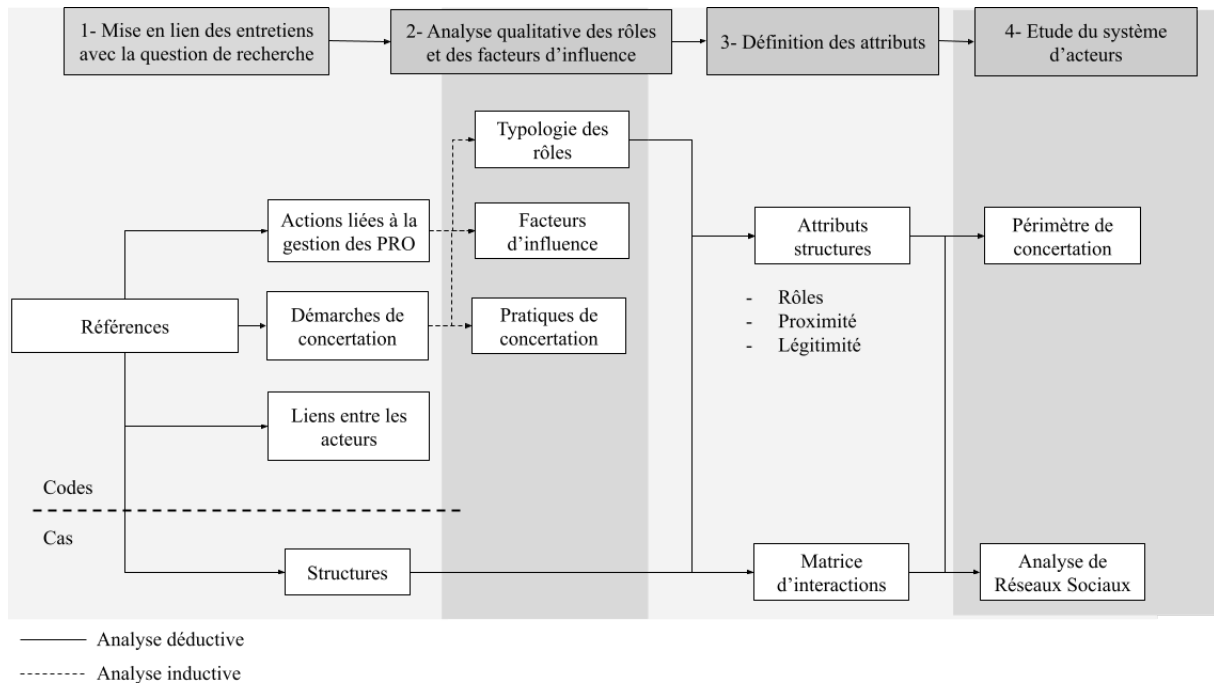


Figure 98 : Etapes de l'analyse qualitative du SGPRO

Définition du périmètre de concertation

Le périmètre de concertation (P), c'est-à-dire l'ensemble des acteurs-cibles pertinents pour faire partie d'une concertation sur la gestion des PRO a été identifié comme un attribut des structures par l'analyse qualitative. En croisant cette légitimité avec les autres attributs des acteurs, il est possible de décrire, dans le cas d'étude, les attributs associés aux acteurs légitimes, afin de tendre vers la définition d'un périmètre de concertation *a priori* basé sur ces attributs. La méthode employée est une identification par itération des attributs ou combinaison d'attributs nécessaires ou suffisants pour que les acteurs soient dans le périmètre de concertation. Pour rappel, une condition (attribut ou combinaison) est **nécessaire** si le fait qu'elle ne soit pas atteinte implique le fait que l'acteur se situe hors du périmètre de concertation ; et **suffisante** si le fait qu'elle soit atteinte implique que l'acteur fasse partie du périmètre de concertation. Ces définitions sont récapitulées par le Tableau 56. La première étape consiste à identifier, parmi les acteurs du périmètre (P), quel attribut (A) est partagé par un grand nombre d'acteurs. Cette observation correspond à une hypothèse ($A \Rightarrow P$) que l'on peut analyser par contraposée en regardant si les acteurs ne faisant pas partie du périmètre ont également l'attribut A ($\text{non}(P) \Rightarrow \text{non}(A)$). Si aucun acteur n'apparaît dans cette catégorie, la possession de l'attribut peut être considérée comme condition suffisante pour la légitimité de l'acteur. Si, en revanche, la condition n'est pas suffisante, le processus est itéré jusqu'à trouver des combinaisons d'attributs nécessaires ou suffisants décrivant l'intégralité des structures.

Annexe de la partie III

Tableau 56 : Définitions de conditions nécessaires et suffisantes pour faire partie du périmètre de concertation

<i>Type de condition</i>	<i>Implication logique</i>	<i>Interprétation</i>
<i>Nécessaire</i>	$P \Rightarrow A$ Raisonnement par contraposée : $\text{Non}(A) \Rightarrow \text{Non}(P)$	Tous les acteurs faisant partie du périmètre de concertation ont l'attribut A (Mais seuls certains acteurs ayant l'attribut A font effectivement partie du périmètre) Tous les acteurs n'ayant pas l'attribut A sont identifiés comme hors du périmètre de concertation.
<i>Suffisante</i>	$A \Rightarrow P$ Raisonnement par contraposée $\text{Non}(P) \Rightarrow \text{Non}(A)$	Tous les acteurs ayant l'attribut A font partie du périmètre de concertation. Les acteurs hors du périmètre de concertation n'ont pas l'attribut A.

Facteurs d'influence identifiés dans les entretiens

Tableau 57 : Liste non exhaustive de facteurs d'influence identifiés dans les entretiens regroupés par catégories, et description de la manière dont ils affectent le SGPRO

Catégories de facteurs	Sous-catégories de facteurs	Facteur d'influence	Description du facteur	Exemples de répercussions dans le SGPRO
Economique	Contexte économique	Financement et subventions	Des aides économiques sont disponibles pour certaines filières, parfois au dépens d'autres (subventions, appels à projets, tarifs de rachat...)	Les projets de méthanisation peuvent être partiellement financés par l'Ademe et la Région.
		Mécanismes de marché	Les structures sont soumises aux conditions d'offre et demande, locales et globales, au cours des matières et des services, aux débouchés économiques de leur activité.	Le cours des fertilisants organiques conditionne l'intérêt des agriculteurs pour les PRO. Adaptation de la plateforme de compostage BYS à la demande locale en compost bio.
		Taxes	Des taxes s'appliquant aux filières, ou permettent de les financer.	La taxe générale sur les activités polluantes augmente régulièrement, ce qui pénalise certaines filières comme l'incinération ou la mise en décharge. La compétence de gestion des déchets détenues par les EPCI est financée par les taxes d'enlèvement d'ordures ménagères, et il est dans l'intérêt collectif de limiter ces taxes.
	Optimisation et gestion interne	Gestion des coûts	Les structures ont intérêt à minimiser leurs coûts	Le transport et l'épandage des PRO représentent un poste de coût important. Les centres équestres ne sont pas prêts à payer cher pour l'enlèvement des fumiers. Les EPCI changent les modalités de collecte et de traitement pour réduire leur coût.
				Gestion de ressources
		Environnement global	Gaz à effets de serre	Les acteurs cherchent à limiter les émissions de GES
Environnemental	Energie	Les acteurs cherchent à limiter leur consommation d'énergie. Les acteurs cherchent à diminuer les distances parcourues par les PRO qu'ils reçoivent ou évacuent.	Préférence pour des technologies de compostage peu énergivores par Organeo. Production d'énergies renouvelables dans le fonctionnement de l'activité de la STEP CDR. Intérêt de GRDF pour produire du biométhane.	

Politique

Environnement local	Déchets	Les acteurs cherchent à réduire le volume de déchets qu'ils produisent.	Les agriculteurs estiment qu'ils constituent une solution au problème de gestion des déchets sans être reconnus pour cette fonction. Les collectivités cherchent à réduire la production de déchets des habitants.
	Qualité des milieux naturels	Les acteurs sont confrontés au risque de pollution ou dégradation du sol ou des cours d'eau.	Installation d'une technologie à haute performance sur la STEP, dont le rejet est la source du Ru de Gally. Crainte de la pollution des sols suite à l'épandage de matières organiques. Epanchage de PRO pour l'entretien de la matière organique dans le sol. Efforts des transformateurs pour limiter le taux d'indésirables dans les PRO transformés. La chambre d'agriculture encourage à la réduction des phytosanitaires. Un collecteur de fumier met des bennes à disposition des centres équestres pour que les conditions de stockage respectent la réglementation.
Administration publique	Compétences	Les compétences des différentes entités administratives sont prédéfinies.	Une communauté de communes doit proposer une solution de gestion des déchets des habitants, et peut la déléguer à différents syndicats de gestion (collecte et/ou traitement).
	Cohérence territoriale	Différents niveaux administratifs et compétences se croisent, ce qui crée parfois des situations complexes.	La loi NOTRé impose des compétence de gestion des déchets et d'assainissement au niveau des communautés de communes, mais certaines communes de ces CC ont déjà des solutions de gestion, parfois plus cohérentes à leur échelle. Le périmètre des syndicats de gestion est très différent de celui des communautés de communes.
	Politiques publiques	Les grandes orientations politiques nationales influencent les choix des acteurs.	La loi AGEC impose aux collectivités de développer une gestion séparée des biodéchets. Les politiques publiques découragent le mélange de boues de station d'épuration avec d'autres PRO. Les actions des services de l'Etat (DRIAAF, DRIEAT) et établissements publics (Ademe, Chambres consulaires) doivent mettre en œuvre les orientations politiques nationales.
	Marchés publics	La commande publique est gérée par la procédure de marchés publics qui affecte le comportement des acteurs en concurrence sur ces marchés.	La concurrence liée aux marchés publics rend difficile la concertation sur les flux gérés par les collectivités.

<i>Réglementaire</i>	Rapports de force	Décision politique	Les acteurs disposant du pouvoir politique ont un poids important dans les choix effectués.	Les communautés de communes ou d'agglomération peuvent choisir les syndicats de traitement qu'elles intègrent ou qu'elles quittent. Ce sont les élus qui approuvent les cahiers des charges concernant la gestion des déchets et les solutions de gestion retenues.
		Influence des acteurs politiques	Les acteurs ne disposant pas du pouvoir politique mettent en œuvre des stratégies pour influencer ces derniers.	Communication du collectif Prometha auprès d'élus autour de la méthanisation. Les syndicats professionnels et agricoles influencent les décisions parlementaires pour assurer les intérêts de leur profession.
		Pression électorale	Les personnalités élues ont intérêt à répondre aux attentes de leur corps électoral.	Les élus peuvent s'opposer à des projets impopulaires, comme par exemple l'épandage de boues ou les projets de méthanisation. Les changements dans la gestion des déchets municipaux sont souvent mal vécus, ce qui freine la possibilité des collectivités à agir sur cette question.
	Textes en vigueur	Loi Anti-Gaspillage pour une économie Circulaire (AGEC)	Loi obligeant notamment les producteurs de déchets à trier leurs biodéchets, et les collectivités à mettre en œuvre des solutions pour la gestion séparée des biodéchets à échéance 2024	Les collectivités mettent en place des expérimentations pour collecter et/ou traiter séparément les biodéchets. Les collectivités s'intéressent au solution de proximité pour réduire la quantité de biodéchets.
		Réglementation Sanitaire	Réglementation concernant la gestion les matières considérées comme sous-produits animaux (notamment biodéchets des ménages et de la restauration, fumiers animaux, déchets d'abattoir)	Le traitement des biodéchets implique l'obtention d'un agrément sanitaire imposant des dispositifs techniques précis. Les biodéchets doivent être hygiénisés avant leur traitement. La collecte de biodéchets nécessite des bennes spéciales (étanches) et un nettoyage rigoureux après chaque collecte.
		Réglementation concernant les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)	Dispositif réglementaire encadrant les installations classées à risque pour l'environnement. Cette loi inclut différents régimes en fonction des caractéristiques techniques des installations. Cette réglementation inclut également la nécessité d'un plan d'épandage.	Les centres de traitement (compostage, méthanisation) sont dimensionnés de manière à rester en deçà des seuils réglementaires d'autorisation. Une nouvelle installation ou une modification sur une installation existante doit, selon son régime, être soumise ou non à une enquête publique. Les modifications de procédé ou de fonctionnement sont soumises à enquête publique.
		Autres réglementations	Normes NFU, Directive nitrates, ...	Obligation récentes d'ajouter des moyens de stockage, notamment pour les boues de STEP, près des parcelles agricoles concernées.

Social

			<p>Obligation pour les centres équestres de stocker leurs fumiers sur des dalles étanches.</p> <p>Les pratiques de fertilisation et d'épandage de PRO sont fortement encadrées en termes de dose et de période.</p> <p>Les normes d'homologation pour les composts sont vues comme très permissives, ce qui empêche les plateformes de compostage de mettre en avant la qualité de leur compost</p>
Relations inter-acteurs	Synergies	Leviers à la coopération entre les structures.	<p>Etablissement d'un lien de confiance après un historique de bonnes relations et de projets conjoints réussis.</p> <p>Entraide entre agriculteurs.</p> <p>Relations facilitées dans le cadre du fonctionnement ou du développement des filières de gestion des PRO.</p>
	Antagonisme	Freins à la coopération entre les structures.	<p>Défiance de certaines structures envers les gros acteurs privés.</p> <p>Les agriculteurs sont réticents à partager les informations concernant leur approvisionnement en matière organique.</p> <p>Les entreprises sont en concurrence les unes avec les autres pour l'obtention de marchés publics ou de contrats de prestations auprès d'acteurs privés.</p>
Ancrage territorial	Proximité des acteurs au territoire	Facilitation des interactions entre acteurs du fait de leur proximité.	<p>Les échanges paille-fumier entre des centres équestres et agriculteurs céréaliers situés à proximité.</p>
	Réputation des acteurs	Les acteurs souhaitent entretenir une bonne image de leur activité de manière à faciliter leur relation avec les autres acteurs du territoire.	<p>Les agriculteurs ne souhaitent pas être vus comme des pollueurs, et souhaitent être reconnus pour leur contribution à la gestion des PRO.</p> <p>Les transformateurs souhaitent faire reconnaître leur utilité en tant que fournisseurs d'un service territorial.</p>
	Oppositions sociales	Les riverains représentent un facteur de pression important pour certaines activités.	<p>Le contexte agri-urbain du territoire crée des tensions entre les habitants des villes et le monde agricole.</p> <p>Les plateformes de traitement de déchets sont soumises à de nombreuses plaintes lorsqu'elles émettent des odeurs.</p> <p>Les oppositions s'expriment de manière privilégiée dans les dispositifs d'enquête publique.</p>
Facteurs psychologiques	Normes et représentations sociales	Schémas de pensée et habitudes qui expliquent l'inertie de certains comportements.	<p>La qualité du tri est impactée par le niveau de sensibilisation des producteurs de déchets.</p> <p>La question du recyclage des excréments humains est taboue.</p>
Travail	Conditions de travail		<p>Les moyens humains disponibles dans les différentes structures et leur charge de travail conditionnent leur implication potentielle dans les projets territoriaux.</p>

Technique

			L'utilisation de PRO entraîne une pénibilité accrue du travail pour les agriculteurs.
	Création d'emplois		Certaines structures s'impliquent dans l'insertion professionnelle pour créer des emplois.
Pratiques agricoles	Cahiers des charges agricoles	Contraintes aux pratiques agricoles en fonction du marché auquel se destine la production.	Certains acheteurs interdisent l'utilisation de boues de stations d'épuration. Les agriculteurs bio n'ont le droit d'utiliser que les intrants explicitement nommés dans la réglementation.
	Qualités des sols	Nécessité pour les agriculteurs de veiller à la qualité des sols.	Les agriculteurs utilisent des PRO pour améliorer le taux de matière organique.
Procédés de traitement des PRO	Méthanisation	Contraintes techniques inhérentes aux procédés de méthanisation.	Les intrants que peut accepter une unité de méthanisation dépendent du procédé (voie sèche ou voie humide, procédé batch ou continu...) La quantité de biogaz produite est déterminante pour l'équilibre économique d'une installation et dépend également de la qualité des intrants.
	Compostage	Contraintes techniques inhérentes aux procédés de compostages.	Le procédé de compostage en andain met plusieurs mois à transformer la matière.
	Qualité de la matière organique	Composition physico-chimique des PRO avant et après transformation, disponibilité temporelle des PRO...	La production de déchets verts augmente à certaines périodes de l'année (printemps, automne).
Contrainte industrielle	Infrastructures	Articulation des filières autour d'un ensemble d'infrastructures déjà existantes.	Les collecteurs de biodéchets dépendent d'une installation disposant d'un agrément sanitaire. Les plateformes existantes drainent les flux de PRO de producteurs ou collecteurs en recherche de solution.
	Echelle	Certains procédés de traitement requièrent d'être effectués à une certaine échelle, pour des raisons techniques ou économiques.	Une unité de méthanisation a besoin d'un volume important en entrée. La collecte de biodéchets peut principalement se mettre en œuvre en milieu urbain dense.

C-2.3 Annexe – Analyse Réseaux Sociaux

Tableau 58 : Liste des structures intégrées dans l'analyse de réseaux sociaux du SGPRO de la plaine de Versailles, rôles identifiés pour ces acteurs, et présence dans les sous-systèmes (SS) liés au SGPRO ou à leurs attributs. Les abréviations sont celles utilisées sur les graphes d'interaction de l'analyse de réseaux sociaux. P. Producteur ; T. Transformateur ; C. Collecteur ; U. Utilisateur ; AS. Apporteur de Solution ; F. Fédérateur ; An. Animateur ; R. Régulateur. Influ. Système d'influence. Int. Phy. Système d'interactions physiques ; Leg. Potentiel participant à une démarche de concertation (légitime) ; Terr. Acteur proche de la PV et ayant une activité sur la PV (cœur du territoire).

STRUCTURE	ABR.	ROLES	SS SGPRO	SS ATTRIBUTS
Ademe	ADEME	AS. ; R.	Influ.	
Association française d'agriculture urbaine professionnelle	AFAUP	F. ; An.	Influ.	
Agence de l'eau	AG-EAU	AS. ; R.	Influ.	
Agriculteurs de la plaine de Versailles (catégorie générique)	AGRI-PV	U. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
AgroParisTech	APT	AS.	Influ.	
Agence locale de l'énergie et du climat de Saint-Quentin-en-Yvelines	ALEC	An.	Influ.	Terr.
APPVPA	APPVPA	AS. ; F. ; An.	Influ.	Leg. ; Terr.
Agence régionale énergie-climat Ile-de-France	AREC	AS. ; F. ; An.	Influ.	
Association Vitrine du	LVDD	F. ; An.	Influ.	Leg. ; Terr.

Développement Durable				
Yvelines	YE	F. ; An.	Influ.	Leg. ; Terr.
Environnement				
France Nature Environnement	FNE	F. ; An.	Influ.	
Association des agriculteurs méthaniseurs de France	AMF	AS. ; F. ; An.	Influ.	
Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines	CA-SQY	F. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Communauté d'agglomération de Versailles-Grand-Parc	CA-VGP	F. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Communauté de Communes de Cœur d'Yvelines	CC-CY	F. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Communauté de Communes de Gally-Mauldre	CC-GM	F. ; An. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Communauté Urbaine de Grand Paris Seine et Oise	CU-GPSO	F. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Chambre de commerce et d'industrie	CCI	AS. ; F. ; An.	Influ.	Leg.
Communauté d'agglomération de Paris Saclay	CA-PS	F. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	
Communauté d'agglomération de Saint-	CA-SGBS	F. ; R. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	

Germain Boucle de Seine				
Centres Equestres de la plaine de Versailles (générique)	EQUI-PV	P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Chambre d'Agriculture d'Ile de France	CH-AGRI	AS. ; F. ; An.	Influ.	Leg.
Transporteurs Basques	COL-FUM	C. ; AS.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Comité du bassin hydrologique de la Maule (COBAHMA)	COM-BAS	F. ; An. ; R.	Influ.	Leg. ; Terr.
Coopérative Axérial	COOP	U. ; AS. ; F.	Influ. ; Int. Phy.	Leg.
Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile de France	CRAMIF	R.	Influ.	
CUMA de maraîchers	CUMA1	AS. ; F.	Influ.	Terr.
CUMA d'agriculteurs bio	CUMA2	AS. ; F.	Influ.	Terr.
Direction départementale de la protection des populations	DDPP	R.	Influ.	
Direction départementale des territoires	DDT	R.	Influ.	
Département Essonne	DPT-ES	R.	Influ.	
Département Seine et Marne	DPT-S&M	R.	Influ.	

Département Yvelines	DPT-YV	R.	Influ.	
DRIA AF	DRIA AF	AS. ; R.	Influ.	
DRIEAT (dreal)	DRIEAT	R.	Influ.	
Cluster eau, milieu et sol	EMS	F. ; An.	Influ.	
Entreprises de la plaine de Versailles (Restaurants, grandes surfaces...)	ENTR-PV	P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
(générique)				
Etablissement public d'aménagement Paris Saclay	EPAPS	An. ; R.	Influ.	
FDSEA	FDSEA	F. ; An.	Influ.	
FNADE	FNADE	F. ; An.	Influ.	
FNSEA	FNSEA	F. ; An.	Influ.	
GRDF	GRDF	AS. ; An.	Influ.	Leg.
GRT Gaz	GRTGAZ	AS.	Influ.	
Habitants de la plaine de Versailles (générique)	HAB PV	P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Syndicat d'assainissement Hydreaulys	HYDR	F. ; R.	Influ.	Leg. ; Terr.
Ile de France Terre de Saveur	IDF-TDS	F. ; An.	Influ.	
Ici La Terre	ILT	F.	Influ.	
INRAE	INRAE	AS. ; An.	Influ.	Leg.
Municipalités PV	MUNI-PV	F. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
ORDIF	ORDIF	AS.	Influ.	
Pizzorno	PIZZO	T. ; C. ; AS. ; P.	Int. Phy.	
Europaille	EUPAIL	C. ; AS.	Int. Phy.	Leg.

Buscoz	BUSCO	C. ; AS.	Int. Phy.	Leg.
Eco Végétal	ECOVEG	U. ; AS.	Int. Phy.	
Plateforme de compostage BioYvelines	COMP-BY	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Services Méthaniseur d'Etampes (Saria)	MET-ET	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	
Les Alchimistes	ALCHI	T. ; C. ; AS. ; P.	Int. Phy.	
Plateforme de compostage EARL Maugeà Davron	COMP-DA	T. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Plateforme de compostage de Flacourt	COMP-FL	T. ; P.	Int. Phy.	Leg.
Sede	SEDE	C. ; AS.	Int. Phy.	Leg.
Moulinot	MOULI	AS. ; F. ; An	Int. Phy.	Leg.
Organeo	ORGA	T. ; AS. ; An.	Influ. ; Int. Phy.	Leg.
SEPUR	SEPUR	T. ; C. ; AS. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Plateforme de méthanisation de Thoiry Bioénergie	MET-TH	T. ; AS. ; An. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg. ; Terr.
UpCycle	UPCYC	T. ; AS.	Int. Phy.	Leg.
EcoPur	ECOPUR	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
SARP	SARP	C. ; AS.	Int. Phy.	Leg.
Plateforme de méthanisation de Tryon à Carrière-Sous-Poissy	MET-CSP	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	

Prometha	PROMET	AS. ; F. ; An.	Influ.	
Réseau Compost Citoyen	RCC	F. ; An.	Influ.	
Conseil Régional SIAAP	REGION	AS. ; An. ; R.	Influ.	Leg.
SIDOMPE	SIAAP	F. ; R.	Influ.	
SIEED	SIDOM	T. ; AS.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
SITRU	SIEED	F. ; R.	Influ.	Leg. ; Terr.
SPI	SITRU	F. ; R.	Influ.	
STEP Carré de Réunion à Saint-Cyr l'Ecole	SPI	F. ; An.	Influ.	
STEP de Villepreux	STEP-SC	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
STEP des Mureaux	STEP-VI	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
Suez	STEP-MU	T. ; AS. ; P.	Int. Phy.	Leg. ; Terr.
SYCTOM Terre et Cité	SUEZ	T. ; C. ; AS. ; An. ; P.	Influ. ; Int. Phy.	Leg.
ThiFeuCha	SYCTOM	F. ; R.	Influ.	
Triangle Vert	T&C	F. ; An.	Influ.	
Veolia Recyclage et Valorisation des Déchets	TFC	F. ; R.	Influ.	Leg. ; Terr.
	TV	F. ; An.	Influ.	
	RVD	T. ; C. ; AS. ; P.	Int. Phy.	

C-3 Annexes du chapitre 9

C-3.1 Phase de préparation

Pré-identification des filières

En référence aux procédés identifiés comme potentiellement pertinents à la section 8.1.3, les résultats de la pré-évaluation des filières sont représentées sur le tableau Tableau 59, et de manière plus complète sur le Tableau 60.

Tableau 59 : Présentation de la pré-évaluation de filières destinées à préparer l'atelier de conception. Les chiffres correspondent à des notes qualitatives sur une base 3 (3 étant la meilleure note, 1 la moins bonne). 1 : ne respecte pas le facteur. 2 : respecte légèrement ou de manière nuancée le facteur, 3 : respecte le facteur. La note présentée dans le tableau correspond à la médiane d'une notation qualitative effectuée de manière similaire sur les critères listés ci-dessus. **CdC** : Cahier des charges fixé à la section 8.1.3 ; **Tech** : Facteurs techniques ; **Reg** : Facteurs réglementaires ; **Eco** : facteurs économiques ; **Env** : Facteurs environnementaux ; **Acc** : Acceptabilité sociale.

Filière	CdC	Tech	Reg	Eco	Env	Acc
Collecte séparée des urines pour fabrication d'urino-fertilisants par un process de nitrification	2	3	2	1	2,5	2
Collecte séparée des urines pour fabrication d'urino-fertilisants par un process d'acidification	2	2	2	1	2,5	2
Concentration des urines traitées par distillation	3	3	2	1	3	2,5
Séchage solaire des boues de station d'épuration	1,5	3	1,5	2	2,75	2
Méthanisation de la FFOM avec séparation de phases	2	3	3	1	3	2
Méthanisation de la FFOM et des fumiers de chevaux avec séparation de phases	2	2	3	1	3	2
Précipitation de struvite en station d'épuration	3	3	?	2,5	2,5	2,5
Précipitation de struvite dans des urines collectés séparément	3	3	2	2	2,5	2
Broyage de déchets verts	3	3	3	3	3	3
Co-compostage centralisé FFOM + DV	2	3	3	2	3	2,5
Co-compostage centralisé FFOM + DV + Fumiers	2	3	3	2	3	2,5
Collecte de composts décentralisés pour centralisation et distribution à des agriculteurs	2	3	1	2	3	3
Valorisation énergétique des déchets verts par combustion et retour au sol des cendres	2,5	3	2	3	3	2

Tableau 60 : Analyse qualitative préalable des facteurs de sélection des filières pour préparer l'atelier de conception de scénarios. **Signification des notes** : 1 : désavantage pour le facteur ; 2 : faible avantage pour le facteur ; 3 : avantage pour le facteur ; v : variable. **Signification des sigles** : **Technique** **Cahier des charges** : **Sub** : Permet la substitution d'un produit ; **Man** : Forme facilement manipulable ; **Ris** : Maîtrise du risque de pollution ; **Pra** : Facilité d'incorporation dans les pratiques. **Technologique** : **Mat** : Maturité technologique ; **Com** : Compacité ; **Reg** : Cohérence avec la réglementation ; **Sou** : Outils de soutien institutionnels. **Economiques** : **Cap** : Coûts de la filière (CapEx) ; **Op** : Coûts de la filière (OpEx) ; **Rev** : Revenu des sous-produits ; **Environnemental** : **GCol** : GES Collecte ; **GPro1** GES procédé (énergie) ; **GPro2** : GES procédé (hors énergie, hors CO2 biogénique) ; **Guti** : GES utilisation (ou élimination) produit ; **GSub** : CO2 évité lié à la substitution du produit ; **GSto** : Stockage de C dans le sol ; **PAir** : Pollution Air ; **PEau** : Pollution Eau ; **PSol** : Pollution Sol ; **Dec** : Production de déchets finaux ; **Eau** : Consommation d'eau potable ; **Réa** : Consommation de réactifs ; **EnR** : Production d'énergie renouvelable ; **Social** : **A1** : Acceptabilité du procédé ; **A2** : Acceptabilité du produit.

NOM	Cahier des charges issu du diagnostic				Technologique				Economique			Environnemental											Social			
	Sub	Man	Ris	Pra	Mat	Com	Reg	Sou	Cap	Op	Rev	GCol	GPro1	GPro2	Guti	GSu _b	GSto	PAir	PEau	PSol	Dec	Eau	Réa	EnR	A1	A2
Collecte séparée des urines pour fabrication d'urino-fertilisants par un process de nitrification	2	2	3	2	3	3	2	2	v	v	1	3	2	3	2	2	1	2	3	3	2	3	3	1	2	2
Collecte séparée des urines pour fabrication d'urino-fertilisants par un process d'acidification	2	2	2	2	2	3	2	2	v	v	1	3	2	3	2	2	1	2	3	3	3	3	2	1	2	2
Concentration des urines traitées par distillation	3	3	v	2	3	3	2	2	v	1	1	?	2	3	2	?	1	2	3	3	3	3	3	1	2	3
Séchage solaire des boues de station d'épuration	2	3	1	1	3	?	2	1	2	3	1	?	3	?	2	2	3	2	3	1	3	3	3	1	1	3

Exemples de fiches-mémo proposées pendant l'atelier

C- Caractéristiques PRO

Fiche 11
Fumier de cheval et effluents animaux

Fumier de cheval
Sur paille ou sur copeaux

Produit : 12 500 t (MB)
Peu appréciés en agriculture car très pailleux (risque d'immobilisation d'azote)

MS	MO	C/N	C _{org}	N	P	K
35%	28%	25	14%	0,56%	0,13%	0,73%

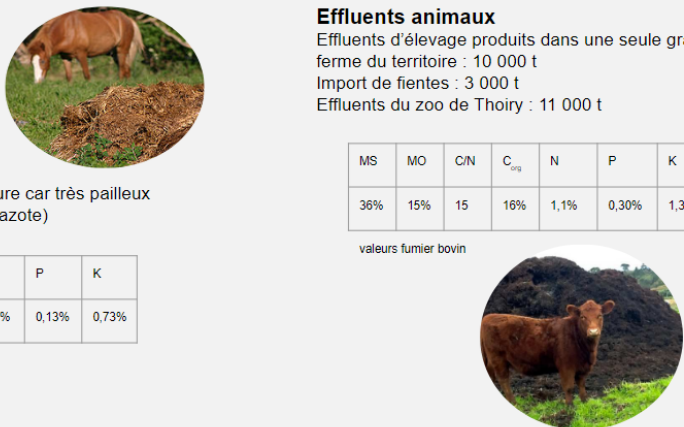
valeurs fumier sur paille

pourcentages de matière brute

Effluents animaux
Effluents d'élevage produits dans une seule grande ferme du territoire : 10 000 t
Import de fientes : 3 000 t
Effluents du zoo de Thoiry : 11 000 t

MS	MO	C/N	C _{org}	N	P	K
36%	15%	15	16%	1,1%	0,30%	1,3%

valeurs fumier bovin

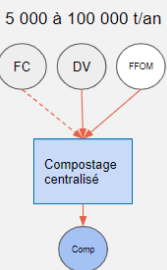


Scénarios Thèse SimSyt - N. BIJON - 17/05/2021

D- Description de filières

Fiche 21
Filière - Compostage centralisé

5 000 à 100 000 t/an



Principe :

- > Plateforme de compostage centralisée mélangeant les déchets verts à des effluents animaux et/ou à de la FFOM triée à la source


Avantages :


- > Favorisé par le tri à la source
- > Compost peu pollué du fait du tri à la source
- > Plus riche que le compost de DV


Inconvénients :


- > Coût important si collecte à la source de la FFOM
- > Concurrencé par le compostage de proximité des déchets verts


Analyse qualitative


Cahier des charge agri : 

Technologique : 

Environnement : 

Economique : 

Réglementaire : 

Social : 

Scénarios Thèse SimSyt - N. BIJON - 17/05/2021

Déroulement de l'atelier d'intelligence collective

Tableau 61 : Programme de l'atelier d'intelligence collective

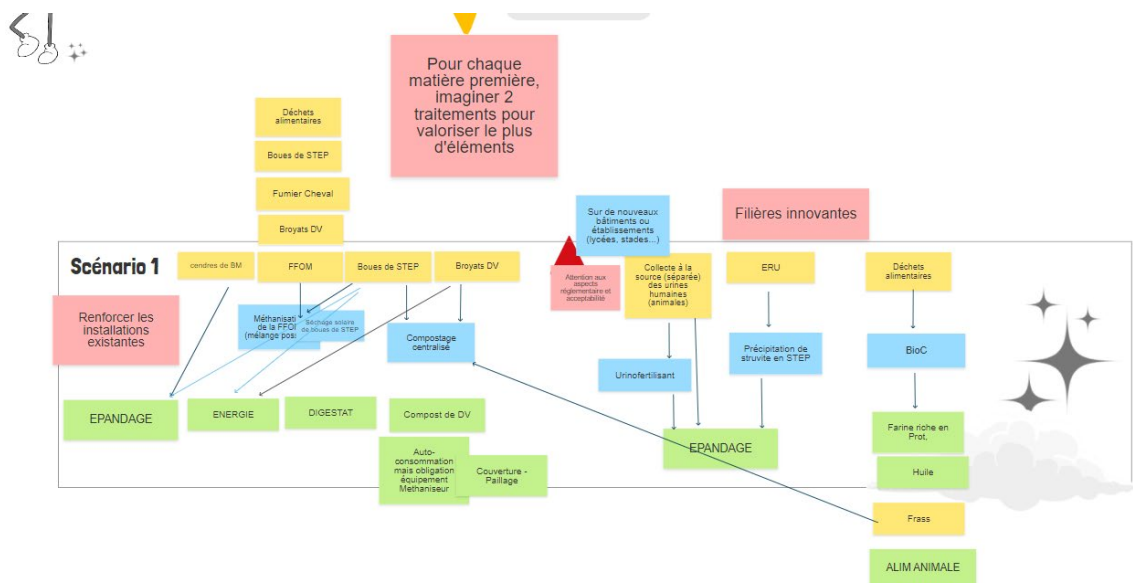
Partie	Contenu	durée
Partie 1	Présentation des objectifs	1h15'
	Brise-Glace	15'
	Introduction	20'
	Questions	10'
	Echauffement créatif	10'
	Présentation des filières	15'

Partie 2	Co-construction de scénarios en sous-groupes	1h35'
	Première rotation	40'
	Deuxième rotation	40'
	Troisième rotation	15'
Partie 3	Restitution et synthèse	25'

C-3.2 Résultats de l'atelier de conception

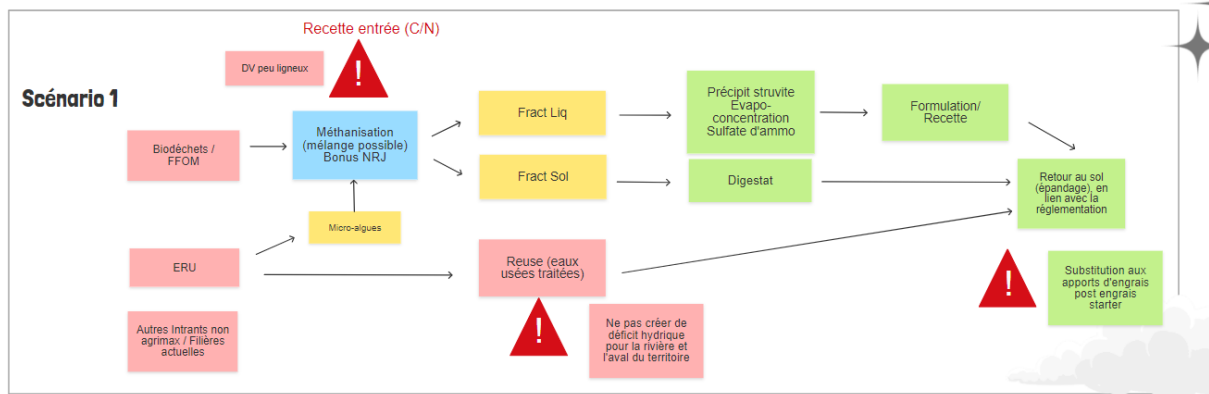
Scénario 2 (Zéro Gaspi)

Propositions lors de l'atelier : Pour ce scénario, la priorité a été donnée à l'utilisation d'installations existantes pour capter un maximum de flux, notamment dans les filières de méthanisation, qui peuvent accepter un grand nombre de PRO (biodéchets, boues, déchets verts...). Le compostage est utilisé dans une moindre mesure. L'équipe a également proposé de s'intéresser à de nouvelles filières plus innovantes. Sur les eaux résiduaires, le groupe a envisagé une précipitation de struvite issue d'un prélèvement à la source des urines, et ainsi de récupérer un sous-produit valorisable en agriculture. Sur les biodéchets, le groupe a proposé une filière de bioconversion permettant la production d'une huile et d'une farine riche en protéines, et de frass (déjections et MO résiduelle) pouvant être composté. Une filière de production d'urinofertilisants peut également être envisagée, mais plutôt sur de nouvelles constructions, car il serait trop complexe de modifier l'existant. Dans ce cas, les aspects réglementaires et d'acceptabilité sociale doivent être considérés avec attention. L'équipe a souligné que le choix final des filières dépendrait de critères de sélection, et notamment d'un choix entre la priorisation de la valorisation matière ou énergétique. Ce choix nécessite également de déterminer quels potentiels de récupération sont prioritaires. Toutes ces filières ont été proposées comme étant pertinentes, mais l'équipe n'a à ce stade pas souhaité faire une sélection de combinaisons précises, pour laisser ouverte la mise en application de ces critères.



Scénario 3 (Agri Max)

Propositions lors de l'atelier : Dans ce scénario, la filière de collecte séparative des urines a été écartée, au vu de la difficulté apparente de mise en œuvre dans une situation où il existe déjà un réseau de collecte. A la place, le groupe a proposé une modification du système d'épuration des eaux usées existant, de manière à ce que les nutriments soient conservés grâce à une filière de production de microalgues. Une étape de méthanisation des microalgues, mélangées à des biodéchets, est ensuite proposée afin de transformer l'azote organique en azote minéral. Cette étape fait apparaître un risque de déséquilibre dans le rapport C/N de la recette en entrée, à laquelle il faudrait éventuellement ajouter des déchets verts peu ligneux pour contrebalancer la forte concentration en azote. A la suite de ce procédé, le digestat serait séparé en une phase solide qui est directement épandue, et une phase liquide, qui subit un ou plusieurs procédés d'extraction (ceux envisagés étant la précipitation de struvite, l'évapo-concentration et la récupération sous forme de sulfate d'ammonium). Les produits extraits pourraient ensuite éventuellement être formulés pour répondre au mieux au besoin de l'agriculture. En parallèle de cela, une réutilisation des eaux usées traitées est envisagée, dans une optique de stress hydrique accru du territoire à long terme, lié au changement climatique. Le groupe a également mis l'accent sur le fait que les engrais "starter" (apportés au moment du semis) ne pourront probablement pas être substitués, même avec ces nouveaux produits, car ils permettent de satisfaire immédiatement les besoins en nutriments biodisponibles de la culture afin d'assurer sa bonne implantation. La substitution se fera donc sur les autres apports d'engrais (azotés notamment) en cours de culture, dont le volume reste très important.



C-3.3 Inventaire et caractéristiques des PRO

Tableau 62 : Inventaire et caractéristiques des PRO dans le scénario de base. Les valeurs en rouge indiquent les PRO dont la composition peut changer en fonction des scénarios. Les modèles de transformation sont décrits à l'annexe C-3.6. *valeur spécifique S1 ; **valeur spécifique S2 ; ***valeur spécifique S3

PRO	%MS	MO (%MS)	C (%MB)	N (%MB)	P (%MB)	K (%MB)	BMP(7)	Méthode	Hypothèses
PRO Bruts									
Déchets Verts (DV)	55,00%	60,00%	16,50%	0,38%	0,12%	0,56%	270	Biblio / Hypothèse	(1)(a)
Biodéchets	17,00%	82,70%	8,60%	0,46%	0,27%	0,08%	470	Biblio	(2)
BDAE	17,00%	82,70%	8,60%	0,46%	0,27%	0,08%	360	Biblio / Hypothèse	(2) (b) :
ERU	0,07%	48,73%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	200	Biblio	(3) (c)
Fumier Cheval	35,00%	74,00%	14,00%	0,56%	0,14%	0,73%	250	Biblio	(4)
Effluents Zoo	27,00%	73,00%	11,46%	0,99%	0,37%	0,74%	250	Biblio / Hypothèse	(4) (d)
Autres effluents animaux	27,00%	73,00%	11,46%	0,99%	0,37%	0,74%	250	Biblio / Hypothèse	(4) (e)
Urines collectées	2%	38,87%	0,34%	0,70%	0,14%	0,30%	200		(3)
PRO Transformés (calculs)									
Cendres FFOM	100%	0,00%	0,00%	0,00%	7,98%	2,34%		Modèle	
Boues STEP (20%MS)	20,00%	52,31%	5,10%	0,66%	2,07%	0,60%	237	Biblio	(5)
Microalgues (20%MS)	20%	100%	11%	2%	0,23%	0,76%	671	Biblio / ajusté au taux de MS	(6)(f)
Broyat de DV	55,00%	60,00%	16,50%	0,38%	0,12%	0,56%	200	Biblio	(1) (g)
Compost Proximité	37,53%**	58,11%**	11,93%**	0,84%**	0,46%**	37,53%**		Modèle	

Compost DV	58%**	46%**	26,03%**	0,73%**	0,24%**	58%**	Modèle
Compost FC (+DV)	47,69%**	39,33%**	12,95%**	0,98%**	0,27%**	47,69%**	Modèle
Compost DV + OM	0,00%**	0,00%**	0,00%**	0,00%**	0,00%**	0,00%**	Modèle
Compost DV + digestat	57,87%*/*** 57,87%**	45,51%*/*** 45,08%**	25,97%*/*** 25,67%**	0,77%*/*** 0,96%**	0,27%*/*** 0,40%**	1,12%*/*** 1,11%**	Modèle
Digestat méthanisation sèche territoriale	27,99%*/*** 14%**	53,53%*/*** 54%**	7,87%*/*** 5%**	0,59%*/*** 0,54%**	0,25%*/*** 0,29%**	0,54%*/*** 0,24%**	Modèle
Digestat méthanisation VH biodéchets	7%	44%	2,55%	0,60%	0,37%	%	Modèle
Boues digérées épaissies (20%)	20%	40,37%	3,57%	0,78%	2,59%	0,75%	Modèle
Digestat 3 (sol)***	12,40%	99,27%	7,45%	1,02%	0,44%	0,38%	Modèle
Digestat 3 (liq)***	1,79%	65,33%	0,71%	0,42%	0,05%	0,20%	Modèle
Digestat 3 (liq - traité)***	1,40%	84,18%	0,71%	0,06%	0,01%	0,20%	Modèle
Produits							
Biogaz	0%	0%	40%	0%	0%	0%	Modèle
Struvite	100%	0%	0%	5,71%	12,62%	0%	Modèle
AmS	100%	0%	0%	21,20%	0%	0%	Modèle
Urino-fertilisant	4,97%	58,65%	1,70%	6,30%	0,70%	1,50%	Modèle
Méthane	0%	0%	75%	0%	0%	0%	Donnée

Données et hypothèses – composition des PRO pour la modélisation

- (1) (Houot *et al.*, 2021)
 - (2) (Ademe, 2015)
 - (3) (Moinard *et al.*, 2021a)
 - (4) (Dhaouadi, 2014)
 - (5) (Benoît *et al.*, 2014a)
 - (6) (Polprasert et Koottatep, 2017)
 - (7) Extrapolations à partir de bases de données internes Veolia
-
- (a) : Le rapport C/N de la bibliographie est incohérent. Le taux de N est ici modifié pour être plus réaliste
 - (b) : On considère que la fraction organique des DAE est identique aux biodéchets des ménages
 - (c) Ces valeurs sont modifiées par le modèle pour prendre en compte le changement de composition lié à la séparation des urines
 - (d) On fait l'hypothèse que les effluents du Zoo ont la même composition que les effluents animaux
 - (e) Les valeurs des différents fumiers ont été moyennées et pondérées selon les flux présents sur la plaine de Versailles
 - (f) calculé à partir de la formule de composition $C(128)H(181)O(48)N(16)P$
 - (g) idem déchets verts

C-3.4 Liste complète des hypothèses d'affectation

Tableau 63 : liste complète des hypothèses d'affectation des PRO bruts et transformés dans les trois scénarios

Fumiers de chevaux	S1	S2	S3		2190	2190	2190
<i>Collecte de fumiers épandus dans le scénario de base</i>	0%	0%	0%	<i>Méthanisation VH</i>	2190	2190	2190
				<i>Compostage non alloué</i>	0%	0%	0%
<i>Taux fumier collecté pour compostage</i>	0%	80%	0%	Déchets Verts			
				<i>Compostage de proximité</i>	0	870	870
<i>Fumiers collectés pour méthanisation sèche (t)</i>	994	994	994	<i>Compostage centralisé</i>	0	0	0
				<i>Compostage fumier</i>	0	802	0
<i>Epandage fumier non composté</i>	0%	100%	100%	<i>Compostage digestats</i>	40000	40000	40000
<i>Export fumier non composté</i>	0%	0%	0%	<i>Méthanisation sèche</i>	1825	1825	1825
Effluent zoo				<i>Calcul DV basé automatique (modèle compostage)</i>	OUI	OUI	OUI
Quantité zoo	500	500	500	<i>Augmentation de la capacité des plateformes de compostage par rapport au scénario de référence</i>	0%	12%	12%
<i>Méthanisation</i>	100%	100%	100%				
<i>Valorisation agricole</i>	0%	0%	0%				
FFOM							
Compostage de Proximité							
<i>Taux capté par le compostage prox.</i>	0%	25%	25%	<i>C/N Cible Comp prox</i>	25	25	25
				<i>humidité cible Comp fum CV</i>	40%	40%	40%
Collecte séparée et affectation				<i>C/N Cible Comp centralisé</i>	25	25	25
<i>Taux de collecte des biodéchets</i>	0%	75%	75%				
<i>Biodéchets collectés sur l'aire de SIDOMPE</i>	OUI	OUI	OUI	<i>DV broyés max</i>	15000	15000	15000
<i>Affectation méthanisation</i>	100%	100%	100%	Effluents animaux			
				<i>Méthanisation sèche</i>	331	331	331
<i>Dont VH</i>	0%	50%	0%	<i>Valorisation agricole</i>	8 000	8 000	8 000
<i>Dont VS</i>	0%	50%	0%				
<i>Dont micro-algues</i>	0%	0%	100%	ERU et urines			
				<i>Affectation Boues activées</i>	100%	100%	50%
<i>Affectation compostage</i>	0%	0%	0%	<i>Affectation Microalgues</i>	0%	0%	50%
				<i>Collecte séparée urines (nombre de personnes)</i>	0	0	1000
<i>Retrait de l'incinération (export)</i>	-	-	-				
				<i>Considération des ERU évitées</i>	NON	NON	NON
DAE							
<i>Méthanisation VS</i>	1825	1825	1825				

ANNEXES

PRO Transformés				<i>Taux de valorisation exports</i>	50%	50%	50%
Broyats de DV				Microalgues et digestats			
<i>Taux exportation / pas d'utilisation</i>	100%	100%	100%	Microalgues brut			
<i>Taux exportation / valo agro</i>	0%	0%	0%	<i>Taux MS</i>	20%	20%	20%
<i>Taux utilisation sur place</i>	0%	0%	0%	<i>Méthanisation</i>	100%	100%	100%
Boues de STEP				<i>Export</i>	0%	0%	0%
<i>Méthanisation boues non méthanisées</i>	0%	80%	100%	Phase solide			
<i>Variation de la valorisation agricole</i>	0%	0%	0%	<i>Epandage local</i>	100%	100%	100%
Compost de proximité				<i>Export</i>	0%	0%	0%
<i>Taux de valorisation agricole</i>	0%	15%	15%	<i>Taux de valorisation exports</i>	50%	50%	50%
Composts				Phase liquide			
<i>Taux valo compost Fumiers</i>	77%	100%	100%	<i>Extraction nutriments PL</i>	100%	100%	100%
<i>Taux valo compost Digestats</i>	77%	100%	100%	<i>Export</i>	0%	0%	0%
<i>Taux valo compost FFOM</i>	77%	100%	100%	Phase liquide traitée			
<i>Taux valo DV compost seuls</i>	77%	85%	85%	<i>Epandage local</i>	100%	100%	100%
Digestat méthanisation sèche territoriale				<i>Export</i>	0%	0%	0%
<i>Valorisation locale</i>	100%	100%	100%	<i>Taux de valorisation exports</i>	50%	50%	50%
<i>Taux de valorisation exports</i>	100%	100%	100%	Produits du marché			
Digestats de FFOM				<i>Taux valorisation locale struvite</i>	100%	100%	100%
<i>Taux compostage</i>	100%	100%	100%	<i>Taux valorisation locale ammosulfate</i>	100%	100%	100%
<i>Taux valorisation locale</i>	0%	0%	0%	<i>Taux valorisation locale urinofertilisant</i>	100%	100%	100%
<i>Taux export</i>	0%	0%	0%	Valorisation agricole	SDB	S1 - ZG	S2 - AM
<i>Taux de valorisation exports</i>	100%	100%	100%	<i>Prise en compte du N apporté par les PRO dans les pratiques agricoles</i>	25%	100%	100%
Boues digérées épaissies (20%)				<i>Prise en compte du P apporté par les PRO dans les pratiques agricoles</i>	100%	100%	100%
<i>Valorisation locale</i>	0%	0%	0%	<i>Prise en compte du K apporté par les PRO dans les pratiques agricoles</i>	100%	100%	100%
<i>Export</i>	100%	100%	100%				

C-3.5 Précisions générales sur les modèles de transformation

Transformation basée sur des données

La connaissance des flux entrants et sortants des installations de traitement de déchets du territoire permet de connaître certains taux d'abattement, notamment ceux en MB. Il est possible d'utiliser ces données pour extrapoler le taux d'abattement en MB dans des procédés similaires. Par ailleurs, des études préalables sur le territoire ont permis de catégoriser les produits sortants de certaines installations (Dhaouadi, 2014 ; Moinard *et al.*, 2021b). Ces données, ou des données plus génériques issues de la littérature, peuvent être utilisées pour décrire toutes ou une partie des caractéristiques des PRO transformés. La comparaison entre les valeurs en entrée et sortie permet de définir directement les taux d'abattement du procédé. Cependant, les taux ainsi obtenus ne sont pas toujours cohérents²⁰⁹ – parfois supérieur à 1, par exemple – auquel cas cette méthode ne peut être utilisée. Elles peuvent dans ce cas n'être utilisées que partiellement, pour déterminer des caractéristiques comme la teneur en MS, en MO ou en C pour lesquelles les hypothèses de réductions sont plus complexes à faire que sur les éléments N, P, K.

Transformation basée sur des hypothèses physiques

Pour certaines caractéristiques ou certains procédés, il est judicieux de se baser sur des principes physiques, chimiques ou biologiques pour éviter des incohérences dans les modèles de transformation. Cette méthode est particulièrement pertinente pour le procédé de méthanisation, afin de s'assurer que la quantité de biogaz produite est cohérente avec le taux d'abattement du carbone. Un autre exemple : lors de transformations biologiques, l'hypothèse peut être faite que la quantité de matière sèche dégradée est égale à la quantité de matière organique dégradée, ce qui revient à supposer que seule la matière organique est dégradée au cours du procédé. Une autre hypothèse fréquente est que, en l'absence d'autres informations, le ratio MO/C dans les matrices organiques peut être considéré comme égal à 1,72. Ainsi, en l'absence d'autres informations, il sera possible de déduire le taux d'abattement du C en fonction de celui de la MO (ou vice-versa), ce qui réduit le nombre d'hypothèses arbitraires.

Transformation basée sur des hypothèses arbitraires :

Une autre possibilité simple est de formuler des hypothèses arbitraires d'abattement pour chacune des caractéristiques, en se basant sur la bibliographie et des dires d'experts. Cette méthode permet d'assurer la cohérence des procédés en termes de conservation, mais peut s'éloigner fortement de la réalité. Il est donc préférable, lorsque c'est possible, de déduire ces taux d'abattement grâce aux informations disponibles, ou en utilisant des modèles physiques. De telles hypothèses peuvent être faites lorsque l'on connaît de manière fiable la conservativité des éléments, comme par exemple pour P et K, qui sont en principe conservés par les procédés de transformation. En l'absence d'autres informations, l'hypothèse est généralement faite que ces éléments sont conservés à 100% dans le PRO transformé. Concernant le N, une hypothèse

²⁰⁹ C'est en particulier le cas lorsque les sources de données sont mélangées, par exemple lorsque des données génériques sont utilisées pour caractériser le PRO en entrée du procédé, mais que les caractéristiques en sortie sont données par des mesures faites sur le territoire.

ANNEXES

arbitraire de 5% de volatilisation a été faite sur les procédés de compostage et méthanisation, sur la base de dires d'experts.

Modèles hybrides

La plupart du temps, une seule méthode ne peut pas être utilisée pour déterminer tous les paramètres et il est nécessaire de sélectionner, pour chacun d'entre eux, le modèle de transformation le plus pertinent. Par exemple, il est possible d'évaluer la réduction de matière brute grâce aux données du territoire, en utilisant des hypothèses arbitraires sur les nutriments et des données de la littérature pour la teneur en MS. Les choix faits dans la sélection et le paramétrage de ces modèles correspondent, ici encore, à des hypothèses techniques. Dans la simulation de symbioses territoriales, ces hypothèses ont été guidées par la pertinence au vu de l'objectif de l'exercice. Le Tableau 64 présente le résultat des taux d'abattement calculés par la combinaison de ces méthodes, dont les détails de calcul sont donnés dans l'annexe C-3.6

Résultats des coefficients de réduction appliqués dans les modèles de transformation

Tableau 64 : Modèles de transformation utilisés pour la simulation de la symbiose territoriale, et hypothèses associées à ces modèles. Celles-ci sont détaillées dans l'Encadré 11, et plus de détails sont donnés en annexe C-3.6. Les hypothèses en gras sont les hypothèses les plus fréquentes. *Données territoire ; **Données génériques, ***Modèle physique ; ****Hypothèse arbitraire

Procédé	PRO Transformé	Modèle de transformation							Hypothèses		
		ΔMB	ΔMS	$\Delta MO/MS$	$\Delta M(C)$	$\Delta M(N)$	$\Delta M(P)$	$\Delta M(K)$	*Données territoire **Donnée générique	***Hypothèse physique	****Hypothèse arbitraire
Incinération	Cendres	0,97*	0,8***	1****	1****	1****	0****	0****	(1)	(a)	(A)
Nit/Denit	Boues STEP	0,999*	0,697**	0,675**	0,727**	0,887**	0,0499**	0,809**	(2)		
Trt. Urines	Urino-fertilisant	0,9***	0,689****	0,5****	0,5****	0,1****	0,5****	0,5****		(b)	(B)
Trt. μAlg	μ Algues	0,996**	-0,0546****	-1,164****	-1,086****	0,05****	0,639**	0,160**	(3)	(c)	MSout = 20%
Comp-Prox	Comp-Prox	0,5****	0,3****	0,424****	0,440****	0,05****	0****	0****		(d), (e)	(C), (D)
Comp-BD	Comp-BD	0,5****	0,3****	0,424****	0,440****	0,05****	0****	0****		(d), (e)	(C), (D)
Comp-DV	Comp-DV	0,5****	0,474*	0,600*	0,211*	0,05****	0****	0****	(4)		(D)
Comp-FC (théo)	Comp-FC (théo)	0,5****	0,367*	0,687*	0,693*	0,05****	0****	0****	(4)		(D)
Comp-Dig (théo)	Comp-Dig (théo)	0,892****	0,131***	0,3****	0,213****	0,05****	0****	0****		(d), (e)	(D), (E)
Comp-FC+DV	Comp-FC+DV	0,5***	0,404****	0,661****	0,557****	0,05****	0***	0***		(f)	(D)
Comp-Dig+DV	Comp-Dig+DV	0,577****	0,463****	0,593****	0,211****	0,05****	0***	0***		(f)	(D)
Metha-VL	Dig-VL	0,269*	0,693****	0,838****	0,783****	0,05****	0****	0****	(5)	(d), (g) , RMR = 1,6, RMO = 0,71	(D)
Métha-STEP	Dig-STEP	0,070****	0,200****	0,383****	0,439****	0,05****	0****	0****		(d), (h) , RMR = 1, RMO = 0,71	(D)
Métha-VS	Dig-VS	0,186****	0,469****	0,623****	0,601****	0,05****	0****	0****		(d), (h) , RMR = 1, RMO = 0,71	(D)

Métha-μA	Dig-μA	0,084***	0,605***	0,646***	0,628***	0,05****	0****	0****	(d), (h), RMR = 1, RMO = 0,71	(D)
Sep-Phase	Dig-μA (sol)	0,85***	0,45***	0,35***	0,35***	0,7***	0,4***	0,75***	(i)	
	Dig-μA (liq)	0,15***	0,55***	0,65***	0,65***	0,3***	0,6***	0,25***	(i)	
Extr-Struv	Struvite	0,997***	0,966***	1***	1***	0,955***	0,2***	1***	(j), ηP = 80%	
Extr-AmS	AmS	0,996***	0,803***	1***	1***	0,15***	1***	1***	(k), ηN = 85%	

Détail des hypothèses techniques des modèles de transformation

Les lettres correspondent à celles listées dans le Tableau 62

Pour plus d'information sur certains modèles, se référer à l'annexe C-3.6.

Hypothèses basées sur des données

- (1) Taux de cendre connu : Sidompe. Rapport Annuel d'activité 2019. (2020).
- (2) Caractéristiques connues des boues de STEP et ERU (Benoît *et al.*, 2014a)
- (3) Composition des microalgues : C(128)H(181)O(48)N(16)P ; Permet de déterminer MBout,µalgue, ainsi que la composition M(C)out, M(P)out, M(K)out
- (4) Dhaouadi, A. K. Insertion des Produits Résiduaire Organiques dans les systèmes de culture : Cas des systèmes céréaliers de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets. 233 p (2014).
- (5) MB entrante et sortante connues (Département des Yvelines, 2019)

Hypothèses physiques

- (a) $MS(out) = MB(out)$
- (b) Facteur de dilution des urines FD : $MBin = MB_{in,urine} * FD$; Facteur de concentration FC : $MBout = MBin / FC$
- (c) Efficacité récupération N η_N (=95%) ; $M(N)out = M(N)in * \eta_N$; Hypothèse que 100% de la MSout est des microalgues ; $MBout = MBout, \mu algue / MSout$; **Note** : ce modèle donne des coefficients d'abattement négatifs. C'est possible, car les microalgues captent du C atmosphérique pour constituer leur biomasse, ce qui augmente le taux de MS dans l'eau
- (d) La MS dégradée correspond à la MO ; $MSout - MSin = MOout - MOin$
- (e) $MO/M(C) = 1,72$; $MOout - MOin = 1,72 (M(C)out - M(C)in)$
- (f) Mélange entre un compost de DV et un compost théorique.
- (g) modèle calcul biogaz à partir de l'abattement en MB, cf annexe.
- (h) modèle calcul biogaz à partir du BMP, cf annexe.
- (i) coefficients issus de (AILE, 2014). **Note** : les coefficients notés dans le tableau sont des coefficients d'abattement, et non de conservativité dans ces phases.
- (j) modèle d'extraction de struvite, en considérant une efficacité de récupération du P (η_P) et une composition de struvite connue.
- (k) modèle d'extraction d'ammoniaque, en considérant une efficacité de récupération du N (η_P) et une composition de sulfate d'ammonium connue.

Hypothèses arbitraires

- (A) perte de la totalité de la MO, du C et du N, conservativité du P et K.
- (B) $MSin / (M(N)in + M(P)in + M(K)in) = MSout / (M(N)out + M(P)out + M(K)out)$; $MOin / M(C)in = MOout / M(C)out$
- (C) Réduction de MB identique au scénario de base.
- (D) perte de 5% du N, conservativité du P et K.
- (E) $(MS/MB)out = 57,87\%$ (identique à celle du compost de DV) ; $MBout = MSout / (MS/MB)out$

C-3.6 Détails de calcul des modèles de transformation

Incinération

ΔMB : Taux de cendre connu dans le rapport annuel du Sidompe

ΔMS : Hypothèse sur la composition des cendres : 100% MB

$$MS_{out} = MB_{out}$$

Concentration des urines

Hypothèses sur :

Facteur de concentration du procédé *FC*

Taux de dilution des urines *FD*

1) Calcul d'un mélange en entrée eau + urines

$$MB_{out} = MB_{in}/FC$$

Il n'existe pas de modèle générique pour représenter la concentration des urines en urinofertilisants. Le taux de réduction en MB peut partir d'une hypothèse sur un facteur de concentration. Un facteur de 20 est relativement ambitieux tout en étant réaliste (Martin *et al.*, 2020). Pour ce qui est de la réduction en MS et en MO, nous proposons que le produit concentré ait des ratios de caractéristiques similaires au produit entrant. Pour cela, nous proposons les hypothèses suivantes :

$$MS_{in}/(M(N)_{in}+M(P)_{in}+M(K)_{in}) = MS_{out} / (M(N)_{out}+M(P)_{out}+M(K)_{out})$$

$$MO_{in}/M(C)_{in} = MO_{out}/M(C)_{out}$$

Concernant la réduction des éléments C, N, P et K, nous proposons de faire des hypothèses arbitraires sur les ratios.

Traitement des eaux usées par microalgues

Efficacité récupération du N $\eta_N = 95\%$

$$M(N)_{out} = M(N)_{in} * \eta_N$$

L'efficacité en azote détermine la quantité de microalgues grâce à la composition théorique de microalgues suivante : $C_{128}H_{181}O_{48}N_{16}P$ (Polprasert et Koottatep, 2017)

Cela permet de déterminer la composition théorique des microalgues pures, $C(C)_{\mu A}$, $C(N)_{\mu A}$, $C(P)_{\mu A}$, $C(K)_{\mu A}$

On peut donc calculer la masse brute de microalgues

$$MB_{\mu A} = M(N)_{out}/C(N)_{\mu A}$$

On peut alors calculer $M(C)_{out}$, $M(P)_{out}$, $M(K)_{out}$

Il faut ensuite faire l'hypothèse sur le taux de matière sèche des algues collectées en sortie MS_{out} (qui correspond au taux de concentration à l'issue du procédé de récupération). Ce facteur est fixé à 20%, ce qui correspond à des algues très épaissies. On fait l'hypothèse que les microalgues représentent 100% de la MS.

Cela permet donc de déterminer MB_{out} par

$$MB_{out} = MB_{\mu A} / MS_{out}$$

Compostage

Le taux d'abattement en MB se base sur une hypothèse, différente des volumes observés sur la plaine de Versailles. Concernant le compostage, les principes généraux suivants sont utilisés :

- Lorsqu'il n'y a pas de données fiables sur le territoire, des coefficients d'abattement génériques sont utilisés, cohérents avec ceux observés sur la plaine de Versailles.
- Lorsqu'il y a des données du territoire, celles-ci sont prises en compte pour la composition des PRO transformés lorsqu'elles n'engendrent pas de problème sur la conservativité. Pour

Annexe de la partie III

cela, des hypothèses de conservativité arbitraires sont faits sur les éléments N, P et K (respectivement, un abattement de 5%, 0% et 0%).

- La masse de déchets verts ajoutée dans les procédés de co-compostage dépend de paramètres-cibles en entrée. Pour les matières fortement azotées, on utilise le C/N, sinon on utilise le taux d'humidité. Les valeurs cibles sont déterminées par dire d'experts.
- Dans les procédés de co-compostage, le modèle correspond au mélange d'un compost théorique issu de chaque intrant, calculé séparément.

Compostage Déchets verts

La composition du compost de déchets verts a été mesurée sur la plaine de Versailles.

La composition du compost en MS, C, et MO est issue de ces valeurs. En revanche, nous souhaitons que le procédé soit conservatif sur le N, P et K. C'est pourquoi, pour ces éléments, une hypothèse arbitraire de conservativité a été faite.

Co-compostage Biodéchets (y compris compostage de proximité)

Masse de déchets verts : Mélange en entrée fixé par un C/N cible de 25.

Si le C/N est inférieur au C/N cible, on calcule alors le ratio d'ajout de déchets verts en fonction. Cela détermine la masse de DV alloués à cette filière :

$$MB_{DV} / MB_{BD} = [(C/N)_{BD} - (C/N)_{cible}] / [(C/N)_{cible} - (C/N)_{DV}]$$

Les taux d'abattement sont des hypothèses, similaires aux autres procédés de compostage.

Co-compostage Fumiers de chevaux

Masse de déchets verts : mélange en entrée fixé par un taux de MS de 40%, pour éviter que la matière soit trop humide.

Le calcul se fait de la manière suivante :

$$MB_{DV} / MB_{FC} = (MS_{FC} - MS_{cible}) / (MS_{cible} - MS_{DV})$$

Le modèle de transformation pour ce procédé se base sur le calcul de la composition du compost en sortie, calculé comme un mélange entre un compost de déchets verts et un compost de fumiers, comme si ces matières étaient compostées séparément. Concernant les déchets verts, le modèle utilisé est celui décrit ci-dessus.

Concernant le fumier, la composition d'un compost de fumiers de chevaux a été évaluée sur la plaine de Versailles. Le raisonnement est identique à celui pour les déchets verts, fixant une valeur pour MS, C et MO, et utilisant des hypothèses arbitraires de conservativité sur N, P et K.

Co-compostage Digestats

A l'instar du compost de fumiers de chevaux, ce compost est considéré comme un mélange d'un compost théorique de digestat avec un compost de déchets verts seul.

Pour le digestat, on applique un taux d'abattement arbitraire de 30% sur la MO. Avec l'hypothèse que la quantité dégradée en MO est égale à la quantité dégradée en MS, cela permet de calculer MO_{out} et MS_{out} :

$$\Delta MO = 30\%$$

$$MS_{out} - MS_{in} = MO_{out} - MO_{in}$$

Il a ensuite été considéré que le taux en matière sèche du compost final était identique à celui du compost de déchets verts, et donc MS_{out} est connu. Cela permet de calculer MB_{out} :

$$MB_{out} = MS_{out} / (MS/MB)_{out}$$

Méthanisation

La modélisation du procédé de méthanisation doit informer à la fois sur la composition des sous-produits et sur la production de biogaz associée. Il faut donc coupler les deux modèles, pour que les bilans massiques soient cohérents. Nous utiliserons deux méthodes pour déterminer la quantité de biogaz produite :

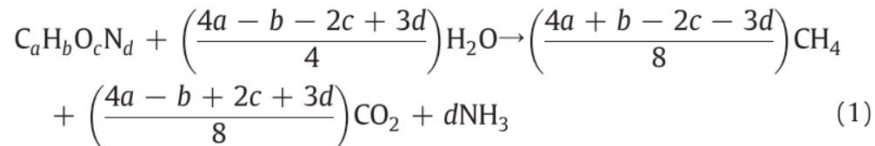
A partir du potentiel biométhanogène (BMP) des intrants :

ANNEXES

A partir de la réduction en MB lorsqu'elle est connue. Dans ce cas, on peut considérer que le biogaz produit est composé d'une partie de la matière brute dégradée. Elle est cependant légèrement inférieure, et il est nécessaire d'appliquer un ratio variable d'un procédé à l'autre.

$$M_{\text{Biogaz}} = (MB_{\text{out}} - MB_{\text{in}}) / R_{\text{MB}}$$

Si l'on regarde une équation générale de transformation de la matière organique (comme l'équation de Symons et Buswell ci-dessous) en biogaz, on peut constater qu'une partie de ce poids est lié à de la perte en eau de la matrice :



Il faut donc introduire un coefficient pour estimer la perte en matière organique R_{MOtel} que

$$MO_{\text{out}} - MO_{\text{in}} = M_{\text{Biogaz}} \cdot R_{\text{MO}}$$

Le coefficient 0,7 est cohérent avec la plupart des modèles, et des compositions de matière organiques par exemple $C_{128}H_{181}O_{48}N_{16}P_1$ ou $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P_1$

On formule ensuite la même hypothèse que pour le compostage, que la MO dégradée correspond à la MS dégradée, de sorte que :

$$MO_{\text{out}} - MO_{\text{in}} = MS_{\text{out}} - MS_{\text{in}}$$

Concernant l'abattement du carbone, il peut être déduit de par la quantité de biogaz produite. Il est pour cela nécessaire d'évaluer la quantité de CO_2 et de CH_4 qui compose le biogaz. On part pour cela de l'hypothèse d'une répartition massique (X) du carbone du biogaz à 50% dans le CO_2 et à 50% dans le CH_4 :

$$X_{C,CH_4} = M_{C,CH_4} / M_{C,\text{biogaz}} = 50\%$$

$$X_{C,CO_2} = M_{C,CO_2} / M_{C,\text{biogaz}} = 50\%$$

A partir du calcul du rapport entre masse molaire du carbone et masse molaire des molécules, on a :

$$X_{C,CH_4} = M_{C,CH_4} / M_{CH_4} = 74,9\%$$

$$X_{C,CO_2} = M_{C,CO_2} / M_{CO_2} = 27,3\%$$

On en déduit donc la composition massique du biogaz en méthane :

$$X_{CH_4} = M_{CH_4} / M_{\text{biogaz}} = X_{CH_4} / X_{C,CH_4} / (X_{CH_4} / X_{C,CH_4} + X_{CO_2} / X_{C,CO_2}) = 26,7\%$$

A partir de ce calcul, il est donc possible de calculer la masse de carbone présente dans le biogaz par :

$$M_{C,\text{biogaz}} = M_{C,CH_4} + M_{C,CO_2} = M_{\text{biogaz}} [(M_{CH_4} / M_{\text{biogaz}}) X_{C,CH_4} + (1 - (M_{CH_4} / M_{\text{biogaz}})) X_{C,CO_2}]$$

Cette masse correspond donc à la dégradation du carbone au cours de la transformation :

$$M_{C,\text{biogaz}} = C_{\text{out}} - C_{\text{in}}$$

L'abattement des nutriments N, P et K est calculé à partir d'hypothèses arbitraires, respectivement de 5%, 0% et 0%.

Méthanisation voie humide

Le taux d'abattement en matière brute est connu par les données du territoire, car la quantité d'intrant et de digestat est connue. On a donc ΔMB .

La quantité de biogaz produite est déduite de la quantité de MB dégradée en appliquant un ratio de 1,25 kg MB/kg biogaz.

A partir du BMP :

Le potentiel bio-méthanogène (BMP) permet de calculer la quantité de méthane produit en fonction de la teneur en matière organique, en tenant compte d'un facteur d'efficacité η_{BMP} :

$$V_{CH_4} = \text{BMP} \cdot \eta_{\text{BMP}} \cdot MO_{\text{in}}$$

Cela permet, à partir de la masse volumique du méthane ($\rho_{CH_4} = 0,6709$ à 15°C et 1 atm), de calculer la masse de méthane présente dans le biogaz.

$$M_{CH_4} = \rho_{CH_4} V_{CH_4}$$

Annexe de la partie III

En prenant la même hypothèse que précédemment sur la répartition massique du carbone, on peut calculer la masse de CO₂ présente dans le biogaz, ainsi que la masse de carbone transformée en biogaz :

$$M_{\text{biogaz}} = M_{\text{CH}_4} / X_{\text{CH}_4}$$

$$M_{\text{CO}_2} = M_{\text{biogaz}} (1 - X_{\text{CH}_4})$$

$$M_{\text{C,biogaz}} = M_{\text{CH}_4} \cdot X_{\text{C,CH}_4} + M_{\text{CO}_2} \cdot X_{\text{C,CO}_2} = C_{\text{out}} - C_{\text{in}}$$

On utilise la même méthode que précédemment pour en déduire l'abattement en MO :

$$MO_{\text{out}} - MO_{\text{in}} = M_{\text{Biogaz}} \cdot R_{\text{MO}}$$

Puis en MS

$$MO_{\text{out}} - MO_{\text{in}} = MS_{\text{out}} - MS_{\text{in}}$$

Et enfin en MB

$$(MB_{\text{out}} - MB_{\text{in}}) = M_{\text{Biogaz}} \cdot R_{\text{MB}}$$

Méthanisation de micro-algues + biodéchets :

Ce modèle est similaire au modèle BMP.

Il faut premièrement faire l'hypothèse d'un facteur de concentration en microalgues dans l'intrant, c'est-à-dire poser $MS_{\mu A, \text{in}}$ (par exemple, à 10%).

Un facteur de dilution est cependant introduit en entrée pour deux raisons : (1) éviter une concentration en N trop importante au cours du procédé, ce qui l'inhibe ($n_{\text{in,MAX}} = 1\%$) et (2) assurer que l'effluent en entrée est suffisamment liquide ($MS_{\text{in,MAX}} = 10\%$). Pour cela, un mélange intermédiaire MI est calculé entre les algues et les biodéchets, d'après le modèle d'affectation. La masse d'eau à ajouter à ajouter au mélange intermédiaire M_{eau} peut donc être calculée selon ces deux aspects.

$$M_{\text{eau,N}} = MB_{\text{MI,in}} (C(\text{N})_{\text{MI}} - C(\text{N})_{\text{in,MAX}}) / (C(\text{N})_{\text{MI}} - C(\text{N})_{\text{eau}}) ; \text{ (en considérant } C(\text{N})_{\text{eau}} = 0)$$

$$M_{\text{eau,MS}} = MB_{\text{MI,in}} (MS_{\text{MI}} - MS_{\text{in,MAX}}) / (MS_{\text{MI}} - MS_{\text{eau}}) ; \text{ (en considérant } MS_{\text{eau}} = 0,1\%)$$

$$\text{Et donc } M_{\text{eau}} = \max(M_{\text{eau,N}}, M_{\text{eau,MS}})$$

Cette méthanisation implique également une séparation de phase. Pour cela, une répartition des différentes caractéristiques entre la phase solide et liquide est introduite, d'après (AILE, 2014).

Extraction de nutriments

Struvite

Dans ce modèle, on connaît la composition de la struvite de par la littérature et sa formule chimique $[\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$. On fait une hypothèse sur le taux de P récupéré par rapport au P disponible dans l'effluent ($\eta_P = 80\%$). En connaissant les concentrations en N et P de la struvite ($C(\text{N})_{\text{str}} = 5,71\%$, $C(\text{P})_{\text{str}} = 12,62\%$), on en déduit alors les autres caractéristiques de l'extraction. En posant $MS_{\text{str}} = MB_{\text{str}}$, on a :

$$M(\text{P})_{\text{str}} = M(\text{P})_{\text{in}} \cdot \eta_P$$

$$MB_{\text{str}} = MS_{\text{str}} = M(\text{P})_{\text{str}} / C(\text{P})_{\text{str}}$$

Ce modèle permet également de prévoir l'ajout de Mg en introduisant un ratio Mg/P, empiriquement égal à 1,3.

$$M(\text{Mg}) = M(\text{P})_{\text{str}} \cdot (\text{Mg/P})_{\text{str}}$$

Pour calculer l'abattement en MB, il faut alors soustraire cette masse ajoutée :

$$\Delta MB = [MB_{\text{in}} - (MB_{\text{str}} - M(\text{Mg}))] / MB_{\text{in}}$$

L'abattement en MS est considéré comme la masse de N et P extraite dans la struvite :

$$\Delta MS = [MS_{\text{in}} - (M(\text{P})_{\text{str}} + M(\text{N})_{\text{str}})] / MS_{\text{in}}$$

Sulfate d'ammonium (AmS)

Le raisonnement est analogue, en introduisant un coefficient d'efficacité de récupération du N ($\eta_N = 85\%$), et une concentration connue dans l'AmS ($C(\text{N})_{\text{AmS}} = 21,2\%$). On considère ensuite simplement que :

$$M(\text{N})_{\text{AmS}} = M(\text{N})_{\text{in}} \cdot \eta_N \text{ et}$$

$$MB_{\text{AmS}} = MS_{\text{AmS}} = M(\text{N})_{\text{str}} / C(\text{N})_{\text{str}}$$

C-3.7 Modèle de valorisation agronomique

Détail de calcul du modèle de minéralisation de l'azote suite à l'apport de carbone

Méthodologie de Moinard et al., 2021b.

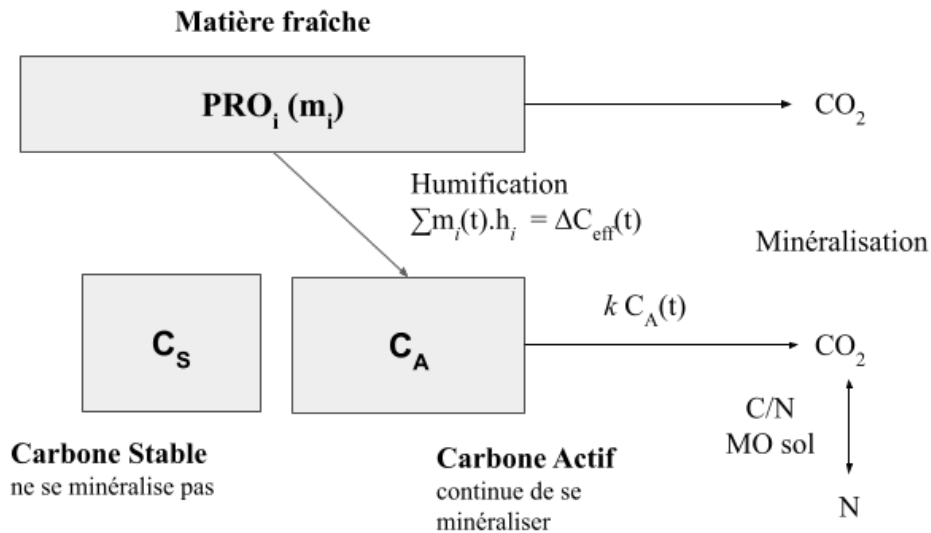


Figure 99 : Principe du modèle AMG (voir Chapitre 2)

Le carbone du sol est réparti en deux compartiments : un compartiment stable (C_S) et un compartiment actif (C_A) :

$$C(t) = C_S(t) + C_A(t)$$

Par ailleurs, une partie du carbone actif continue de se minéraliser au fil du temps. LA quantité de carbone minéralisé est proportionnelle à la quantité de carbone présente dans C_A :

$$C_{\min}(t) = k C_A(t)$$

En ajoutant des PRO, on augmente la quantité de carbone humifié. Une partie du carbone s'ajoute à un stock actif du sol, tandis qu'une partie est directement minéralisée en CO_2 . Le coefficient d'humification h_i de chaque PRO i permet de définir la part de carbone « efficace » du PRO, c'est-à-dire celle qui s'ajoute effectivement au stock C_A :

$$\sum m_i(t).h_i = \Delta C_{\text{eff}}(t)$$

Cette quantité déjà minéralisée s'ajoute à une quantité qui était minéralisée à l'équilibre initial, avant l'apport de PRO :

$$C_{\text{eff}}(t) = C_{\text{eff},0} + \Delta C_{\text{eff}}(t)$$

En considérant les apports comme constants, on a :

$$C_{\text{eff}}(t) = C_{\text{eff}} = C_{\text{eff},0} + \Delta C_{\text{eff}}$$

La variation du stock de carbone dans C_A s'exprime donc par :

$$dC_A(t)/dt = C_{\text{eff}} - kC_A$$

La solution à cette équation différentielle est :

$$C_A(t) = A.e^{-kt} + C_{\text{eff}}/k$$

Avec A une constante à déterminer. On la détermine en prenant $t=0$:

$$C_A(t=0) = A + C_{\text{eff}}/k \Rightarrow A = C_{A,0} - C_{\text{eff}}/k$$

$$C_A(t) = C_{A,0}.e^{-kt} + (C_{\text{eff}}/k)(1 - e^{-kt})$$

Par ailleurs, dans la situation d'équilibre initial,

Annexe de la partie III

$$dC_A(t=0)/dt = 0$$

Ce qui implique donc :

$$C_{A,0} = C_{\text{eff},0}/k$$

Donc, au final,

$$C_A(t) = (C_{\text{eff},0}/k)e^{-kt} + (C_{\text{eff}}/k)(1 - e^{-kt})$$

A partir de cela, on peut calculer la quantité de carbone stocké à $t = T$:

$$\Delta C_T = C(t=T) - C(t=0)$$

$$\Delta C_T = C_S(T) + C_A(T) - C_{S,0} - C_{A,0}$$

Dans ce modèle, la quantité de carbone stable C_S est considérée comme constante, ce qui donne :

$$\Delta C_T = C_A(T) - C_{A,0}$$

avec (2) et (3)

$$\Delta C_T = (C_{\text{eff},0}/k)e^{-kT} + (C_{\text{eff}}/k)(1 - e^{-kT}) - C_{\text{eff},0}/k$$

$$\Delta C_T = (C_{\text{eff}}/k)(1 - e^{-kT}) - C_{\text{eff},0}/k(1 - e^{-kT})$$

Et donc avec (1)

$$\Delta C_T = \Delta C_{\text{eff}}(1 - e^{-kT})/k$$

La minéralisation d'azote à long terme est issue de la minéralisation du carbone dans le compartiment de carbone actif du sol. En effet, lorsque le carbone se minéralise en CO_2 , une partie proportionnelle d'azote, qui était attachée à la matière organique dégradée, se minéralise également. Le facteur entre les deux correspond donc au rapport C/N du sol que Moinard évalue à 11.

Le supplément de carbone minéralisé suite à l'apport de PRO vaut :

$$\Delta C_{\text{min}} = k \Delta C_T = \Delta C_{\text{eff}}(1 - e^{-kT})$$

L'azote minéralisé correspondant vaut donc :

$$\Delta N_{\text{min}} = \Delta C_{\text{min}} / (C/N) = \Delta C_{\text{eff}}(1 - e^{-kT}) / (C/N)$$

On peut finalement calculer les flux annuels par :

$$\Delta C_{T,\text{annuel}} = \Delta C_T / T$$

$$\Delta N_{T,\text{annuel}} = \Delta N_{\text{min}} / T$$

En utilisant AMG avec les conditions pédologiques de la plaine de Versailles, il obtient un coefficient de minéralisation compris entre $0,6$ et $0,88 \text{ an}^{-1}$, correspondant à la quantité de carbone minéralisé par an par rapport à la quantité de carbone humifié. Dans les calculs du modèle, nous avons opté pour la valeur intermédiaire de $0,7 \text{ an}^{-1}$. En prenant les valeurs $T = 20$ ans et $k = 0,07 \text{ an}^{-1}$ on obtient :

$$\Delta C_T = 0,538 \text{ tC/tC}_{\text{eff}}$$

(Tonnes de carbone stockées annuellement par tonnes de carbone efficace apportée, sur 20 ans d'apports répétés)

$$\Delta N_{T,\text{annuel}} = 3,425 \text{ kgN/tC}_{\text{eff}} \cdot \text{an}^{-1}$$

(Kilogrammes d'azote minéral fourni au sol par tonnes de carbone efficace apportée, sur 20 ans d'apports répétés).

Caractéristiques agronomiques des PRO (coefficients d'équivalence)

Tableau 65 : Caractéristiques agronomiques considérées pour les PRO. *données bibliographiques **extrapolation de la bibliographie ***hypothèse arbitraire (valeur non existante ou non trouvée dans la littérature). Ces données sont issues ou extrapolées des sources présentées dans le Tableau 53. Pour le coefficient h, les valeurs sont issues de (Moinard *et al.*, 2021a) ou d'extrapolations de ces valeurs.

PRO ou produit	h	Keq N	Keq P	Keq K	Sources	Dig-μA (sol)	0,63**	0,6**	1***	1***	(1)(d)
DV	/	/	/	/	(a)	Dig-μA (liq)	0,63**	0,6**	1***	1***	(1)(d)
BD	/	/	/	/	(a)	Dig-μA (liq, trt)	0,63**	0,6**	1***	1***	(1)(d)
DAE	/	/	/	/	(a)						
Produits											
ERU	/	/	/	/	(a)	Biogaz	/	/	/	/	(a)
FC	0,49*	0,02*	1***	1***	(1) (2)	Struvite	/	1***	1***	1***	
EZ	0,67**	0,16*	1***	1***	(1)(2)(b)	AmS	/	1***	1***	1***	
EA	0,67**	0,16*	1***	1***	(1) (2) (b)	Urinofert ilisant	0,5***	0,8**	1***	1***	
Ur	/	/	/	/	(a)						
Cend.	/	/	/	/	(a)						
B-STEP (20%MS)	0,47*	0,1*	1***	1***	(1)						
μAlg (20%MS)	/	/	/	/	(a)						
Broy-DV	0,5***	0**	0***	0***	(c)						
C-Prox	0,82**	0**	1***	1***	(1)(c)						
C-DV	0,82*	0*	1***	1***	(1)						
C-FC+DV	0,82**	0**	1***	1***	(1)(c)						
C-BD+DV	0,82**	0**	1***	1***	(1)(c)						
C-Dig+DV	0,82**	0**	1***	1***	(1)(c)						
Dig-VS	0,82**	0**	1***	1***	(1)(c)						
Dig-VL	0,63*	0,6*	1***	1***	(1)						
Dig-STEP (20% MS)	0,63**	0,6**	1***	1***	(1)(d)						

(1) (Moinard *et al.*, 2021a)

(2) (Dhaouadi, 2014)

(a) non épandu directement

(b) extrapolation à partir d'autres effluents animaux

(c) extrapolation à partir du compost de déchets verts

(d) extrapolation à partir du digestat de biodéchets

C-3.8 Modèle d'évaluation environnementale

Production d'énergie

Les deux procédés qui produisent de l'énergie sont la méthanisation et l'incinération. L'évaluation de la production d'énergie tient compte des pertes liées au fonctionnement de ces activités. En revanche, la consommation d'énergie des autres procédés n'a pas été prise en compte. **Il ne s'agit donc pas d'un bilan énergétique complet.**

Bilan incinération

L'effet des PRO sur le bilan de l'unité d'incinération est particulièrement délicat à exprimer, car il existe aujourd'hui très peu de documentation à ce sujet. Pour faire l'estimation de l'énergie produite, nous avons utilisé les données du rapport d'exploitation 2020.

Tableau 66: données d'exploitation de l'incinérateur de la plaine de Versailles 2019 (Sidompe, 2020)

	Valeur	Valeur par tonne
Déchets traités	170000 t	
Electricité totale produite	79 GWh	465 kWh/t
Chaleur totale produite	107 GWh	629 kWh/t
Electricité vendue	63 GWh	371 kWh/t
Chaleur vendue	49 GWh	288 kWh/t

On fait l'hypothèse que l'énergie produite correspond à l'énergie vendue.

Par ailleurs, il faut tenir compte du PCI faible des biodéchets et de leur contribution moindre à cette production d'énergie. Dans la littérature, on a :

$$PCI_{OMR} = 9284 \text{ kJ/kg (Ademe 2010) et } PCI_{\text{biodéchets}} = 1674 \text{ kJ/kg (Galaup 1999)}^{210}.$$

Cela permet d'estimer la production d'énergie électrique et thermique par tonne de biodéchet traité :

$$E_{\text{biodéchet}} = E_{OMR} * PCI_{\text{biodéchet}} / PCI_{OMR}$$

On obtient donc :

$$E_{\text{elec,biodéchet}} = 66,8 \text{ kWh/t}$$

$$E_{\text{therm,biodéchet}} = 52,0 \text{ kWh/t}$$

Production et valorisation du biométhane

Les modèles de transformation permettent d'évaluer la production de biométhane dans les différents scénarios. Pour connaître la quantité de biogaz réellement produite, il faut soustraire une quantité en auto-consommation destinée à alimenter le procédé de méthanisation.

²¹⁰ Le rapport de l'Ademe de 2010 donne également une valeur de PCI de 3035 kJ/kg, mais cette valeur est recalculée à partir d'un PCI estimé sur matière sèche. Cette valeur ne permet donc pas d'estimer la perte d'énergie liée à l'évaporation de l'eau.

Il est considéré que :

$$V_{\text{auto-conso}} = 0.12 V_{\text{biogaz}}$$

Il est ensuite nécessaire de faire des estimations du scénario de valorisation et notamment de fixer la proportion injectée dans le réseau, et la proportion valorisée en cogénération. Actuellement, le mode privilégié de valorisation est la cogénération, mais les futures installations devraient s'orienter vers l'injection. Pour cela, nous avons fait l'hypothèse d'un scénario 50/50 :

$$V_{\text{inj.}} = V_{\text{cogé}}$$

Lorsque le biogaz est injecté, la totalité du contenu énergétique peut être considérée comme valorisée. En revanche, en cogénération, il faut tenir compte des rendements de conversion énergétique, en chaleur et en électricité :

$$E_{\text{cogé}} = V_{\text{inj.}} \cdot \text{PCI}_{\text{biogaz,vol}} = V_{\text{cogé}} (\eta_{\text{cogé, élec}} + \eta_{\text{cogé, chaleur}})$$

$$\text{Avec : } \text{PCI}_{\text{biogaz,vol}} = 5,01 \text{ kWh/m}^3 \text{ pour le biogaz, } \eta_{\text{cogé, élec}} = 0,35, \eta_{\text{cogé, chaleur}} = 0,5$$

Energie liée à l'incinération

L'énergie liée à l'incinération est calculée d'après le bilan de fonctionnement du Sidompe (Ce bilan distingue l'énergie électrique de l'énergie thermique) :

$$E_{\text{inc}} = E_{\text{prod}} - E_{\text{conso}}$$

On prend également en compte la différence de PCI entre les OMR et les biodéchets :

$$E_{\text{inc,BD}} = E_{\text{inc}} \text{ PCI}_{\text{BD}} / \text{PCI}_{\text{OMR}}$$

Besoin en surface

Le besoin en surface est un facteur déterminant, notamment pour la gestion des effluents par les microalgues, et les plateformes de compostage.

Tableau 67 : Données utilisées pour le calcul de la surface occupée

Procédé	Valeur	Commentaire
Epuration microalgues	$S_{\mu A} = 6tN / \text{Ha}^{211}$	Le dimensionnement est fait par rapport à la charge d'azote à épurer. On a donc $S = M(N)_{\text{out}}$. $S_{\mu A}$ (dires d'expert)
STEP	$S_{\text{STEP}} = 0,08 \text{ m}^2/\text{EH}$	On peut considérer que 1 EH vaut environ 45 m ³ /an
Compostage	$S_{\text{Comp}} = 0,7 \text{ m}^2/\text{t traitée}$	(Chambre d'agriculture occitanie, 2019)

Transport

Concernant le transport, une hypothèse de distance générique a été prise concernant la distance parcourue selon la voie d'affectation :

Tableau 68 : Hypothèses de distances parcourues en fonction des voies d'affectation

Voie d'affectation	Distance parcourue
Utilisation agriculture	20 km
Export – Valorisation agricole	50 km

²¹¹ Cette valeur correspond à un réacteur Raceway, et serait égale à 12 pour un photobioréacteur

Export – Non valorisation

100 km

Ces données peuvent être utilisées en première approximation pour évaluer l'impact du transport routier par les émissions de GES (en utilisant un facteur d'émission de la base carbone de l'Ademe, d'environ 0,08 kgCO₂e/tkm pour le transport en poids-lourd articulé). En supposant le poids moyen transporté par chaque camion (par ex : 20t), il est également possible d'estimer le nombre de camions circulant par jour.

C-3.9 Evaluation économique

Concernant l'évaluation économique, le calcul a été fait de manière simplifiée sans tenir compte du taux d'actualisation. On distingue donc des coûts d'investissement (C_{inv} , qui sont annualisés sur la durée de vie de l'équipement (Dv)) On y ajoute les coûts opérationnels (C_{op} : opérations, réactifs, entretien, salaires...), et les revenus (R) issus des sous-produits, pour calculer un bilan annualisé. Le coût total d'un scénario correspond donc à :

$$C_{TOT} = \Sigma(C_{inv,i}/Dv + C_{op,i} - R_i)$$

Le taux autofinancement A est donné par :

$$A = \Sigma R_i / \Sigma(C_{inv,i}/Dv + C_{op,i})$$

Notons que dans ce modèle simplifié, nous n'utilisons pas de taux d'actualisation. Tous les coûts sont évalués en fonction de données opératoires (coût par tonne, par m³, par ha...) et dépendent donc de la quantité de PRO traités par les filières. Les hypothèses et coûts évalués sont donnés dans le Tableau 69. Les hypothèses effectuées pour l'analyse environnementale sont utilisées (notamment : le scénario de valorisation de biogaz et les hypothèses de transport des PRO en fin de vie).

Le taux d'autofinancement est donné en divisant le Coût total.

Tableau 69 : Valeurs utilisées pour l'analyse économique. * Donnée, ** hypothèse basée sur des données/modèles, *** hypothèse arbitraire

	valeur	unité	Type	source
Général				
Coût ETP	23040**	€/an		1,2 SMIC
Coût de transport	0,3*	€/t/km		(Ademe, 2011b)
Transport des OM				
km référence	20**	km		
Collecte séparée des OM				
Coût collecte séparée	150*	€/t/an	Tot.	(Ademe, 2017)
Incineration				
Prix moyen	90 €*	€/t/an	Tot.	(Ademe, 2011a)
STEP				
Coût exploitation réseau	0,49*	€/m ³ /an	Tot.	(Simoni <i>et al.</i> , 2016)
Coût exploitation STEP	0,27*	€/m ³ /an	Tot.	(Simoni <i>et al.</i> , 2016)
Microalgues				
Capex raceway	900 000*	€/ha	Inv.	(Vulsteke <i>et al.</i> , 2017)
Durée de vie	10***	ans		

ANNEXES

Couts exploitation	20 000 €/ha*	€/ha/an	Op.	(Vulsteke <i>et al.</i> , 2017)
Coût réseau	0,49 €	€/m3/an	Tot.	(Simoni <i>et al.</i> , 2016)
Compostage de proximité				
coût composteur indiviruel	300*	€/t	Inv.	Recherches coût marché
coût composteur bac	200*	€/t	Inv.	(Ademe, 2012)
Proportion comp. ind.	0,5***			
Durée vie comp ind	5*	ans		(Ademe, 2012)
Durée vie bac	10***	ans		(Ademe, 2012)
Personnel	0,001***	ETP/t	Op.	
Distance transport DV	20***	km		
Compostage en plateforme				
Capex - Fixe				
Total	800 000*	€	Inv.	(Chambre d'agriculture occitanie, 2019 ; Compostplus, 2020)
Durée de vie	20*	ans		(Chambre d'agriculture occitanie, 2019 ; Compostplus, 2020)
Capex - Variable				
Génie civil + Foncier	2,66*	€/t	Inv.	(Chambre d'agriculture occitanie, 2019 ; Compostplus, 2020)
Opex				
Charge par ETP	2600**	t/ETP	Op.	Dires experts
Revenu				
Compost DV	20**	€/t	Op.	Dires experts
Compost DV + digestat	30**	€/t	Op.	Dires experts
Compost DV + FFOM	40**	€/t	Op.	Dires experts
Compost DV + fumier	50**	€/t	Op.	Dires experts
Seuil construction nouvelle plateforme	10000**	t		Seuil ICPE = 10950t
Méthanisation				
Capex	utilisé	ref		
Digestion biodéchets	300**	€/t	Inv.	dires experts
Digestion boues	250**	€/t	Inv.	dires experts
Digestion microalgues	350**	€/t	Inv.	dires experts
Méthanisation sèche	200**	€/t	Inv.	dires experts
durée de vie	20***	ans		hypothèse
Opex				
Digestion biodéchets	50**	€/t	Op.	dires experts
Digestion boues	50**	€/t	Op.	dires experts
Digestion microalgues	60**	€/t	Op.	dires experts
Méthanisation sèche	60**	€/t	Op.	dires experts
Coût gestion des digestats				
Coût epandage solide	25 €**	/t	Op.	dires experts
Coût transport	5 €**	/t/30km	Op.	dires experts
Coût valorisation biogaz				
Coût injection	479*	€/m3h/an	Op.	calcul d'après (AILE et RAEE, 2012)
Coût cogénération	113*	€/kWe/an	Op.	calcul d'après (Ademe, 2016)

Annexe de la partie III

Revenus valorisation biogaz				
Vente injection	100*	€/MWhPCS	Op.	Site GrDf
Vente cogénération (chaleur)	40***	€/MWh	Op.	
Vente cogénération (élec)	175*	€/MWh	Op.	Webagri.fr
Traitement séparé des urines				
Coût total en équivalent investissement	332*	€/p	Inv.	(Maurer <i>et al.</i> , 2006), € actualisé
Durée de vie	12*	ans		(Maurer <i>et al.</i> , 2006), € actualisé
Extraction de nutriments				
Struvite				
investissement	1000***	€/m3h	Inv.	Arbitraire (donnée non trouvée)
durée de vie	15***	ans		
Coût MgO	0,55*	€/kg	Op.	(Wang <i>et al.</i> , 2016)
Coût NaOH	0,44*	€/kg	Op.	(Wang <i>et al.</i> , 2016)
Utilisation NaOH	0,003*	kg/L digestat		(Wang <i>et al.</i> , 2016)
Prix de vente struvite	0,84*	€/kg	Op.	(Wang <i>et al.</i> , 2016)
Ammoniac				
investissement	1000***	€/m3h	Inv.	Arbitraire (donnée non trouvée)
durée de vie (ans)	15***	ans		
Coût H2SO4	100*	€/t	Op.	dires experts
Prix de vente AmS	225*	€/t	Op.	dires experts

C-4 Annexes du chapitre 10

C-4.1 Script et structures des promesses plausibles

Niveau de détail D1

Tableau 70 : Texte enregistré correspondant au niveau de détail D1 pour les trois sessions de promesses plausibles

	S1	S2	S3
Durée	1'06	1'24	1'18
Acteur Initiateur (commun)	Bonjour, je m'appelle M. Alain/Bernard/Charles, chercheur dans l'unité "Environnement et Territoire". Suite à des études menées par notre équipe de recherche sur le territoire de la plaine de Versailles, nous souhaitons inviter votre structure à se joindre à une démarche de concertation.		
Objectifs mal définis	Nous avons fait un diagnostic des déchets organiques sur la PV. Et nous pensons qu'il existe un potentiel intéressant pour développer une économie plus circulaire [S1-1] sur le territoire, notamment autour de la gestion de ces résidus organiques.	Nous avons identifié sur le territoire un potentiel intéressant pour que les résidus organiques de certains acteurs deviennent les ressources des autres, ce qui permettrait à la fois d'améliorer l'empreinte environnementale du territoire et son dynamisme économique [S2-1].	Nous avons observé que les résidus organiques du territoire pourraient être des ressources considérables, notamment pour l'agriculture. Il serait donc possible de réfléchir collectivement aux flux de biomasses à l'échelle du territoire, et ainsi favoriser la bioéconomie [S3-1].
Enjeux qualitatifs	Ils représentent un volume considérable[S1-2] du fait de la proximité de la ville, et ils pourraient également représenter une ressource importante. En effet, ils pourraient être mieux valorisés en agriculture et remplacer certains engrais de synthèse, ou contribuer davantage à la production d'énergie renouvelable [S1-3].	Nous avons constaté qu'il existe actuellement de nombreux résidus organiques qui ne sont pas valorisés, ou qui pourraient être mieux valorisés, ce qui représente une perte de valeur [S2-2] pour le territoire. Il existe par exemple certains résidus qui sont traités assez loin alors qu'il existe des solutions de traitement qui permettraient d'alimenter des débouchés locaux [S2-3].	L'agriculture est aujourd'hui très dépendante de ressources non renouvelables pour obtenir les nutriments dont elle a besoin, alors que ces mêmes nutriments sont éliminés dans les résidus organiques du territoire, et notamment des villes. L'agriculture étant à la fois le pilier de la sécurité alimentaire, mais également fournisseur potentiel de ressources pour de futurs produits bio-sourcés, il est primordial qu'elle réduise sa dépendance envers les ressources fossiles [S3-2], surtout lorsqu'il existe un tel gisement proche.
Moyens génériques	Pour mieux valoriser ces résidus, nous proposons de mettre en place une concertation [S1-4] entre tous les acteurs concernés par la matière organique, et de construire ensemble un plan d'action collectif à l'échelle du territoire.	La situation pourrait être améliorée en créant plus de synergie entre les acteurs, en prenant notamment en compte les solutions de traitement et de valorisation déjà en place sur le territoire, qui pourraient être développées ou optimisées [S2-4]. Il faudrait pour cela	Nous proposons donc de mettre cette question au cœur d'une démarche de concertation entre les différents acteurs du territoire, afin de transformer le système de gestion des résidus organiques [S3-3], pour qu'il puisse au mieux

Annexe de la partie III

		engager une concertation à l'échelle du territoire pour que chacun puisse exprimer ses besoins et identifier les ressources des autres [S3-5]. Cela permettrait également de s'assurer que les différentes filières ne s'opposent pas les unes aux autres, mais fonctionnent en synergie.	s'aligner aux besoins des acteurs du territoire en termes de produits finaux.
Réponse collective (modalité commune)	Au cours de cette concertation, chacun pourra donner des idées et ses attentes, et toutes les possibilités seront discutées.		

Niveau de détail D2

Tableau 71 : Texte enregistré correspondant au niveau de détail D2 pour les trois sessions de promesses plausibles

	S1	S2	S3
Durée	1'45	2'12	2'30
Relance (commun)	Voici quelques précisions et perspectives par rapport à cette concertation		
Objectifs explicites	Nous proposons de faire un état des lieux collectif de la situation, pour initier à court terme [S1-6] de nouveaux projets et nouvelles dynamiques [S1-5], pour améliorer le recyclage de la matière organique.	L'objectif serait d'analyser le potentiel de chaque résidu du territoire, et de choisir la solution de traitement ou de valorisation la plus adaptée [S2-6]. Cela permettrait d'intensifier à moyen terme [S2-7] les synergies, en fonction des possibilités et des moyens de chacun.	L'objectif serait de réfléchir collectivement quelle trajectoire prendre aujourd'hui pour qu'à long terme [S3-4] l'agriculture locale puisse se passer de ressources non renouvelables [S3-5] grâce aux ressources disponibles dans les résidus organiques du territoire.
Enjeux et perspectives chiffrés	Nous nous sommes par exemple intéressés aux nutriments essentiels pour l'agriculture que sont l'azote, le phosphore et le potassium, sur le territoire. Concernant l'azote, nous avons identifié que 1300 tonnes d'azote sont utilisées dans les engrais en agriculture, et que les résidus organiques du territoire en contiennent près de 2000 tonnes [S1-7]. Cependant, nous avons également estimé que 75% de cet azote est éliminé lors du traitement de ces résidus [S1-8], ou exporté en dehors du territoire. Au final, seulement 1% de l'azote [S1-9] utilisé en agriculture provient du recyclage. Le recyclage du phosphore et du potassium atteint des taux plus intéressants, de l'ordre de 70%	En faisant des projections, nous avons pu identifier certaines perspectives intéressantes de valorisation des résidus organiques. Nous avons par exemple pu évaluer qu'il était possible de parvenir à couvrir tous les besoins agricoles du territoire en phosphore et en potassium [S2-8], et de multiplier par 7 le recyclage de l'azote [S2-9]. Il serait également possible de doubler la quantité d'énergie renouvelable [S2-10] produite, et de stocker jusqu'à 25% de carbone supplémentaire [S2-11] dans les sols, ce qui entretient leur fertilité.	En faisant des projections, nous avons pu identifier certaines perspectives intéressantes de valorisation des résidus organiques. Pour l'instant dans les projections les plus ambitieuses, nous avons estimé qu'au maximum, il serait ainsi possible de substituer environ 600 tonnes d'azote par le système de gestion des déchets, ce qui couvrirait près de 50% du besoin actuel [S3-6]. On pourrait cependant s'attendre à ce que ce besoin diminue dans les prochaines années, du fait des tendances de conversion en agriculture biologique. Sur les autres nutriments, le phosphore

ANNEXES

	[S1-10], mais il y aurait suffisamment de ressources pour arriver à l'autosuffisance.		et le potassium, il serait possible de couvrir la totalité du besoin des cultures [S3-7]. Par ailleurs, on pourrait dans le même temps espérer produire 39 GWh d'énergie renouvelable, soit multiplier par 6 la production actuelle [S3-8].
Perspectives technologiques détaillées	La concertation pourrait aboutir à la mise en place de nouveaux projets collectifs basés sur une vision commune des enjeux du territoire [S1-11]. Les producteurs de déchets pourraient par exemple s'appuyer sur de nouvelles filières. Les acteurs qui traitent les déchets pourraient faire évoluer leur fonctionnement pour que leurs résidus finaux soient mieux adaptés à une utilisation locale. Enfin, les acteurs qui peuvent utiliser les résidus organiques comme matière première pourraient donner leurs attentes et leurs préférences, pour que cela puisse être pris en compte en amont de la chaîne de traitement, et garantir l'utilisation des produits en aval [S1-12]	Pour parvenir à cela, on pourrait imaginer un ensemble de solutions complémentaires. Il y a par exemple la méthanisation sur les boues de stations d'épuration [S2-12], lorsque cela n'est pas déjà le cas. Autre exemple, les fumiers de chevaux qui sont actuellement exportés du territoire pourraient être valorisés dans une filière de compostage locale [S2-13]. Concernant les biodéchets ménagers, la réduction des volumes à la source par le compostage de proximité pourrait être complétée par une collecte séparative, qui permettrait ensuite la méthanisation ou le compostage [S2-14]. Il serait aussi intéressant d'intégrer des biodéchets d'entreprises dans ces filières. L'avantage de la méthanisation est d'associer production d'énergie et retour au sol des nutriments. Ces traitements pourraient se faire soit en utilisant les installations existantes, soit en réfléchissant à de nouveaux projets d'installation. En parallèle, la concertation permettra de fixer, avec le monde agricole [S2-15], les propriétés nécessaires pour les composts et les digestats, et les meilleures voies de valorisation. Il y a bien entendu la grande culture, mais aussi le maraîchage ou encore la vente de compost en	Nous avons identifié que la principale source de nutriments sur le territoire sont les eaux usées, et en particulier les urines. Pour pouvoir capter cette source de nutriments aujourd'hui très sous-exploitée, il faudrait probablement mener une réflexion sur le système d'assainissement, et l'ouvrir à des évolutions [S3-9]. Par exemple, la collecte et le traitement séparés des urines pourraient permettre de faciliter leur recyclage. Autrement, l'épuration des eaux usées par des microalgues pourrait permettre de ne plus éliminer, mais au contraire de pouvoir récupérer les nutriments. Bien sûr, les résidus organiques solides représentent également un gisement intéressant, en particulier les biodéchets ménagers qui ne sont pas encore collectés séparément. Il faut donc également étudier les synergies possibles avec tous les autres résidus [S3-10], comme les biodéchets, les déchets verts ou les fumiers de chevaux. Pour faciliter l'utilisation en agriculture, une piste intéressante est l'extraction de nutriment [S3-11], qui nécessite une étape préalable de méthanisation.

Annexe de la partie III

		jardinerie avec une plus forte valeur ajoutée.	
Réponse collective (modalité commune)	Nos études montrent qu'il existe un réel potentiel, mais tout reste à construire avec les acteurs du territoire. Toutes les solutions peuvent être bonnes et complémentaires, et nous avons besoin de votre participation pour identifier les plus pertinentes.		

Niveau de détail D3

Tableau 72 : Texte enregistré correspondant au niveau de détail D3 pour les trois sessions de promesses plausibles

	S1	S2	S3
Durée	2'05	2'16	2'40
Relance (commun)	Nous avons également considéré d'autres enjeux liés à ce type de projets.		
Précisions réglementaires	<p>Sur un aspect réglementaire, la concertation pourrait aider à trouver des solutions cohérentes avec les évolutions en cours. Par exemple, concernant la valorisation des résidus organiques, il est probable que le retour au sol des nutriments soit de plus en plus encouragé avec les lois sur l'économie circulaire [S1-13]. En revanche, malgré cela et malgré leur intérêt agronomique, certaines matières comme les boues d'épuration seront plus difficiles à épandre [S1-14]. Autre exemple, le tri à la source [S1-15] des biodéchets des ménages sera obligatoire en 2024, ce qui implique qu'il faudra trouver une solution et un exutoire pour ces déchets à un horizon assez court.</p>	<p>Au niveau réglementaire, il existe des dispositifs de soutien public [S2-16] sur les questions d'économie circulaire, de gestion de la biomasse, ou encore de production d'énergie renouvelable, qui pourraient être mobilisés pour ce type de projet. C'est particulièrement vrai par exemple pour la méthanisation [S2-17], dont le développement est fortement encouragé. Il y a aussi des soutiens publics pour les nouveaux projets, ainsi que des soutiens pour la vente de gaz ou d'électricité produite. Par ailleurs, l'épandage des digestats [S2-18] de méthanisation est également favorisé avec les évolutions réglementaires, avec la possibilité de sortie du statut de déchet, permettant une meilleure valorisation.</p>	<p>Au niveau réglementaire, il existe un certain flou sur les évolutions possibles du système d'épuration. Si de nouveaux traitements sont aussi performants que ceux existants, des expérimentations peuvent tout à fait être envisagées [S3-12]. La question de la séparation des urines [S3-13], par exemple, fait partie des perspectives de stratégie d'adaptation au changement climatique de l'Agence de l'eau du bassin Seine Normandie, qui mène des programmes de recherche et d'expérimentation. Sur la partie solide du système de gestion de déchets, il existe de nombreux dispositifs de soutien [S3-14] qui pourraient accompagner le projet, et notamment la méthanisation qui permet une meilleure disponibilité des nutriments [S3-15]. Les techniques d'extraction de nutriments sont des procédés matures, qui permettent de valoriser les nutriments comme des produits, et donc de les rendre plus simples à la vente et à l'utilisation en agriculture.</p>

ANNEXES

<p>Précisions économiques</p>	<p>Sur un aspect économique, modifier le système de gestion des déchets pose également des questions. L'avantage de la concertation est de permettre de prendre en compte les contraintes des différents acteurs [S1-16]. On peut d'ailleurs signaler que la situation actuelle représente déjà un réel risque économique, notamment pour l'agriculture. En effet, les engrais de synthèse comptent pour une part non négligeable du coût des exploitations, environ 15%, et ces coûts [S1-17] sont très fortement liés au coût du gaz naturel qui est une ressource non renouvelable. On constate régulièrement, et d'ailleurs récemment, la volatilité de ces prix [S1-18], qui fait peser une menace constante sur le secteur agricole.</p>	<p>Nous nous sommes également intéressés à la viabilité économique de ce type de projet. Dans nos projections, il serait possible de produire 75% de valeur supplémentaire [S2-19] grâce aux sous-produits générés. Cela fait que le coût de gestion ne changerait quasiment pas, et pourrait même diminuer en optimisant encore plus les solutions. Cela nécessiterait un investissement initial, mais qui resterait limité [S2-20] et éligible aux aides publiques que l'on vient de citer.</p>	<p>Sur l'aspect économique, nous sommes conscients que la viabilité de ce type de scénario n'est pas très élevée dans les conditions actuelles, et nous avons d'ailleurs estimé que les coûts de gestion pourraient être augmentés dans un premier temps. Mais ces conditions pourraient fortement évoluer dans les années à venir du fait de la raréfaction des ressources fossiles. Le coût des technologies est également susceptible de baisser. Ces enjeux nécessitent de se placer dans une vision prospective de territoire sur le long terme, et les actions seront de toute façon progressives et ajustées [S3-16].</p>
-------------------------------	--	---	--

Annexe de la partie III

<p>Précisions environnementales</p>	<p>La question se pose également au niveau environnemental, car nous savons bien que toutes les solutions ne sont pas parfaites. Nous nous proposons d'estimer au mieux les impacts associés aux projets qui seront envisagés lors de la concertation, pour s'assurer que le critère environnemental soit bien pris en compte [S1-19].</p>	<p>Nous avons également estimé l'impact que ces modifications pourraient avoir au niveau environnemental, sur une variété de critères comme les émissions de gaz à effet de serre, ou la pollution de l'air et de l'eau. On a pu voir que la mise en place de ce type de changement ne se faisait pas au prix d'une augmentation des impacts [S2-21].</p>	<p>Il reste également beaucoup d'incertitudes du point de vue environnemental, car nous avons observé que l'importance des changements à mettre en œuvre risquerait d'induire d'autres impacts [S3-17]. Cette question sera bien sûr considérée comme une condition indispensable lors de la concertation.</p>
<p>Modélisation technique illustrée</p>	<p>Durant la concertation, il sera bien sûr nécessaire d'évaluer les avantages et inconvénients des différents scénarios envisagés, notamment sur ces aspects économiques et environnementaux, sur un temps long et pour chaque acteur. Pour cela, on pourrait notamment s'appuyer sur un outil de modélisation informatique développé par notre laboratoire [S1-20 ; S2-22 ; S3-18].</p>		
<p>Modélisation technique illustrée</p>	<p>(...) qui permet déjà une représentation précise de la situation actuelle sur la plaine de Versailles, comme le montrent ces images. [S1-IMG]</p>	<p>Cet outil permet de représenter des scénarios d'évolution diversifiés sur la Plaine de Versailles, et de calculer des indicateurs en prenant en compte de nombreux facteurs, comme vous pouvez le voir sur ces images. [S2-IMG]</p>	<p>Cet outil est capable de représenter des scénarios très prospectifs sur la Plaine de Versailles impliquant des solutions innovantes, et de calculer des indicateurs en prenant en compte de nombreux facteurs, comme vous pouvez le voir sur ces images. [S3-IMG]</p>
<p>Réponse collective (modalité commune)</p>	<p>Comme vous le voyez, il reste donc beaucoup de choses à déterminer pour mettre en place ces changements. Votre présence garantira que les problématiques auxquelles vous êtes confrontés sont bien prises en compte.</p>		

















C-4.2 Cartes-Arguments présentées au cours des entretiens

Les cartes-arguments sont numérotées. Le moment où elles interviennent dans la présentation des promesses plausibles est indiqué entre crochets dans les tableaux de l'annexe C-4.1.

Session 1














Session 2

<p>Synergies pour des avantages économiques et environnementaux</p>  <p>1</p>	<p>Optimiser et développer les filières existantes</p>  <p>4</p>	<p>Moyen Terme</p> <p>EnR X2</p> <p>N X7</p> <p>7</p> <p>10</p> <p>9</p>	<p>Compostage de fumiers de chevaux</p>  <p>13</p>	<p>Nombreux soutiens publics</p>  <p>16</p>	<p>Prix stables et investissement limité</p>  <p>20</p>
<p>Perte de valeur</p>  <p>2</p>	<p>Identification des besoins et des ressources</p>  <p>5</p>	<p>Autonomie P et K</p> <p>Stockage carbone +25%</p> <p>Valeur produite +75%</p> <p>8</p> <p>11</p> <p>19</p>	<p>Valorisation agricole</p>  <p>15</p>	<p>Dynamique de développement de la méthanisation</p>  <p>17</p>	<p>Pas d'impact majeur par rapport à la situation actuelle</p>  <p>21</p>
<p>Des déchets traités loin du territoire</p>  <p>3</p>	<p>Identifier les solutions les plus pertinentes</p>  <p>6</p>	<p>Méthanisation des boues d'épuration</p>  <p>12</p>	<p>Traitement séparé des biodéchets</p>  <p>14</p>	<p>Possibilité d'épandre les digestats</p>  <p>18</p>	<p>Outil d'analyse spatial et temporel</p>  <p>22</p>

2

Session 3

<p>Bioéconomie</p>  <p>1</p>	<p>Indépendance aux ressources fossiles pour l'agriculture</p>  <p>4</p>	<p>Réflexion sur le système d'épuration</p>  <p>9</p>	<p>Flou juridique et possibilité d'expérimenter</p>  <p>12</p>	<p>Extraction de nutriment facilite l'usage</p>  <p>15</p>	<p>Coût plus élevé, à inscrire dans une perspective longue</p>  <p>16</p>
<p>Opportunité d'indépendance des ressources fossiles</p>  <p>2</p>	<p>Long Terme</p> <p>Autonomie P et K</p> <p>N 50% du besoin actuel</p> <p>5</p> <p>7</p> <p>6</p>	<p>Réflexion globale sur tous les flux</p>  <p>10</p>	<p>Collecte séparée des urines encouragée</p>  <p>13</p>	<p>Impacts environnementaux à surveiller</p>  <p>17</p>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; width: 60px; height: 60px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> 3 </div>
<p>Transformer le système de gestion de déchets</p>  <p>3</p>	<p>EnR X6</p> <p>Extraction de nutriments après méthanisation</p> <p>Soutiens publics à la méthanisation</p> <p>Outil d'analyse spatial et temporel</p> <p>8</p> <p>11</p> <p>14</p> <p>18</p>				

C-4.3 Guides d'entretien

Phase 1

- (1) Quel est le rôle de la structure ? Comment fonctionne-t-elle ? Quel lien a-t-elle avec la gestion de la MO ? Quelles MO génère-t-elle ? Comment sont-elles gérées ?
- (2) La structure est-elle impliquée dans des démarches de concertation ? L'a-t-elle été ?
- (3) Quelles sont les interactions avec les autres acteurs, sur les sujets de la MO ?
- (4) Quels autres acteurs me conseillerez-vous de contacter ?

Phase 2

Guide d'entretien plaine de Versailles - automne 2021

Introduction - Mise en place (10 min)

Remerciement
Autorisation Enregistrement ?
Présentation de la thèse.
Présentation des enquêtes et utilité du travail
Déroulement en deux phases.
Envoi d'une synthèse a posteriori
Questions ?

Partie 1 : Questions ouvertes (15-35 min)

[Obj - connaissance du profil et de la structure]

Pouvez-vous commencer par présenter votre parcours professionnel et votre métier actuel ?

- Parcours, études etc. ; Postes précédents ; Métier actuel ; implication dans d'autres activités ?

Pourriez-vous m'en dire un peu plus sur votre structure ?

- Chiffres clés ; territoire et implantation ; clients ; membres ; création...

[Obj - Comprendre la perception de la matière organique]

Quels types de Matières Organiques Résiduelles, êtes vous amenés à utiliser, produire ou gérer, dans votre activité ?

- Selon vous, quels sont les enjeux liés à ces matières organiques ?
- Est-ce une problématique importante pour votre activité, ou pour votre structure ?
- **Comment les gérez-vous ? Trouvez-vous ce mode de fonctionnement satisfaisant ?** A quels problèmes êtes-vous confronté ?

[Obj - Comprendre les pratiques de concertation et modalités d'interaction existantes]

Parfois, il y a des réunions d'échanges ou de travail qui réunissent différents acteurs du territoire sur des sujets précis. Avez-vous déjà participé en tant qu'invité, ou organisateur, de ce type de réunion ?

- Existe-il des projets communs avec d'autres acteurs du territoire ? Des démarches collectives ? Des actions concertées ?

Annexe de la partie III

- Dans quelles circonstances ?
- Quels liens avez-vous avec les acteurs du territoire ? Administrations, privés, agriculteurs...

Apport de précisions : Pour que l'on parle bien de la même chose, je vous propose de vous détailler ce que j'entends par "matière organique résiduelle" et "concertation" (voir [ici](#))

[Obj - Test à blanc. Identification des freins et leviers spontanés]

Avec les éléments que je viens de vous donner et sans plus de précisions, si l'on vous proposait de participer à une démarche de concertation autour de la gestion de la matière organique résiduelle du territoire, accepteriez-vous?

- Cela dépendrait-il de certaines choses en particulier ?
- **Pensez-vous qu'il y a un potentiel important ? (de 1 à 10 ?)**
- Avez-vous vous-même la possibilité de prendre cette décision ? Devez-vous obtenir un accord de la part d'autres personnes ? De quoi leur accord dépendrait-il, dans ce cas ?
- **Quel rôle auriez-vous dans la démarche ?**

Partie 2 : Mises en situation (35-60 min)

Consignes phase 2

Sessions 1 à 3

Après chacune des sessions

[Obj - identifier les dimensions clé]

1. Comment avez-vous réagi à chacun de ces discours ? Quels ont été les éléments marquants ?

- Avez-vous changé de position au cours de la session ? Quels éléments vous ont fait changer d'avis ? Pouvez-vous retrouver les cartes correspondantes ?
- Y a-t-il des cartes qui vous ont fait réagir plus que d'autres ?
- Pourquoi (n')étiez-vous (pas) intéressé ? Pourquoi (n')avez-vous (pas) trouvé cela réaliste ?

2. Remplir la dernière ligne du tableau

Débriefing final

Rappel des trois sessions

[Obj - comparer les trois scénarios]

3. Parmi ces trois sessions, laquelle vous semble la meilleure pour initier la concertation ?

- Laquelle vous semble la plus réaliste ?
- Y a-t-il des enjeux qui vous semblent importants et qu'aucun n'aborde ?
- Quelle est celle qui vous intéresse le moins ? Pourquoi ?

4. Ces éléments sont-ils nouveaux pour vous ? Leur connaissance change-t-elle votre perception du territoire ou des enjeux ? Votre intérêt pour la concertation ?

Conclusion (10 min)

1. Selon vous, dans quelles circonstances ce genre de projet émergerait-il ?

- A qui reviendrait ce rôle ?
- Pensez-vous qu'il soit important d'avoir des connaissances scientifiques importantes à l'initiation ?
- Pensez-vous que le fait d'avoir un modèle informatique soit un avantage

2. Y a-t-il des points importants que vous aviez en tête et qui n'ont pas été abordés dans les sessions, ou dans l'entretien ?

3. A quel(s) autres acteurs pensez-vous que je devrais faire passer cet entretien ?

C-4.4 Grilles d'évaluation

Grille Session 1 / 3

Très peu intéressé → Très intéressé

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intérêt pour la concertation	Extrait 1 (1'06")									
	Extrait 2 (1'45")									
	Extrait 3 (2'05")									
	Bilan Session Complète									

Très peu réaliste → Très réaliste

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Réalisme de la proposition	Extrait 1 (1'06")									
	Extrait 2 (1'45")									
	Extrait 3 (2'05")									
	Bilan Session Complète									

Grille Session 2 / 3

Très peu intéressé → Très intéressé

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intérêt pour la concertation	Extrait 1 (1'24")									
	Extrait 2 (2'12")									
	Extrait 3 (2'16")									
	Bilan Session Complète									

Très peu réaliste → Très réaliste

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Réalisme de la proposition	Extrait 1 (1'24")									
	Extrait 2 (2'12")									
	Extrait 3 (2'16")									
	Bilan Session Complète									

Grille Session 3 / 3

Très peu intéressé → Très intéressé

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intérêt pour la concertation Extrait 1 (1'18")										
Extrait 2 (2'30")										
Extrait 3 (2'40")										
Bilan Session Complète										

Très peu réaliste → Très réaliste

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Réalisme de la proposition Extrait 1 (1'18")										
Extrait 2 (2'30")										
Extrait 3 (2'40")										
Bilan Session Complète										

Synthèse des sessions

Classer de 1 à 3

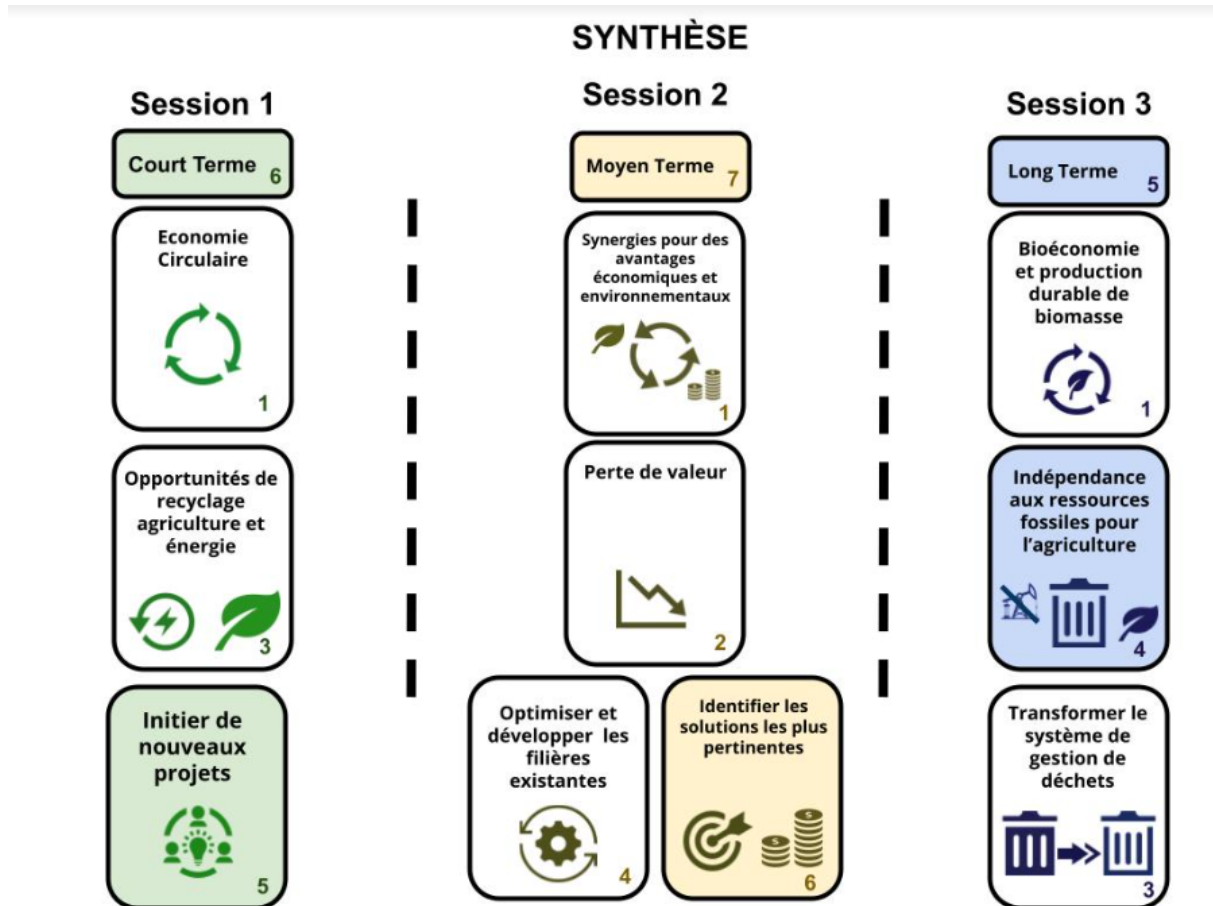
Intérêt pour la concertation Session 1	
Session 2	
Session 3	

Classer de 1 à 3

Réalisme de la proposition Session 1	
Session 2	
Session 3	

C-4.5 Image récapitulative sessions

Cette image était présentée pour permettre aux répondants d'établir le classement entre les sessions, après l'évaluation des promesses plausibles.



C-4.6 Analyse qualitative phase 2

Cette analyse se déroule en trois étapes, décrites de manière schématique par la Figure 100 : (1) l'identification des références, (2) l'analyse qualitative des objets d'intérêt et de réalisme et (3) l'analyse des intersections d'encodage. La première étape de l'analyse, déductive, consiste à identifier au sein des entretiens les références correspondant à des justifications des notes et à les distinguer selon qu'elles concernent une note d'intérêt, ou de réalisme (certaines références pouvant être classées dans les deux catégories simultanément). Lorsque la justification porte explicitement sur la variation d'une note (augmentation ou diminution), un encodage supplémentaire est réalisé pour que la référence soit identifiée à cette évolution. En parallèle, les références ont été associées à un nouveau type de cas correspondant aux sessions S1, S2 et S3. En revanche, une identification référant à des PP précise au sein de ces sessions n'a pas pu être faite systématiquement. En effet, comme précisé dans la méthodologie d'enquête (section 10.1.3), les répondants ne s'exprimaient pas systématiquement à la fin de chaque extrait. Par ailleurs, il était difficile et parfois impossible de distinguer les PP concernées lors des échanges ouverts en fin de session.

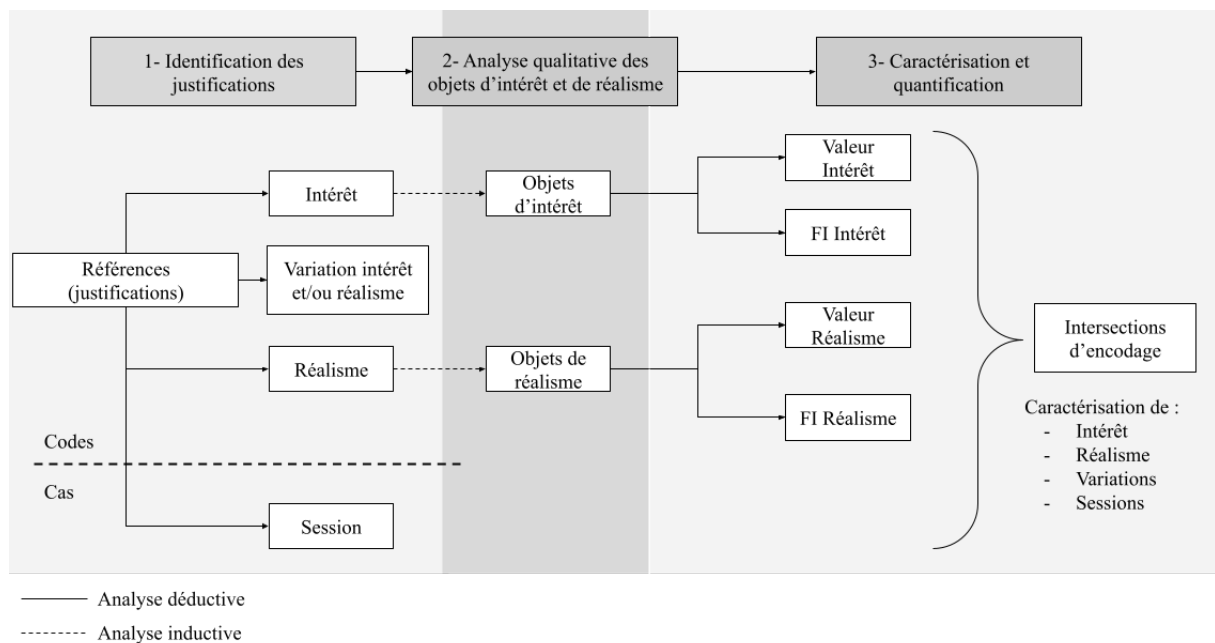


Figure 100 : Etapes d'analyse qualitative des justifications données aux notes lors de la phase 2, et principes d'encodage des références. FI = facteur d'influence ; JV = jugement de valeur

Dans un deuxième temps, les références sont analysées de manière inductive séparément pour l'intérêt et le réalisme. Le processus de hiérarchisation et d'homogénéisation conduit à proposer une typologie des objets de l'intérêt et des objets du réalisme. La troisième étape a pour objectif de caractériser ces différents objets et d'observer la manière dont ils interviennent dans les sessions. Les justifications ont premièrement été associées à des facteurs d'influence, tels qu'ils ont été établis dans l'analyse du SGPRO (section 8.2). Elles ont également été associées à un jugement de valeur, positif, négatif, neutre, ou ne se prononçant pas (« NSP », qui est pertinent uniquement pour le réalisme). Cet encodage superposé permet, par un système de requête, d'identifier les intersections d'encodage. Il est ainsi possible, par exemple, de déterminer quels

facteurs d'influence sont associés aux différents objets d'intérêt et de réalisme et si ces arguments sont avancés comme des points positifs ou négatifs. Cette compréhension permet de mesurer l'importance des différents objets d'intérêt, qui peut être exprimée de deux manières différentes. D'une part, il est possible de comptabiliser le **nombre de références** correspondant à une intersection d'encodage, ce qui peut être assimilé au **poids** d'un argument. Cet indicateur permet de mesurer l'importance relative de plusieurs arguments. Il est adapté pour comparer des éléments assez précis des discours, comme les facteurs d'influence, ou des thèmes précis au sein des entretiens. En revanche, pour des observations à un niveau plus générique, il peut déséquilibrer les résultats observés. En effet, si un argument est répété de multiples fois au cours d'un même entretien, le poids apparent d'un argument peut ne pas être représentatif de l'importance générale de cet argument au sein du groupe. Pour cela, un autre moyen d'estimer l'importance d'un argument porte sur la **fréquence** de cet argument au sein du panel d'acteurs interrogés. Cela correspond à regarder le **nombre d'entretiens** différents faisant référence à un argument de même type. La fréquence représente plus objectivement l'importance et la généralité des arguments, mais ne peut être utilisée que lorsqu'un élément apparaît dans un certain nombre d'entretiens. Dans la présentation des résultats, ces deux indicateurs sont utilisés selon leur domaine d'application. La caractérisation est appliquée aux objets de réalisme, aux objets d'intérêt, aux variations de notes et aux sessions.

C-4.7 Scores des PP

Tableau 73 : Moyenne et coefficient de variation des promesses plausibles

PP	Intérêt		Réalisme	
	Moyenne	Coef. Var.	Moyenne	Coef. Var.
S1-D1	7,18	0,36	7,39	0,28
S1-D2	7,18	0,36	6,61	0,32
S1-D3	7,42	0,32	7,00	0,33
S2-D1	7,34	0,34	6,87	0,41
S2-D2	7,61	0,25	7,37	0,29
S2-D3	7,03	0,32	7,89	0,26
S3-D1	7,11	0,38	6,71	0,36
S3-D2	6,55	0,38	5,79	0,44
S3-D3	5,97	0,41	5,32	0,42

C-4.8 Histogrammes des variations des notes

Notes relatives

L'analyse des notes relatives, représentée par la Figure 101, appuie l'idée d'une logique d'évolution propre à chaque session. Dans la session 1, les notes d'intérêt stagnent majoritairement dans le passage à D2 et à D3. Cela suggère que le niveau de détail importe peu dans cette session. Dans la session 2, le passage au niveau de détail D2 augmente l'intérêt et le réalisme, et le passage à D3 augmente le réalisme en diminuant l'intérêt. Dans la session 3, l'intérêt et le réalisme diminuent entre D1 et D2 et entre D2 et D3. L'analyse des évolutions à niveau de détail constant (graphique de droite) permet d'observer des changements de même nature. Pour le niveau D1, les variations restent faibles d'une session à l'autre, quoique le

réalisme de S2 et S3 diminue légèrement par rapport à celui de S1. Pour ce niveau mal défini, la session a donc peu d'importance.

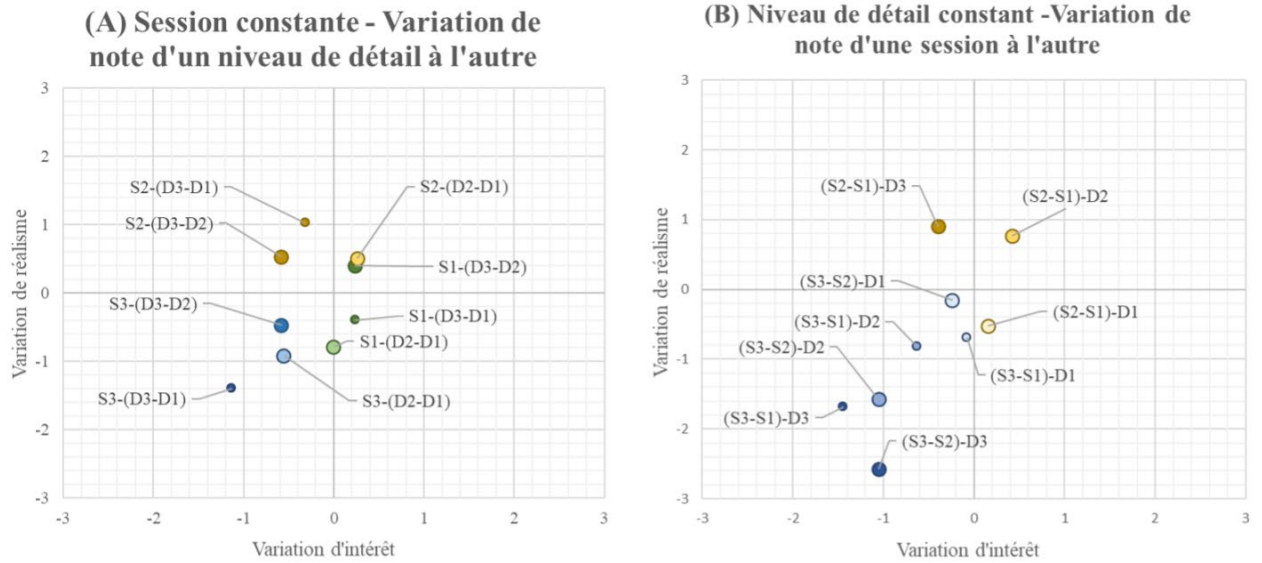


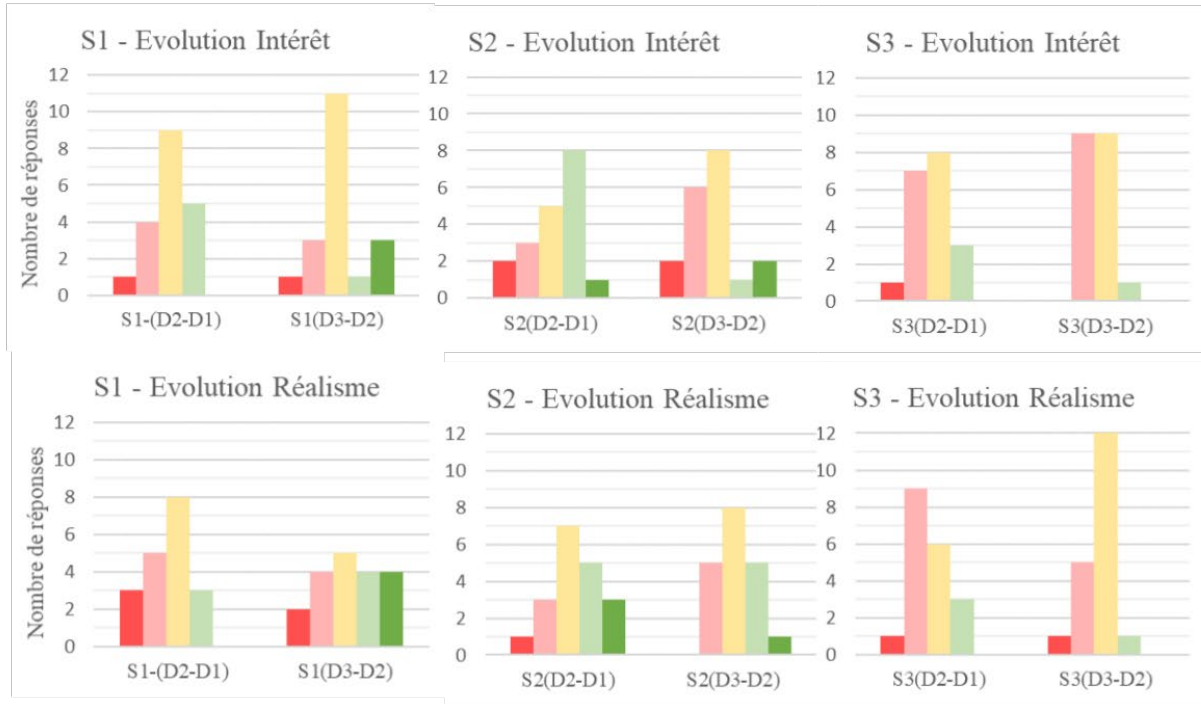
Figure 101 : Moyennes des variations de notes à session (gauche) et à niveau de détail (droite) constants. Sur ces graphiques, les écarts D3-D1 et S3-S1 ont également été représentés afin d'illustrer l'impact de ce choix sur l'analyse des résultats. Ces points, n'étant pas pris en compte dans la suite de l'analyse car redondants avec les écarts D3-D2 et S3-S2, sont représentés en petit dans ces graphes.

ANNEXES

Variation des notes:



A. Session constante, PP variable



B. PP constante, session variable

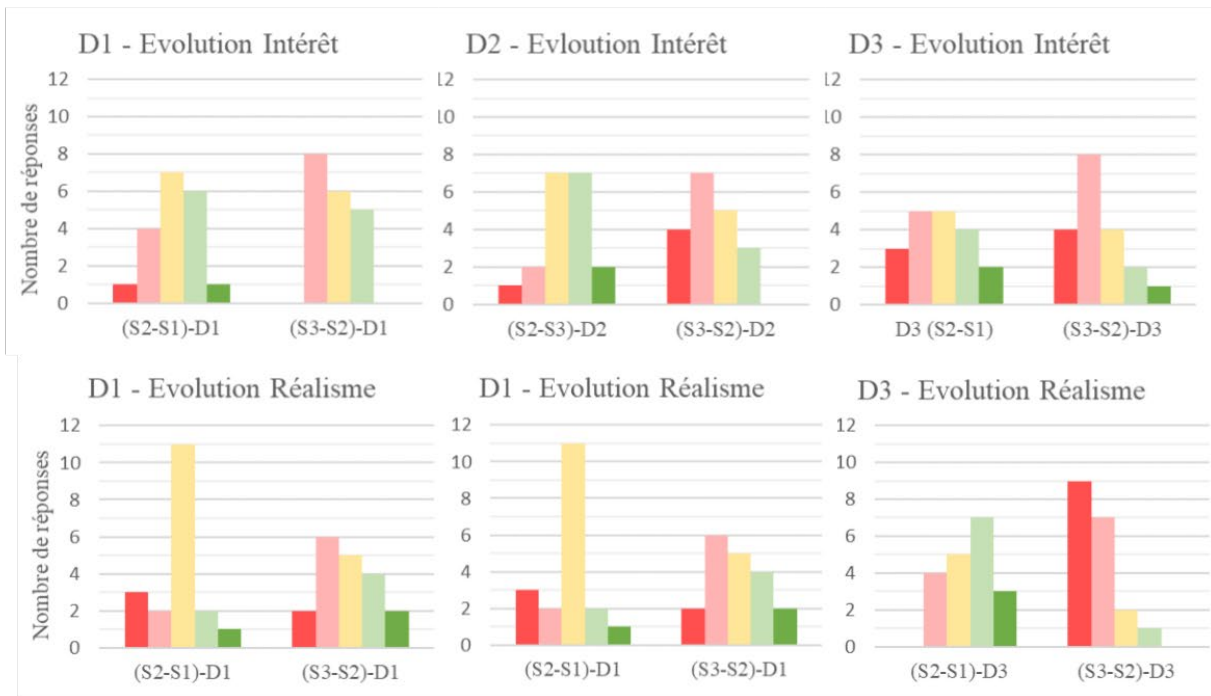


Figure 102 : Distribution de la variation des notes données aux promesses plausibles, à session constante et à niveau de détail constant.

Analyse des causes de variation d'intérêt et de réalisme

Les références associées à un changement d'intérêt et/ou de réalisme, illustrées par la Figure 103, permettent de déterminer les éléments clés qui ont conduit les acteurs à modifier leur notation d'une PP à l'autre. Cette figure montre que la diminution de l'intérêt est essentiellement liée à une évolution de la perception des perspectives ou du processus. A l'inverse, l'augmentation de l'intérêt est plutôt guidée par les enjeux. Ces changements font principalement intervenir des facteurs techniques, qui interviennent autant dans l'augmentation que dans la baisse de l'intérêt. Les facteurs politiques, environnementaux et sociaux sont plutôt associés à une baisse d'intérêt.

Le réalisme est plus souvent amené à diminuer qu'à augmenter. Cette baisse est principalement provoquée par un changement de perception des enjeux et des perspectives. La baisse de réalisme est principalement associée à des facteurs techniques, économiques et sociaux. Les perspectives et enjeux peuvent également provoquer une augmentation du réalisme, qui ne compense pas le poids de leur baisse. C'est principalement le facteur technique qui permet la hausse du réalisme.

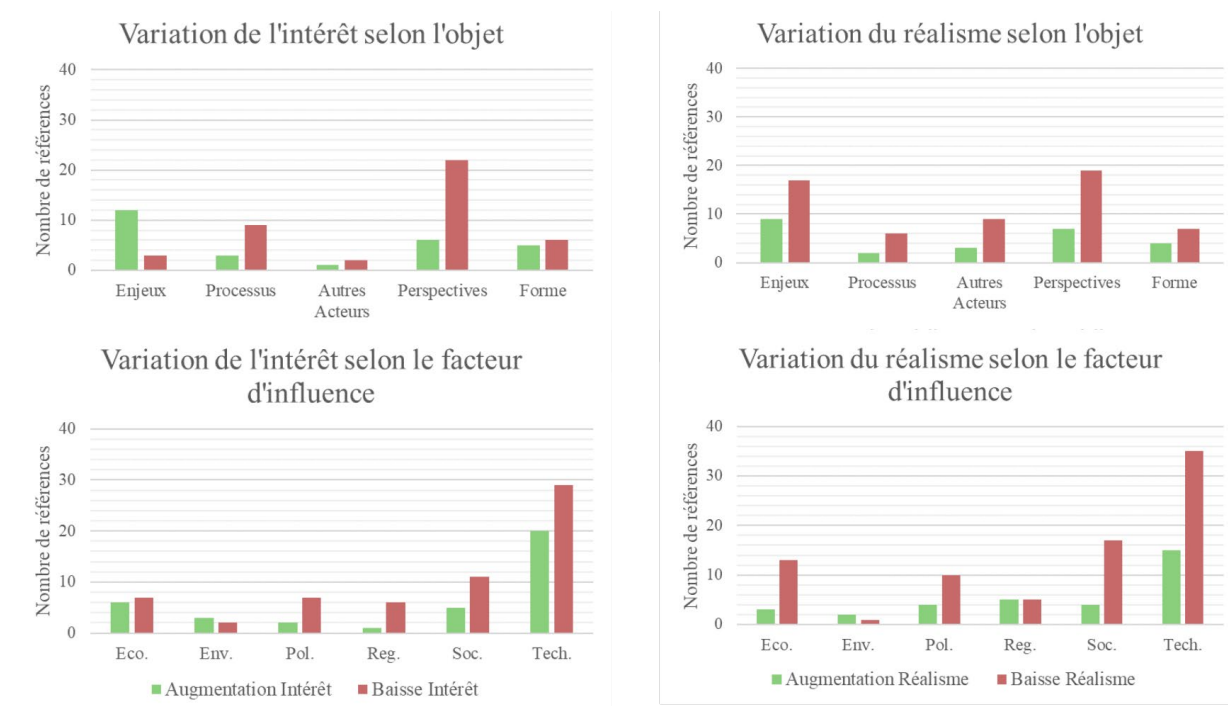


Figure 103 : Objets d'intérêt et de réalisme associés à l'évolution de la notation, et facteurs d'influence relatifs à ces évolutions

Résumé court / Short Abstract

Résumé court

La gestion des produits résiduels organiques est au cœur des problématiques environnementales. Cet enjeu de société fait intervenir de nombreux acteurs (collectivités, agriculteurs, entreprises, associations) et soulève des questions à la fois techniques et sociales. L'objectif de la thèse est de comprendre comment initier une Symbiose Territoriale visant à améliorer leur valorisation de manière concertée, entre autres par la substitution d'engrais de synthèse. Le travail s'intéresse à la promesse plausible, discours initiateur qui permettrait d'engager les acteurs dans une telle démarche. L'initiation est étudiée au travers de l'analyse de cas et d'une approche expérimentale sur la plaine de Versailles conjuguant analyses quantitatives et qualitatives. Ces travaux aboutissent à une meilleure compréhension de l'initiation et de l'évolution des démarches d'innovation collective, permettant de formuler des recommandations méthodologiques sur l'initiation d'une symbiose territoriale.

Short Abstract

Organic waste management is a key environmental issue. It involves many actors (municipalities, farmers, enterprises, associations), and raises both social and technical questions. The objective of this thesis is to understand how to initiate a Territorial Symbiosis aiming to collectively improve the recycling of organic waste, for instance by substituting mineral fertilizers. This work focuses on the plausible promise, which is the initiating discourses designed to convince actors to join such an initiative. The initiation is studied through case studies as well as an experimental approach, conducted at the "plaine de Versailles", combining quantitative and qualitative analysis. This work leads to a better understanding of the initiation and evolution of collective innovation initiatives, allowing to formulate methodological recommendations for initiating a territorial symbiosis.