HAL
open science

Le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires en agriculture : analyse à partir des réseaux métaboliques et étude de cas dans la vallée de la Drôme

Andréa-Wiktor Gabriel

To cite this version:

Andréa-Wiktor Gabriel. Le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires en agriculture : analyse à partir des réseaux métaboliques et étude de cas dans la vallée de la Drôme. Sciences agricoles. Université Paris-Saclay, 2021. Français. NNT : 2021UPASB017 . tel-03223081

HAL Id: tel-03223081

https://pastel.hal.science/tel-03223081

Submitted on 10 May 2021

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.

Le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires en agriculture :
analyse à partir des réseaux métaboliques et étude de cas dans la vallée de la Drôme

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n° 581, agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES)
Spécialité de doctorat: Sciences agronomiques
Unité de recherche : INRAE, UR LESSEM, St-Martin-d'Hères, F-38402, France
Référent : AgroParisTech

Thèse présentée et soutenue à Paris-Saclay, le 23/03/2021, par

Andréa Wiktor GABRIEL

Composition du Jury

Philippe MARTIN Professeur, AgroParisTech	Président
Safya MENASSERI Maître de conférences HDR, Institut Agro – AgroCampus Ouest	Rapporteur & Examinatrice
Tom WASSENAAR Chercheur HDR, CIRAD Montpellier	Rapporteur & Examinateur
Benoît DEDIEU Directeur de Recherche, INRAE, Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes	Examinateur
Gaël PLUMECOCQ Chargé de recherche, INRAE, Centre Occitanie-Toulouse	Examinateur
Franck-Dominique VIVIEN Professeur, Université Reims Champagne-Ardenne	Examinateur

Direction de la thèse

Philippe LESCOAT Professeur, AgroParisTech	Directeur de thèse
Sophie MADELRIEUX Ingénieure-chercheure, INRAE, Centre Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes	Co-Encadrante & Examinatrice

Thèse de doctorat

NNT : 2021UPASB017

« Tandis que d'autres publient ou travaillent, j'ai passé trois années de voyage à oublier au contraire tout ce que j'avais appris par la tête. Cette désinstruction fut lente et difficile ; elle me fut plus utile que toutes les instructions imposées par les hommes, et vraiment le commencement d'une éducation. »

André Gide, *Les nourritures terrestres*, 1897

Remerciements

Mes remerciements vont en premier lieu à mes encadrants pour leur engagement solide à mes côtés tout au long de cette aventure. À Philippe, pour sa grande connaissance du monde agricole, pour sa recherche infatigable du dialogue, pour m'avoir accordé sa confiance même dans les moments de doute et pour son soutien irréprochable et profondément humain. À Sophie, pour ses lectures et relectures toujours exigeantes et son patient travail de maïeutique, faisant apparaitre du sens et de la clarté là où je ne soupçonnais pas qu'on puisse en trouver.

Je suis particulièrement reconnaissant à toutes les personnes que j'ai eu la chance de rencontrer le long de mon travail d'enquête. Je pense en particulier aux agriculteurs qui ont bien voulu s'ouvrir à moi et qui ont donné de leur temps pour me décrire toutes les subtilités de leurs pratiques.

Sur le plan institutionnel, je remercie l'ADEME, qui a financé mon travail de terrain dans la vallée de la Drôme ainsi que 8 mois de prolongation de contrat doctoral.

Je remercie aussi tout l'équipe du Lessem et du centre Inrae de Grenoble pour son accueil, Yves, Jean-François et Isabelle notamment. Une pensée particulière pour Sandrine, ma co-bureau, pour son rire libérateur et son esprit affuté. À Jean-Jacques pour de belles discussions toujours étonnantes.

Mes remerciements vont aux autres doctorants du laboratoire, compagnons d'aventure que je ne suis pas près d'oublier. À Simon, pour avoir su me ramener aux choses essentielles, qui – résultat étonnant- ont toujours quelque chose à voir avec le beurre, et accessoirement, pour plusieurs milliers d'heures de rire en temps cumulé. À Laurent, camarade de luttes, explorateur aventureux de chemins interdisciplinaires, pour ta disponibilité au débat d'idée jamais mise en défaut. Je pense à Alice, pour la finesse de nos discussions, toujours engagées et revigorantes. À Mithila, à Laura, à Charles et Lucas. À Delphine, sans qui toute cette joyeuse troupe n'aurait jamais été aussi unie. Je pense aussi à Antoine et Alex, pour le bol d'air frais du grand large que vous nous avez apporté au labo, et qui nous a depuis si souvent manqué.

J'ai une pensée particulière pour ceux qui m'ont soutenu dans cette longue et dernière ligne droite. En premier lieu à mes parents et à mon frère Louis qui ont toujours cru en moi et qui m'ont prodigué amour et attention tout au long de la thèse.

À Haru, qui par sa présence féline a rendu supportable le confinement, et qui me relayait systématiquement à mon poste de travail dès que je n'avais plus la force de rédiger.

À Iloma, pour son soutien indéfectible et son amour, qui a fait de moi l'homme le plus heureux, et accessoirement le mieux nourri à un kilomètre à la ronde pendant cette rédaction.

Sommaire

INTRODUCTION 11

PARTIE 1. PROBLEMATIQUE 15

CHAPITRE.I. LE ROLE DES BIOMASSES RESIDUAIRES EN AGRICULTURE ET EVOLUTION DES REPRESENTATIONS DE LEUR METABOLISME 17

I.1. Importance des biomasses résiduaires dans l'organisation des interdépendances entre sociétés humaines et agriculture 17

I.2. Les transformations du métabolisme des biomasses résiduaires au cours des révolutions industrielles18

CHAPITRE.II. LA QUESTION DE L'ECOLOGISATION DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES A LA CROISEE DES CHEMINS ENTRE « MODERNISATION ECOLOGIQUE » ET « TERRESTRIALISATION » 23

II.1. Démarches d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires dans le champ institutionnel 23

II.2. Les critiques de la modernisation écologique et l'appel à son dépassement : le projet d'une écologisation terrestre 28

CONCLUSION : COMMENT PRENDRE EN CHARGE LE PLURALISME DES VOIES D'ECOLOGISATION DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES ? 35

PARTIE 2. CADRES THEORIQUES 37

CHAPITRE.III. LE PROGRAMME BIOECONOMIQUE, UN PROJET DE TRANSFORMATION SCIENTIFIQUE ET SOCIALE DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE 39

III.1. Un paradigme scientifique 39

III.2. Un programme de transformation sociale relevant à la fois de mesures techniques, de changements institutionnels et de propositions éthiques 46

III.3. Des héritages multiples, à la croisée des sciences et de la politique 49

CHAPITRE.IV. LE PRAGMATISME, UN CADRE PHILOSOPHIQUE POUR PENSER LE PLURALISME ANCRE DANS L'EMPIRISME ET L'ACTION 55

IV.1. Une courant philosophique ancré dans la réalité et qui part des problèmes des hommes 55

IV.2. Une philosophie pour prendre en charge le pluralisme 57

CHAPITRE.V. LE METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE VU SOUS UN ANGLE PRAGMATIQUE : LES RESEAUX METABOLIQUES COMME CADRE ANALYTIQUE 59

V.1. Les réseaux métaboliques : une réalité faite de flux et de fonds 60

V.2. Les réseaux métaboliques : centrer son regard sur des situations problématiques 61

V.3. Les réseaux métaboliques : une approche relationnelle pour penser ensemble les fins et les moyens. 62

CONCLUSION : COMMENT CARACTERISER LE PLURALISME DES VOIES D'ECOLOGISATION DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES AU PRISME DES RESEAUX METABOLIQUES ? 63

PARTIE 3. ETAT DE L'ART 65

CHAPITRE.VI. PLURALISME DES REPRESENTATIONS DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE ET DES PROGRAMMES D'ECOLOGISATION ASSOCIES 67

VI.1. Méthode : des écoles de pensée caractérisées à l'aide des réseaux métaboliques 67

VI.2. Huit écoles de pensées qui proposent des représentations du métabolisme socio-économique et des programmes d'écologisation différents 70

CONCLUSION : ANALYSER LE METABOLISME DES BIOMASSES RESIDUAIRES PAR LA MISE EN DIALOGUE DE DEUX PROGRAMMES OPPOSES : L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE (EI) AU SERVICE D'UNE MODERNISATION ECOLOGIQUE, ET LES ECONOMIES DE LA GRANDEUR (EG) AU SERVICE D'UNE ECOLOGISATION TERRESTRE 79

PARTIE 4. MATERIEL ET METHODES 81

CHAPITRE.VII. TERRAIN ET OBJET D'ETUDE : LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES DANS LES SYSTEMES AGRICOLES DE LA VALLEE DE LA DROME 83

VII.1. La vallée de la Drôme comme terrain d'étude 83

VII.2. Récolte des données sur quatre niveaux différents : bases de données, experts, agriculteurs et action collective 87

CHAPITRE.VIII. UNE METHODE D'ANALYSE S'APPUYANT SUR LES RESEAUX METABOLIQUES 91

VIII.1. Essai d'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique 93

VIII.2. Essai d'économies de la grandeur, au service d'une écologisation terrestre 99

VIII.3. Essai de mise en dialogue des deux écoles de pensées 105

CONCLUSION 109

PARTIE 5. RESULTATS 111

CHAPITRE.IX. ESSAI D'ECOLOGIE INDUSTRIELLE AU SERVICE D'UNE MODERNISATION ECOLOGIQUE DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES 113

IX.1. Une réalité faite de flux et fonds : les biomasses résiduaires produites sur le territoire 113

IX.2. Des situations problématiques : des déséquilibres entre productions et apports 125

IX.3. Une approche relationnelle : circulation des biomasses résiduaires parmi les acteurs économiques, entre interdépendance et concurrence 130

Conclusion 144

CHAPITRE.X. ESSAI D'ECONOMIES DE LA GRANDEUR AU SERVICE D'UNE ECOLOGISATION TERRESTRE DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES 145

X.1. Une réalité faite de flux et de fonds : comment l'agriculteur décrit-il le métabolisme des biomasses résiduaires, et quelle place y est accordée au vivant ? 145

X.2. Des situations problématiques : des transformations du métabolisme qui révèlent des difficultés à composer avec le reste du vivant 151

X.3. Une approche relationnelle : la gestion des biomasses résiduaires s'inscrit dans des collectifs hybrides différents selon le type de biomasse 157

Conclusion 173

CHAPITRE.XI. MISE EN DIALOGUE PRATIQUE DES ESSAIS D'ECOLOGIE INDUSTRIELLE ET DES ECONOMIES DE LA GRANDEUR 175

XI.1. Une réalité faite de flux et de fonds : des représentations contrastées du métabolisme 175

XI.2. Des situations problématiques : les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires ainsi que le rapport au vivant sont des problèmes liés 182

XI.3. Une approche relationnelle : les programme d'EI et EG négociés dans un projet de compostage collectif, donnant lieu à différents compromis (l'exemple de l'association « Compost' et moi ») 186

Conclusion 195

PARTIE 6. DISCUSSION 197

CHAPITRE.XII. EVOLUTION DE MON POSITIONNEMENT AU COURS DU PARCOURS DE THESE 199

XII.1. La question de l'interdisciplinarité et du pluralisme 199

XII.2. A la recherche d'un positionnement : entre bioéconomie et pragmatisme pour un agronome 202

CHAPITRE.XIII. INTERETS, LIMITES ET PERSPECTIVES DE MA DEMARCHE METHODOLOGIQUE 215

XIII.1. L'opérationnalisation des réseaux métaboliques : une démarche originale de mise en dialogue 215

XIII.2. L'opérationnalisation de l'écologie industrielle : l'ancrage d'un idéal modernisateur dans une situation concrète 222

XIII.3. L'opérationnalisation des économies de la grandeur : un outil au service d'une écologisation terrestre 228

CHAPITRE.XIV. LES RECITS SUR L'ECOLOGISATION DANS LA VALLEE DE LA DROME A L'EPREUVE DES RESEAUX METABOLIQUES 235

XIV.1. La Biovallée, un territoire de référence et reproductible ? 236

XIV.2. Un projet d'écologisation radical porté par l'agriculture biologique en opposition à un modèle conventionnel et modernisateur ? 241

CONCLUSION 249

Perspectives pour une écologisation pluraliste 249

REFERENCES ET TABLES **253**

BIBLIOGRAPHIE 255
LISTE DES ABBREVIATIONS 272
TABLE DES FIGURES 274
LISTE DES TABLES 275
TABLE DES MATIERES DETAILLEE 276

ARTICLES **285**

ARTICLE 1. A REVIEW OF SOCIO-ECONOMIC METABOLISM REPRESENTATIONS AND THEIR LINKS TO ACTION: CASES IN AGRI-FOOD STUDIES – PUBLIÉ DANS ECOLOGICAL ECONOMICS 178 (2020) 287
ARTICLE 2. RESIDUAL BIOMASS MANAGEMENT IN AGRICULTURAL SYSTEMS IN THE DRÔME VALLEY: DISCUSSION OF TWO PROGRAMS OF ECOLOGIZATION: INDUSTRIAL AND EARTHBOUND (PROCEEDINGS OF IFSA 2020 CONFERENCE – REPORTÉ) 301

ANNEXES **321**

TABLE DES ANNEXES 323

Introduction

Les biomasses résiduaires, des ressources utiles ou des déchets ? Esquisse d'une situation paradoxale

La gestion des biomasses résiduaires (BR) est l'objet de multiples paradoxes et contradictions. Les effluents d'élevages, résidus de cultures ou déchets verts jouent un rôle essentiel en agriculture, où ils sont intimement liés à la question de la préservation de la fertilité des sols, notamment via la matière organique qu'ils procurent. Les résidus de culture et pailles jouent aussi un rôle central en élevage, tant pour l'alimentation des animaux que pour leurs litières. Pourtant, on observe une surprenante disparité dans la prise en charge de ces biomasses. Elles sont dans certaines situations considérées comme des ressources rares et précieuses, valorisées comme des produits commerciaux, vendues et transportées sur des milliers de kilomètres. Dans d'autres cas, elles sont rejetées et considérées comme des déchets. Par exemple, certaines collectivités payent des sommes importantes pour le traitement des déchets verts, alors que d'autres réussissent à le vendre sous la forme d'un compost. Des agriculteurs se débarrassent de leurs fumiers considérés comme un fardeau, alors que d'autres y voient un « or brun », de grande valeur. La valorisation des biomasses résiduaires ne semble jamais complètement assurée : aucune institution, ni le marché, ni la réglementation sur les déchets, ni les proximités locales ne semblent réussir à les prendre en charge complètement.

Des voies d'écologisation contradictoires qui nous placent à la croisée des chemins

Sur le plan scientifique, le constat est quasi unanime: ces biomasses jouent un rôle fondamental dans les bases biophysiques du fonctionnement des sociétés humaines. Leur gestion représente un enjeu en termes de maintien et de renouvellement de la fertilité des sols, de pollution à l'azote ou de bilan carbone en lien à leur transport. On pourrait imaginer que ces constats aboutissent à un accord autour d'une manière commune d'aborder la question de la gestion de ces biomasses et potentiellement de la transformer pour une plus grande durabilité. Mais c'est pourtant l'exact inverse qui arrive puisque des voies d'écologisation radicalement différentes coexistent dans le cadre même des institutions scientifiques.

L'exemple de la bioéconomie est, à ce titre, édifiant. Si ce terme est aujourd'hui à la mode et figure en bonne place parmi les programmes scientifiques de l'INRAE[1], des scientifiques du même institut, du même département, utilisent le même terme pour décrire des concepts rigoureusement orthogonaux dans leurs implications sur le rôle des biomasses. D'une part, la bioéconomie institutionnelle vise à optimiser la valorisation de biomasses de manière à créer de nouveaux relais de croissance, en s'appuyant notamment sur la chimie verte et les technologies de rupture. D'autre part, la bioéconomie déployée par un économiste roumain

[1] La bioéconomie institutionnelle représente une des 5 orientations scientifiques (OS) de la stratégie INRAE2030 : « Une bioéconomie basée sur une utilisation sobre et circulaire des ressources ». De plus, une des trois directions scientifiques l'inclut : « alimentation et bioéconomie », ainsi qu'un méta-programme inter-Départements « Bioéconomie pour les territoires urbains ».

Nicholas Georgescu-Roegen, propose un contre-projet hétérodoxe qui s'appuie sur une vision métabolique du fonctionnement des sociétés humaines pour légitimer une agriculture biologique, un prudent recyclage des biomasses, la valorisation de l'énergie solaire, et appelant à la décroissance de tous les pans de l'économie dépendant des énergies fossiles. Il est difficile de trouver deux perspectives plus éloignées[2]. A bien des égards, il semblerait que la question de la gestion des biomasses déborde du champ scientifique et occupe un terrain instable où sciences et politique semblent inextricablement entremêlés.

Cette thèse constitue une réflexion sur ces paradoxes ainsi qu'une tentative pour essayer de penser la gestion des biomasses résiduaires d'une manière qui prenne en charge le pluralisme des perspectives en jeu. Agronome de formation, invité au début de ma thèse à me pencher sur la question de la concurrence entre usages des BR, j'ai été amené à intégrer dans mon travail la question de la prise en charge des implications politiques de nos objets scientifiques. Mon regard sur l'objet mais aussi la réflexivité sur ma propre position sont ainsi l'objet d'une discussion dialectique qui infuse l'ensemble du manuscrit.

Le plan général de la thèse

C'est un cheminement intellectuel fait de lectures théoriques, d'enquêtes de terrain, de questionnements philosophiques et de réflexions appliquées que je tente de vous restituer ici. La thèse se partage en six parties distinctes, auxquelles il faut ajouter articles et annexes. Chaque partie comporte plusieurs chapitres. Si le rendu d'un manuscrit de thèse est linéaire, la réflexion ne l'a pas été. Des cheminements en parallèle introduisent la problématique et accompagnent ses développements. Un schéma de la thèse est proposé en Figure 1, pour expliciter cette construction non linéaire et situer chaque partie et chapitre dans la logique d'ensemble. De manière à faciliter la lecture, cette figure est rappelée en début de chaque partie, en surlignant la partie qui va être abordée dans la suite. A la fin de chaque partie une conclusion rappelle les principaux points abordés jusqu'ici.

La première partie est consacrée à la présentation de la problématique. J'y développe la question du rôle des BR en agriculture en retraçant ses évolutions depuis la révolution industrielle. Je montre comment le rôle des BR a changé, en lien avec les transformations du regard métabolique porté sur elles *(Chapitre I).* Cette partie présente l'existence de visions radicalement différentes de ce que devraient être la gestion des BR, en introduisant l'opposition entre des voies relevant de la « modernisation » et de la « terrestrialisation » *(Chapitre II)*. Cette partie aboutit à la formalisation du problème de la thèse : comment prendre en charge ce pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires ?

La deuxième partie consiste en une proposition théorique et pratique visant à prendre en charge ce pluralisme. J'y présente les cadres théoriques qui forment l'ossature de la thèse que sont le paradigme scientifique bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen introduisant la vision métabolique du fonctionnement des sociétés humaines *(Chapitre III)*,

[2] Voir « *Bioéconomie et territoires : limites et réorganisation des systèmes agricoles et alimentaires. Note de travail pour le schéma stratégique du département ACT »* (Allain et al., 2020)

ainsi que le pragmatisme du philosophe William James *(Chapitre IV).* Ces deux cadres théoriques sont associés pour proposer un cadre d'analyse : les réseaux métaboliques, qui visent à prendre en charge le pluralisme des représentations en invitant à penser ensemble les moyens et les fins par des approches relationnelles *(Chapitre V)*. A la fin de cette partie, la question générale est posée : comment caractériser le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des BR au prisme des réseaux métaboliques ?

La troisième partie présente un état de l'art du pluralisme des représentations du métabolisme socio-économique des systèmes agricoles ou alimentaires et des voies d'écologisation associées, qui opérationnalise l'opposition entre modernisation et terrestrialisation (présentée dans le Chapitre II), à l'aide de notre cadre des réseaux métaboliques *(Chapitre VI).* Cette partie aboutit à une reformulation de la question de recherche : en quoi les réseaux métaboliques permettent la mise en dialogue de deux programmes opposés pour écologiser la gestion des biomasses résiduaires dans les systèmes agricoles : l'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique, et les économies de la grandeur au service d'une écologisation terrestre ?

La quatrième partie présente le terrain d'étude et la méthodologie suivie. Mes enquêtes m'ont porté dans la vallée de la Drôme, un des deux terrains du projet BOAT[3]. Ce territoire est constitué d'une grande diversité de systèmes agricoles. L'importance de la production biologique fait de la question des résidus organiques un enjeu important. La vallée de la Drôme représente aussi un cas d'étude original, où les rôles traditionnellement distincts des collectivités, chambres d'agriculture et entreprises se retrouvent brouillés. Un territoire, où, par exemple, des collectivités territoriales portent un programme politique sur les questions agricoles, concourent à des appels à projets à l'échelle nationale et internationale, ou investissent des terrains extérieurs à leurs limites géographiques *(Chapitre VII).* La méthode d'analyse donne à voir la manière dont j'ai développé l'analyse par les réseaux métaboliques de manière concrète, en cherchant à relier les moyens et les fins, et à sortir du dualisme entre théorie et pratique *(Chapitre VIII).*

La cinquième partie présente les résultats. Un essai d'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique de la gestion des BR et un essai d'économies de la grandeur au service d'une écologisation terrestre *(respectivement dans les Chapitres IX et X).* Leur mise en dialogue occupe le chapitre suivant et permet de montrer les articulations, les parallèles et les convergences, mais aussi les oppositions et incompatibilités entre les deux voies d'écologisation dans différentes situations concrètes *(Chapitre XI).*

Enfin, la dernière partie présente la discussion. Elle prend la forme de trois chapitres qui abordent les perspectives et limites de mon travail à des niveaux différents. Un premier chapitre retrace mon expérience intellectuelle et personnelle au travers d'une narration de l'évolution de mon positionnement au cours de la thèse *(Chapitre XII).* Un deuxième chapitre se focalise sur le niveau méthodologique, en développant les perspectives et limites de ma démarche des réseaux métaboliques ainsi que mon opérationnalisation de l'écologie industrielle et des économies de la grandeur *(Chapitre XIII).* Enfin, un dernier chapitre discute des récits concernant l'écologisation dans la vallée de la Drôme, en les mettant à l'épreuve de mon analyse par les réseaux métaboliques et dresse des perspectives d'action pratiques *(Chapitre IV).* Les différents niveaux de discussion sont entremêlés, ce qui donne lieu à de fréquents renvois. L'évolution du positionnement théorique influence les choix méthodologiques, ou à l'inverse, des résultats pratiques génèrent en retour des discussions théoriques sur mon positionnement.

[3] Le projet « Biomasses d'origine agricole à l'échelle des territoires » (BOAT) a été financé par l'ADEME sur l'appel à projet GRAINE.

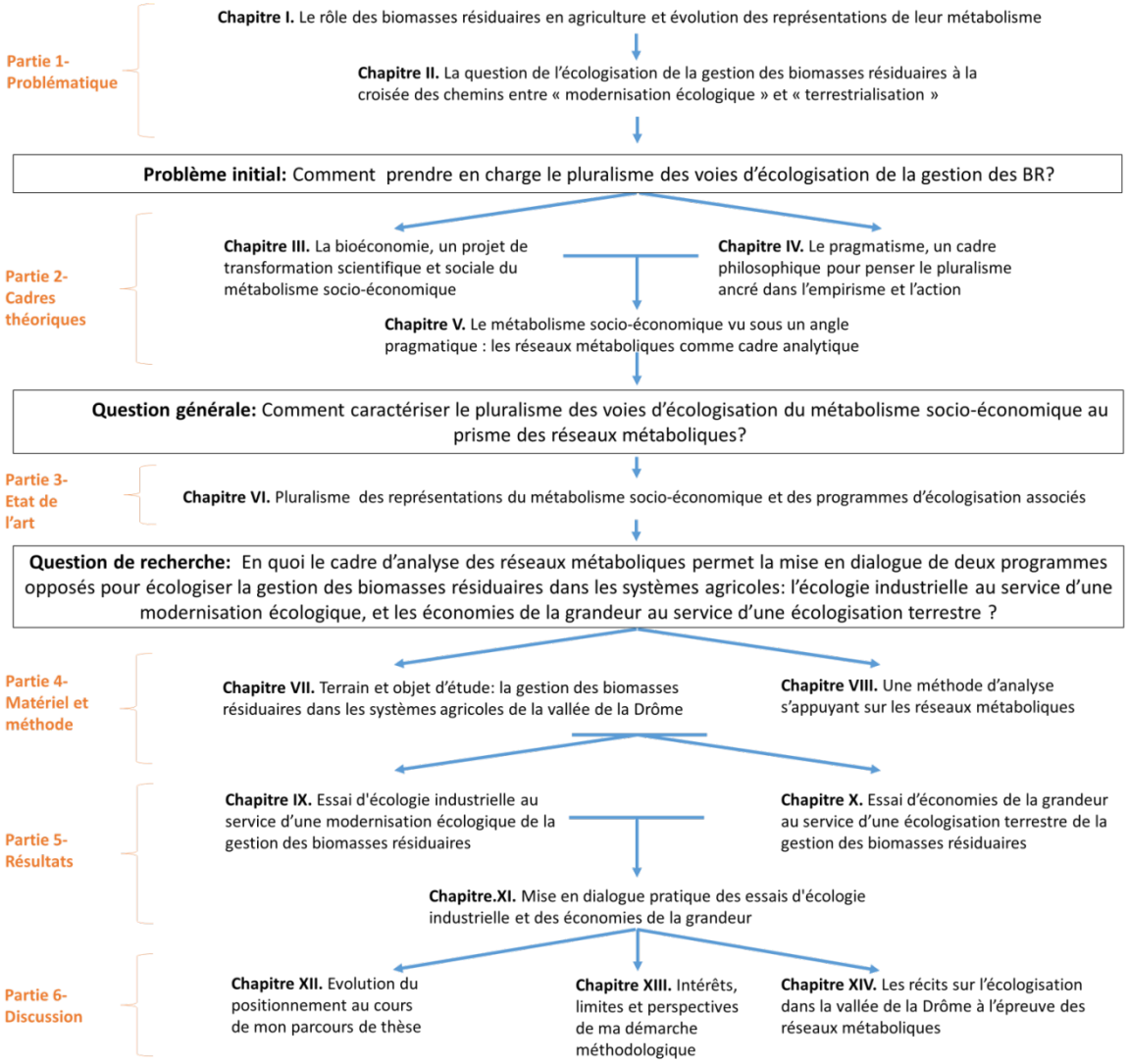
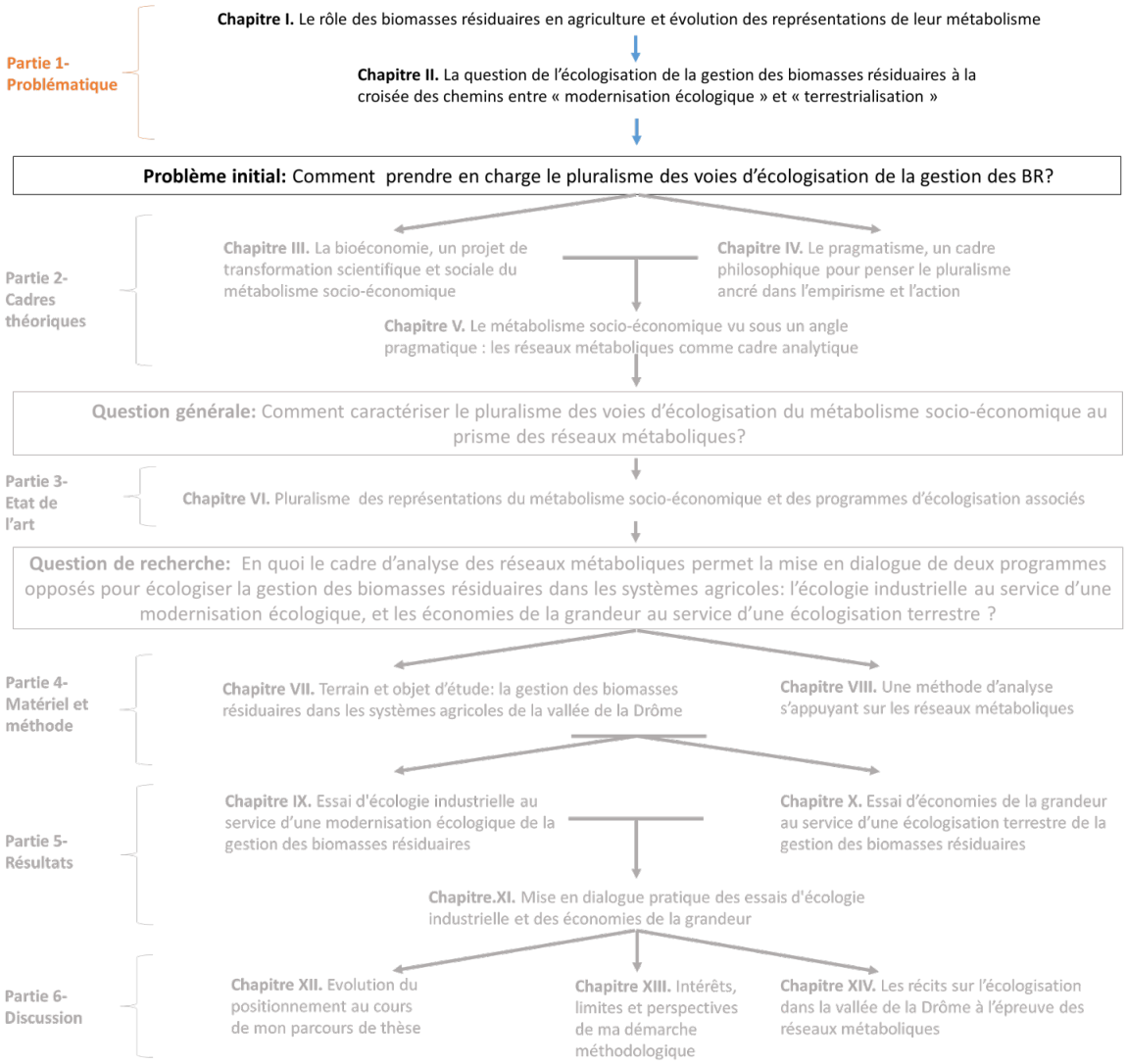


Figure 1 - Schéma du plan de thèse

PARTIE 1.

PROBLEMATIQUE

Dans cette partie, je présente succinctement l'évolution du rôle joué par les biomasses résiduaires en agriculture ainsi que des représentations de leur métabolisme, depuis l'époque moderne. Je montre ensuite que la question de l'écologisation de leur gestion est aujourd'hui à la croisée des chemins. J'introduis deux voies théoriquement opposées : la « modernisation écologique » et la « terrestrialisation ».



Chapitre.I. Le rôle des biomasses résiduaires en agriculture et évolution des représentations de leur métabolisme

Au sein de ce chapitre, j'introduis la question du métabolisme des biomasses résiduaires (BR) au travers de leur rôle en agriculture. Dans une première partie, je présente ce que j'entends par BR et notamment leur rôle dans les systèmes agricoles, maillon essentiel de l'interdépendance des sociétés humaines avec le reste du vivant. Dans une seconde partie, je retrace les évolutions du métabolisme des BR depuis la révolution industrielle. Je montre comment le rôle des BR a changé, en lien avec les transformations du regard métabolique porté sur elles.

I.1. Importance des biomasses résiduaires dans l'organisation des interdépendances entre sociétés humaines et agriculture

La biomasse désigne au sens large l'ensemble de la matière vivante. Elle est composée de la totalité des organismes vivants dans un lieu déterminé à un moment donné, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux ou de champignons. La biomasse joue un rôle primordial dans la survie et la subsistance des sociétés humaines puisque qu'elle fournit la matière essentielle à l'alimentation et à l'habillement d'une partie importante de l'humanité. Elle fournit aussi de l'énergie, ainsi que des matériaux de construction (Daviron, 2020). Malgré les développements technologiques successifs depuis la révolution industrielle, les sociétés humaines restent intimement dépendantes du reste du vivant. Si l'agriculture ne représente plus que 3,4% du Produit Intérieur Brut (PIB) mondial (Banque Mondiale, 2018), elle reste le premier producteur de biomasses pour l'usage humain, atteignant 89 % de la masse totale (Krausmann et al., 2009). Les activités humaines, et notamment l'agriculture, ont un poids majeur à l'échelle de la biosphère. A titre d'ordre de grandeur, la biomasse totale des humains et des animaux d'élevage représente plus de 20 fois la masse de celle constituée par l'ensemble des mammifères sauvages (Bar-On et al., 2018).

L'activité agricole consiste en l'organisation sociale des processus métaboliques pour la production de biens au service de l'homme. Si ces processus produisent effectivement des biomasses d'intérêts pour l'homme, ils produisent aussi des résidus, des « *matières qui subsistent après une opération physique ou chimique, une transformation industrielle, une fabrication, en particulier après extraction des produits de plus grande valeur »* (Larousse, 2018). En agriculture, les résidus prennent des formes diverses. On parle de résidus de culture au sujet des résidus végétaux laissés par une culture sur la parcelle après la récolte. Pour les productions animales, on parle d'effluents d'élevages. Ils regroupent les déjections des animaux, sous une forme liquide ou solide comme les lisiers, les fientes ou les fumiers dans les cas où les déjections sont mélangées à une litière végétale.

Le fait que ces biomasses soient résiduaires ne signifie nullement qu'elles ne présentent aucun intérêt pour l'homme, ni encore moins qu'elles ne jouent aucun rôle dans les systèmes agricoles. Les résidus de cultures laissés sur les parcelles font partie intégrante du fonctionnement des cycles biogéochimiques, tout comme les litières dans les écosystèmes naturels. Ces résidus de cultures, ainsi que les effluents d'élevage, fournissent la matière organique pour les sols agricoles. Dès le néolithique, alors que la fertilité des terres cultivées en céréales était assurée par la technique de l'abattis-brûlis, les vergers et les jardins étaient

fertilisés grâce aux restes de repas, aux résidus de cultures et aux déjections animales (Paillat-Jarousseau et al., 2016). Ainsi, la circulation des biomasses relie cultures et élevages (Lemaire et al., 2014).

Les biomasses mobilisées en agriculture peuvent cependant avoir des origines plus éloignées de l'agriculture, notamment urbaines, comme c'est le cas des déchets verts des collectivités territoriales, des boues de stations d'épuration urbaines ou de certains déchets issus d'industries diverses, notamment agro-alimentaires. Ces matières organiques d'origine résiduaire peuvent être épandues sur un sol agricole pour valoriser ou recycler les éléments fertilisants et la matière organique qu'elles contiennent. Celles-ci sont désignées comme des matières fertilisantes d'origine résiduaire (Houot et al., 2014), ou des produits résiduaires organiques (Paillat-Jarousseau et al., 2016). D'autres usages (énergie, matériaux de construction) connaissent un développement important (Grillot et al., 2019).

La circulation des BR relie ainsi différents systèmes : les systèmes urbains et ruraux (Barles et al., 2011), les écosystèmes et les agrosystèmes (Altieri, 1999), et les systèmes agricoles et alimentaires. Dans la suite de la thèse, on utilise les termes " biomasse résiduaire » (BR) pour désigner l'ensemble des matières organiques d'origine résiduaire utilisées en agriculture et ceci quelque soient leurs origines (agricole ou non agricole) et modalités d'usage.

I.2. **Les transformations du métabolisme des biomasses résiduaires au cours des révolutions industrielles**

2.1. **Le passage d'un régime métabolique agraire et solaire à un régime industriel et minier**

La place occupée par les BR, comme la manière de considérer leur métabolisme, s'est transformée au cours de l'histoire. Pour caractériser les changements observés en Occident au cours des révolutions industrielles Daviron décrit deux régimes métaboliques que sont le régime solaire/agraire et le régime industriel/minier.

> *« Dans le [régime métabolique solaire/agraire], la biomasse est la source principale d'énergie et de matière pour quasiment tous les besoins humains : alimentation, habillement, chauffage, entretien de la fertilité des sols »* Derrière les biomasses, c'est l'énergie solaire qui est le producteur principal d'énergie. *« Quant à l'énergie mécanique, seuls le vent et les cours d'eau en fournissent un appoint qui confère au transport maritime ou fluvial un avantage décisif. Pour le reste et notamment le transport terrestre, l'énergie dépend entièrement du travail des hommes ou des animaux, biomasse eux-mêmes et nourris de biomasse. » (Daviron, 2020)*

D'un régime métabolique agraire et solaire, les sociétés occidentales se convertissent progressivement à un régime industriel et minier, tirant l'essentiel de ses ressources de l'exploitation du sous-sol. Le charbon puis le pétrole s'imposent comme les sources quasi uniques d'énergie mécanique et thermique. La biomasse est remplacée par des substituts de synthèse ou des dérivés de minerai, que l'énergie abondante permet d'extraire et de traiter (Daviron, 2020).

> *« Le deuxième régime, enfant de la « révolution industrielle », se caractérise en*

> *premier lieu par l'exploitation intensive des gisements fossiles d'énergie que sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Le régime métabolique minier est caractérisé par des disponibilités en énergie, d'abord thermique puis mécanique, sans commune mesure avec celles du régime métabolique solaire. Cette abondance d'énergie réduit brutalement les coûts du transport terrestre. Elle permet aussi le développement de la deuxième composante de ce régime métabolique, soit l'extraction et la transformation à grande échelle de divers minerais et leur emploi pour de multiples usages. Elle permet enfin à l'industrie chimique de développer progressivement une vaste activité de production de matière synthétique. Les usages de la biomasse se raréfient au fur et à mesure de l'avancée des produits de synthèse. L'alimentation humaine devient l'usage quasi exclusif des produits agricoles. » (Daviron, 2020)*

En parallèle, les sociétés occidentales deviennent dépendantes de biomasses transportées sur de grandes distances, pour leur approvisionnement en matière et en énergie. Le développement du transport de produits à l'échelle planétaire dans le cadre des empires coloniaux transforme profondément la circulation des biomasses. Des biomasses résiduaires, comme le guano, sont importés du Chili. Ces engrais forment des ressources nouvelles pour l'agriculture européenne et participent à augmenter ses rendements (Daviron, 2020). La découverte des mines de phosphate au Maroc fournit de nouveaux intrants aux agriculteurs, notamment des pays du Nord.

2.2. **La rupture du lien entre villes et campagnes : le « rift métabolique »**

Au sein de systèmes préindustriels, les biomasses résiduaires jouent un rôle central dans l'interaction entre différentes activités (cultures et élevages), mais aussi entre différents espaces d'un territoire (ville et campagne). Les agriculteurs mobilisent fortement les BR au sein même de leurs systèmes de production : c'est le "système fumier", concept majeur des agronomes du XIXe siècle. Les agriculteurs jouent un rôle essentiel dans la mobilisation des biomasses résiduaires produites dans les villes (Sabine Barles, 2015). Ce transfert de fertilité consiste notamment en la valorisation des déjections humaines en agriculture. Ces matières organiques urbaines sont reconnues par l'agronomie naissante comme des fertilisants efficaces. Dans la proximité des villes, les fumiers animaux sont complétés par les résidus urbains tels que les cendres de petites industries, les chiffons de laine, les matières de vidange des fosses d'aisance et les boues des rues (Paillat-Jarousseau et al., 2016). Les transformations que connaissent les villes au cours du XIXe siècle participent à modifier ce système. Le développement des zones urbaines et la spécialisation des productions dans les territoires rendent de plus en plus compliquée la mobilisation des biomasses résiduaires d'origine urbaine. De plus le développement des villes et des métropoles augmente la quantité de déchets ménagers et de déjections produites qui dépassent largement les quantités que pourraient absorber les terres agricoles limitrophes.

En parallèle, le développement des idées hygiénistes modifie profondément la perception des biomasses résiduaires. Les déchets urbains, longtemps liées à la voirie « *lieu où l'on portait les ordures, les immondices, les vidanges, les fumiers et les débris animaux »* (CNRTL, 2018) sont de plus en plus perçus comme dangereux. Les déchets ménagers sont isolés, cachés dans des poubelles, limitant leur remobilisation. Les déjections sont traitées par le développement des canalisations et du "tout à l'égout". Les eaux des stations d'épurations sont perçues de manière suspecte par les agriculteurs et sont de moins en moins mobilisés. Sous l'influence de ces facteurs multiples, une partie de ces biomasses

résiduaires est alors considérée comme des déchets et cesse d'être valorisée par les agriculteurs. Ce découplage est décrit par Karl Marx, comme un « rift métabolique ». En proposant ce concept, il est le premier à appliquer la notion de métabolisme à la société (Fischer-Kowalski & Hüttler, 1998). De nos jours, le « métabolisme social » fait référence aux échanges complexes et dynamiques de matière et d'énergie, entre les êtres humains et la nature (Foster, 2000).

2.3. **Le développement de la fertilisation chimique amorcé par le développement des énergies fossiles ainsi que par la connaissance nouvelle du métabolisme des plantes**

Nous devons l'une des premières applications du concept de métabolisme à l'agriculture au chimiste allemand Justus von Liebig (1859). Il développe la notion de métabolisme, jusqu'alors majoritairement utilisée pour décrire le fonctionnement d'un organe [4]. Il la généralise, pour englober « *la totalité des réactions biochimiques d'un être vivant* » et l'applique à la nutrition des plantes. Son travail l'amène à identifier les échanges entre les éléments chimiques de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K), essentiels à la croissance des plantes. Leur mobilisation est vue comme un outil pour améliorer les rendements agricoles (Fischer-Kowalski & Hüttler, 1998). Cette vision du métabolisme, ainsi que les engagements ultérieurs de von Liebig en tant qu'homme d'affaires ont joué un rôle majeur dans le développement de l'agriculture moderne, et il est donc parfois considéré comme le père de la fertilisation chimique (*Fertilizer manual*, 1998).

L'une des étapes majeures de la transformation du métabolisme des BR est la découverte en 1909 du procédé Haber-Bosch. Il permet de produire des engrais azotés à partir d'azote atmosphérique de manière efficace et permet à l'agriculture de rompre sa dépendance aux déjections animales (Gu et al., 2013). Ce procédé nécessite du dihydrogène en plus d'azote atmosphérique. Celui-ci est aujourd'hui extrait à partir d'énergie fossile, notamment le méthane et le charbon. Ainsi, c'est à la fois un nouveau regard métabolique porté sur les plantes, mais aussi la disponibilité de grandes quantités d'énergie fossile à bas prix qui rend possible la rupture de la dépendance de l'agriculture aux déjections animales.

2.4. **La spécialisation de l'agriculture et son fonctionnement en « silos » par filières**

La mécanisation et l'introduction des produits de synthèse permettent d'exploiter plus de terres par un même homme, autrefois limité par le nombre d'animaux, ce qui concourt à l'augmentation des rendements. Des filières s'organisent alors autour des différentes

[4] Le métabolisme représente classiquement « l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent à l'intérieur d'un être vivant pour lui permettre notamment de se maintenir en vie, de se reproduire, de se développer et de répondre aux stimuli de son environnement. » Si les premières mobilisations de ce concept s'attachaient à l'étude de fonctions vitales de certains organes (le rôle des poumons dans la respiration, notamment), la notion de métabolisme a connu des développements multiples, qui ont amené les chercheurs à l'appliquer à des échelles différentes : les organismes vivants, les cellules, les compartiments intra-cellulaires, mais aussi les villes, pays ou continents ont été étudiés sous un angle métabolique.

productions agricoles, déconnectées entre elles (Lemaire et al., 2014). La ferme n'est plus vue comme un ensemble d'activités et de pratiques, liant indissociablement les hommes, la terre et les bêtes, mais comme une activité industrielle parmi d'autres. Si cette approche industrielle ne concerne pas de manière uniforme toute l'agriculture française, la spécialisation en est une dynamique forte. « *Entre 1970 et 2010, 68% des régions agricoles ont vu leur OTEX*[5] *changer, souvent en se spécialisant et en s'orientant vers les grandes cultures lorsque c'était possible. Seules les régions de Lorraine ont évolué vers la polyculture-élevage. »* (Schott et al., 2018). Le système synergique entre filières et notamment l'interdépendance entre culture et élevage est fragilisé. Même dans des exploitations qui conservent un système de polyculture-élevage, les interactions entre culture et élevage sont distendues puisque la valorisation des productions se fait par filières distinctes et il peut être plus avantageux pour un agriculteur de vendre ses céréales que de les donner à ses animaux (Ryschawy et al., 2012).

La spécialisation des territoires rend de plus en plus difficile le recyclage des fumiers et lisiers : la spécialisation en culture de certaines zones et la disparition de l'élevage, la concentration de l'élevage dans d'autre, va amener des déséquilibres dans la répartition territoriale de la matière organique. Certaines portions du territoire se retrouvent excédentaires, alors que d'autres sont en déficit de matières fertilisantes (Jouven et al., 2019).

Le « déchet », inexistant jusqu'alors, fait son apparition en agriculture. Par exemple, en systèmes ovin, si la laine reste une richesse dans les systèmes spécialisés en production lainière, elle est considérée comme un co-produit de peu de valeur dans les systèmes viande ou lait. Le petit lait, produit par la fabrication de fromages, traditionnellement valorisé pour l'alimentation des cochons est devenu un déchet, source de pollutions dans un nombre croissant de laiteries (Burgaud, 1969).

2.5. **Le développement d'un regard écologique sur le métabolisme des biomasses résiduaires : dépendance aux ressources fossiles, pollutions et pertes de fertilité**

Dès le XIXe siècle, les conséquences de ces transformations pour les systèmes agricoles sont soulignées par les agronomes : von Liebig, pourtant initiateur de la fertilisation chimique, s'inquiète des pertes de fertilité dues à l'abandon du système fumier. C'est au cours des années 1970 que les questionnements sur les interdépendances entre sociétés humaines et environnement naturel deviennent un sujet majeur, faisant explicitement référence à l'écologie (Charbonnier, 2020).

Dans le champ scientifique, l'étude du métabolisme connait un renouveau, notamment dans les travaux portés par les frères Odum (Howard et Eugène). Connus pour leurs travaux pionniers en écologie, ils ont développé des méthodes novatrices pour étudier les écosystèmes au travers de cycles des matériaux et flux d'énergie. Howard Odum a produit

[5] OTEX signifie Orientation technico économique des exploitations. Il s'agit d'une nomenclature, adoptée à l'échelle européenne, et permettant de classer les exploitations agricoles selon la ou les activités dominantes.

l'une des premières descriptions de flux d'énergie d'un agro-écosystème, ce qui l'a amené à déclarer en 1971, que « *l'homme industriel ne mange plus de pommes de terre à base d'énergie solaire; maintenant, il mange des pommes de terre en partie à base de pétrole »* (Odum, 1971). L'apport de l'écologie change le regard qui est porté sur les sociétés industrielles. Les représentations du métabolisme mettent en évidence des déséquilibres majeurs. Alors que les biomasses résiduaires jouent un rôle économique essentiel dans le système préindustriel, elle se retrouvent être un problème à gérer : « *residuals from both the production and consumption processes remain and they usually render disservices... rather than services »* (Ayres & Ayres, 2002).

D'un point de vue écologique, les systèmes agricoles industriels sont caractérisés comme immatures et instables, « *la grande civilisation de l'humanité n'est pas stable et sa relation avec la nature semble fluctuer de manière erratique et dangereuse »* (Madison, 1997). Le problème de la relation entre l'agriculture et son environnement naturel n'a cessé dès lors d'être souligné par des études scientifiques, notamment la pollution par l'azote (Bellarby et al., 2017), l'épuisement de la matière organique dans le sol (Andrieu et al., 2014), l'empreinte environnementale des secteurs agricoles (Courtonne, 2016), ou encore la modification du cycle du phosphore (Senthilkumar et al., 2012). L'accroissement de la circulation et de la transformation de biomasses d'origine agricoles, aussi bien en termes de distance que de volumes, participe à l'épuisement des ressources fossiles (Fernandez-Mena et al., 2016). L'évolution du concept de métabolisme a accompagné les transformations de la circulation des BR. Il représente aujourd'hui un objet d'étude à part entière pour les agronomes (Grillot et al. 2020).

Chapitre.II. La question de l'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires à la croisée des chemins entre « modernisation écologique » et « terrestrialisation »

Afin de penser la manière dont on pourrait écologiser la gestion des biomasses résiduaires, je propose, dans ce chapitre, d'introduire la vision scientifique et politique principale qui a accompagné les transformations du métabolisme des BR depuis l'ère industrielle : celle d'un recyclage et de l'optimisation de l'usage des ressources. Ce projet, qui peut prendre des formes multiples, concerne la gestion des ressources dont font partie les BR.

Dans une première partie, je montre comment le recyclage et l'optimisation de la gestion des BR se traduit concrètement, notamment au travers des stratégies institutionnelles d'économie verte que sont l'économie circulaire et la bioéconomie institutionnelle. Dans une seconde partie, je discute des limites physiques et des contraintes économiques des programmes d'optimisation et de recyclage.

II.1. **Démarches d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires dans le champ institutionnel**

1.1. **Recyclage et optimisation : aujourd'hui les principales voies institutionnelles d'écologisation de la gestion des BR**

La valorisation des biomasses, notamment résiduaires, est aujourd'hui l'objet d'une variété importante de stratégies institutionnelles, portées par les Etats et les grandes entreprises, visant à écologiser leurs pratiques, c'est-à-dire « *les processus par lesquels l'environnement est pris en compte dans les politiques publiques, dans les organisations, voire dans les pratiques professionnelles. »* (Mormont, 2013).

L'écologisation est devenue un objectif politique, aussi bien à l'échelle nationale qu'européenne : *« Le terme écologisation est entré [...] dans le vocabulaire et les pratiques des institutions de l'Union Européenne (UE) à partir du sommet de Dublin (1990) et du traité d'Amsterdam (1997) qui font du domaine de l'environnement une compétence communautaire transversale. […] Le Parlement européen emploie le terme « écologisation » en 1997 à propos de l'introduction de l'éco-conditionnalité des aides. La Direction générale de l'agriculture (DGVI) l'a repris plus récemment à son compte à propos des réformes engagées depuis 1992 pour « une PAC plus verte » (Commission européenne, 2003) »* (Deverre & Marie, 2008).

En ce qui concerne la gestion des BR, l'économie circulaire ou la bioéconomie représentent deux exemples particulièrement présents dans le champ institutionnel (Loiseau et al., 2016). Les définitions et limites de ces différentes conceptions varient en fonction des institutions qui s'en font les porte-voix. Le premier est focalisé sur les questions de recyclage, le second sur l'optimisation.

Le recyclage des déchets et leur transformation en ressource : la voie de l'économie circulaire

La question du recyclage des déchets est l'objet explicite de politiques publiques dès les années 1970. En 1975, l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (ANRED) est créée. Les déchets urbains sont sous la responsabilité des collectivités locales, chargées de leur gestion et de leur élimination. La naissance de la question environnementale change cet état de fait. Des partenariats institutionnels, notamment entre l'ANRED et l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) initient un retour en grâce du recyclage des BR par l'agriculture (Paillat-Jarousseau et al., 2016).

Cette prise en compte renouvelée des BR passe par leur requalification, notamment dans des dispositifs réglementaires. Des normes viennent qualifier les BR et encadrent leurs usages. Par exemple, la norme NF U44-051 « *fixe les dénominations, les définitions et les spécifications, le marquage, les teneurs à déclarer et les doses limites d'emploi des amendements organiques avec et sans engrais ».* Elle définit les amendements organiques comme des « *matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale ou animale et végétale en mélange, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et ou chimiques et/ou biologiques. »* (Paillat-Jarousseau et al., 2016). Cette norme définit précisément la composition, mais aussi les modes de transformations des BR ainsi que leur origine. Par exemple, les doses d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K), qui sont les trois éléments nutritifs majeurs des plantes, ne doivent pas dépasser chacun 3% de la matière brute et leur somme doit représenter moins de 7%. Dans le cas contraire, les BR considérées sont soumises à une autre norme, NF U42-001, relative aux engrais. La norme précise des taux acceptables d'impuretés (plastiques, métaux), mais aussi la nature et la fréquence des analyses à fournir aux autorités chargées du contrôle des produits.

La notion d'économie circulaire, qui est l'objet d'une mode récente dans les cercles institutionnels et économiques, s'appuie sur la notion de recyclage, en la dépassant. Selon la Fondation Ellen McArthur, *"l'économie circulaire est basée sur le principe d'une conception sans déchet et sans pollution, qui permet de maintenir les produits et les matériels en état de fonctionnement, tout en régénérant les systèmes naturels*"[6]. En France, elle est représentée notamment par l'Institut d'Economie Circulaire, fondé en 2013 et qui réunit des entreprises, ONG et acteurs politiques[7].

La question de l'optimisation de l'usage des BR : la voie de la bioéconomie institutionnelle

La question de l'optimisation de l'usage des BR, notamment au travers de l'invention de nouveaux usages est l'objet d'un intérêt majeur des institutions françaises et européennes. La bioéconomie entend substituer à l'utilisation des énergies fossiles celles de biomasses (d'origine agricole, forestière ou aquatique), qualifiées de « bioressources », afin de produire de l'énergie (biocarburants, biogaz, biocombustibles), des « biomatériaux » (isolants à base

[6] « A circular economy is based on the principles of designing out waste and pollution, keeping products and materials in use, and regenerating natural systems."

[7] https://institut-economie-circulaire.fr/

de paille, chanvre, matériaux composites) ou des produits « biosourcés » (bioplastiques, solvants, cosmétiques, etc.). Elle a donné lieu à des stratégies aux niveaux européens et nationaux[8], ayant vocation à être déclinées dans les régions et territoires et à s'articuler avec les autres stratégies de développement territorial tels que les plans régionaux de développement des énergies renouvelables et les programmes alimentaires territoriaux. La bioéconomie est ainsi vue comme nouveau secteur de l'économie centré sur l'usage des bioressources.

Si la bioéconomie n'est pas centrée exclusivement sur les BR, celles-ci sont amenées à y jouer un rôle important. Des technologies anciennes comme le compostage sont l'objet d'un regain d'intérêt. Des technologies nouvelles comme la méthanisation se développent et sont appuyées par les pouvoirs publics. Mais ce sont avant tout des solutions technologiques innovantes et porteuses de croissance qui sont l'objet d'une attention des pouvoirs publics. Par exemple une société proposant un procédé de traitement industriel, revendiqué comme 700 fois plus efficace que le compostage[9]. Ou une autre, qui développe l'extraction de molécules d'intérêt à haute valeur ajoutée, à partir de déchets agricoles au sein d'un cluster agro-industriel consacré à l'économie circulaire[10]. Avec la démultiplication de ses usages possibles, la biomasse n'est alors plus perçue comme un ensemble de ressources « surexploitées » mais comme un stock de matières premières « mal exploitées ». (Pahun et al., 2018).

1.2. **Recyclage et optimisation de la gestion des biomasses résiduaires accompagnent l'industrialisation et ne sont pas des innovations récentes**

Si ces démarches se présentent souvent comme novatrices, elles présentent néanmoins un ancrage historique profond. Leur origine remonte aux débuts de l'industrialisation, et dans une certaine mesure, elles ont accompagné le processus de modernisation des systèmes productifs.

Dans une approche historique, Jean-Baptiste Fressoz montre que la prise en charge des questions de pollution, d'inefficience et des déchets n'est pas une réaction contemporaine face à la découverte récente des conséquences néfastes de l'industrialisation. Il n'y a pas eu une phase d'industrialisation, sans conscience des conséquences négatives, suivie d'une nouvelle époque (la nôtre), au cours de laquelle l'homme aurait acquis une nouvelle réflexivité : les conséquences négatives étaient, dans une certaine mesure, déjà connue dès le début de l'industrialisation.

Ainsi, la question de la pollution et de recyclage des déchets apparait dès le XIXe siècle. La notion de « rift métabolique » a ainsi été analysée par des contemporains de son avènement : « *Le XIXe siècle est ainsi marqué par des inquiétudes très fortes quant à la rupture métabolique entre ville et campagne : l'urbanisation, c'est-à-dire la concentration des*

[8] Cf note de travail du GT bioéconomie de l'INRAE https://hal.inrae.fr/hal-02925017
[9] Voir plusieurs exemples d'initiatives : wiserg.com, calsafesoil.com ou industrialorganic.com.
[10] Voir par exemple a-r-d.fr

hommes et de leurs excréments, empêchait le retour à la terre des substances minérales indispensables à sa fertilité. Tous les grands penseurs matérialistes, de Liebig a Marx, ainsi que les agronomes, les hygiénistes et les chimistes mettaient en garde à la fois contre l'épuisement des sols et la pollution urbaine » (Fressoz, 2012). Par exemple, pour Karl Marx, la rupture entre villes et campagnes est décrite comme un gaspillage de ressources scandaleux : « *Natural human waste products [..] are of the greatest importance for agriculture. But there is a colossal wastage in the capitalist economy in proportion to their actual use. In London, for example, they can do nothing better with the excrement produced by four and a half million people than pollute the Thames with it, at monstrous expense. »* (Marx et al., 1867)

Selon Fressoz, les questions de recyclage, de pollution et leurs effets étaient déjà prises en charges par les autorités, et ceci dès les débuts de l'industrialisation, bien qu'elles ne soient pas encore qualifiées d'économie circulaire : « *La police urbaine de l'Ancien Régime fournit un […] exemple : parce qu'elle inscrivait son travail dans la pensée médicale néohippocratique faisant des airs, des eaux et des lieux les déterminants de la santé, elle portait une attention pointilleuse aux altérations de l'environnement urbain. »* (Fressoz, 2012) Ceci permet à Fressoz de conclure que « *du point de vue de l'écriture historique, il apparait donc trompeur de raconter la révolution industrielle comme l'histoire de sociétés modifiant de manière inconsciente leurs environnements et leurs formes de vie, et comprenant a posteriori les dangers et leurs erreurs. Les sociétés passées n'ont pas massivement altéré leur environnement par inadvertance, ni sans considérer, parfois avec effroi, les conséquences de leurs décisions »* (Fressoz, 2012).

1.3. Recyclage et optimisation de la gestion des biomasses résiduaires s'inscrivent dans la continuité de la modernisation : la modernisation écologique

La modernisation écologique, un mode particulier de prise en charge de la question écologique dans la gestion des biomasses résiduaires

Le recyclage et l'optimisation de l'usage des BR représentent une manière particulière de prendre en charge la question écologique dans la gestion des BR : la modernisation écologique. « *La modernisation écologique ne voit pas la science moderne et la technique comme les responsables des perturbations écologiques et sociales contemporaines, elle les définit d'abord comme des institutions centrales pour la réforme écologique […]. La science et la technologie sont les principales institutions pour l'écologisation de l'économie »* (Boudes, 2017).

La modernisation écologique, un projet ancré dans l'ontologie naturaliste propre à l'occident

Le recyclage et l'optimisation de l'usage des BR représentent des *« tentatives globalisantes de séparation entre sphère biologique et sphère technique [qui] sont emblématiques du projet naturaliste décrit par [Philippe] Descola »* (Monsaingeon, 2017). Selon Philippe Descola, l'ontologie naturaliste, propre aux sociétés occidentales, a comme principale caractéristique de reposer sur un dualisme : l'opposition nature/culture (Descola & Lloyd, 2013). D'un côté, nous décrivons ce qui relève des lois physiques, régulières et universelles. De l'autre, nous caractérisons ce qui relève des traditions, des institutions, des valeurs, qui varient d'une société à l'autre, toujours soumises aux appréciations politiques, aux

controverses et aux affects. Dans l'ontologie naturaliste, la nature est vue comme un objet de connaissance, inerte, soumis à des lois que l'on peut réussir à déchiffrer par la raison, alors que la culture est soumise à la multiplicité des actions de l'homme, jamais complètement déterminées.

La modernisation et l'analyse des systèmes de production : une vision utilitariste des ressources

Selon Bruno Latour, le dualisme nature/culture constitue un schéma très particulier, propre aux *modernes*. Il se traduit dans les représentations des processus économiques par l'étude des systèmes de production :

> *Le système de production se fonde sur une division entre acteurs humains et ressources. « Dans ce qu'on appelle un système de production, on sa[it] repérer des agents humains – les ouvriers, les capitalistes, les gouvernements- aussi bien que des infrastructures artificielles – les machines, les usines, les villes, les paysages-. » (Latour, 2017)*

Dans cette vision, les ressources, qui peuvent être caractérisées comme naturelles, ou intégrées dans le système économique, sont caractérisées comme des flux. Elles sont inertes, soumises à l'action d'humain et seuls ces derniers sont considérés comme agissants. Cette vision se retrouve largement dans les programmes de recyclage et d'optimisation. En économie circulaire comme en bioéconomie, les structures humaines comme les entreprises, les institutions, occupent une place centrale, alors que l'environnement naturel est marginalisé.

La modernisation est aussi un mouvement de globalisation

Une deuxième caractéristique des représentations modernes, c'est l'importance accordée aux échelles et en particulier à l'opposition entre local et global : « *être moderne, par définition, c'est projeter partout sur les autres le conflit du Local contre le Global »* (Latour, 2017). Concrètement, en termes de représentations, c'est le mouvement de modernisation qui a permis le développement de représentations à l'échelle globales, présentant la Terre comme un globe avec, par exemple, des travaux cartographiques planétaires. La modernisation s'appuie sur l'opposition local/global et participe à l'orienter vers la globalisation, portée par l'idée du progrès (Latour, 2017) et l'application de la pensée rationaliste à l'appareil productif. Le local représente, en contraste, l'inverse de la globalisation : « *Ce qu'il fa[ut] abandonner pour se moderniser, c'est le Local »* (Latour, 2017).

Dans le champ de l'agronomie, *« la modernisation s'est construite sur un idéal de rationalisation et de contrôle des processus biologiques. Elle ambitionnait de « piloter » la production à l'échelle du champ cultivé par des techniques d'artificialisation du milieu naturel [..]. Elle a puisé ses sources d'inspiration et ses ressources du côté de l'industrie : chimisation, génétique, mécanisation. »* (Deverre & Marie, 2008). L'économie circulaire comme la bioéconomie, donne une large place aux références chimiques et technologiques. Cette modernisation rejette les pratiques traditionnelles et met une pression importante à l'abandon des structures locales, poussant les agriculteurs à s'intégrer dans des réseaux globalisés.

II.2. **Les critiques de la modernisation écologique et l'appel à son dépassement : le projet d'une écologisation terrestre**

2.1. **La victoire d'une certaine idée de la modernisation malgré des critiques multiples**

Un projet dominant -la modernisation- qui a toujours coexisté avec des alternatives

Le recyclage et l'optimisation ont émergé comme un projet dominant dans la gestion des BR. Il a pourtant été confronté à des alternatives. Des systèmes agricoles sont restés à la marge des transformations induites par l'industrialisation et conservent une place importante, notamment dans des niches en occident : ce sont les débuts de la valorisation de l'agriculture biologique, dès les années 1920 avec « l'agriculture organique » de Albert Howard et la « biodynamie » de Rudolf Steiner, puis le renouvellement de l'intérêt pour ces démarches, dans le sillage des contestations des systèmes industriels dans les années 1970 (Besson & Bourg, 2011).

Des programmes de recyclage de la gestion des BR qui s'avèrent largement contestés

Si ces alternatives sont de nature politique, elles s'appuient souvent sur des arguments scientifiques. La vision scientifique métabolique du monde a ainsi servi à justifier la congruence naturelle entre réduction des pollutions et l'augmentation des profits des industriels. Dans la perspective métabolique du recyclage, la pollution reflète des ressources gâchées, ou perdues. Les industriels n'ont aucun intérêt à polluer car cela représente des pertes pour eux et il est donc inutile de chercher à réglementer leurs activités, la régulation se faisant naturellement (Fressoz, 2016). Ces arguments ont joué un rôle central dans la défense de l'industrialisation naissante : « *Au XIXe siècle, le recyclage industriel a joué un rôle fondamental pour désamorcer les contestations environnementales nombreuses qui entouraient les premières usines chimiques. »* (Fressoz, 2016)

La congruence entre intérêt économique et absence de pollutions est aujourd'hui largement critiquée par des économistes. Cet argument oublie notamment que dans de nombreux cas, le recyclage mobilise des ressources supplémentaires (en temps ou en capital), qui sont précieuses et limitées. L'industriel dispose d'autres postes auxquels il peut les allouer plus efficacement pour son profit. Il peut par exemple utiliser les ressources pour augmenter le volume de production. Ce levier s'avère dans de nombreux cas plus efficace pour augmenter le profit que la réduction des déchets (Jackson & Clift, 1998).

Cela n'empêche pas certains acteurs de continuer à l'utiliser, tel l'institut d'économie circulaire, liant intérêt économique et réduction d'impact : « *L'économie circulaire, [est un] nouveau modèle de prospérité. [Elle] concrétise l'objectif de passer d'un modèle de réduction d'impact à un modèle de création de valeur, positive sur un plan social, économique et environnemental. »*[11]. De nos jours, alors que la question environnementale est explicitement formulée, les démarches d'économie circulaire sont ainsi parfois qualifiées de « greenwashing » par leurs détracteurs :

[11] Voir la page officielle : institut-economie-circulaire.fr/economie-circulaire/ (consulté le 20 novembre 2020).

> *« Les "bons résultats" en la matière [d'économie circulaire] souvent revendiqués par les acteurs concernés - des producteurs industriels aux responsables publics- participent au camouflage d'une évidence : à l'échelle globale, la production de déchets, industriels ou non, n'a jamais été aussi importante et n'est pas près de se réduire. » (Monsaingeon, 2017)*

Les critiques du recyclage émanent aussi des sciences physiques et en particulier de la thermodynamique. Selon cette loi, aussi connue comme la loi de l'entropie, toute activité, tout processus, est dissipateur d'énergie. Toute transformation se traduit par une augmentation de l'entropie, une variable qui mesure le désordre dans un système. Selon Georgescu-Roegen, cette loi physique impose des limites fortes au recyclage des (dans son cas d'une manière générale et non spécifique à l'agriculture). Un apport d'énergie extérieure reste essentiel pour permettre la poursuite du processus et, dans de nombreux cas, la génération de matières à haute entropie, des déchets, reste inévitable.

> *« Les diverses autorités responsables de la lutte contre la pollution s'efforcent, à présent, de nous insuffler l'idée de machines et de réactions chimiques ne produisant pas de déchets et d'autre part que le salut dépend d'un perpétuel recyclage de déchets. [...] Mais, [...] nous devons utiliser une quantité supplémentaire de basse entropie bien plus considérable que la baisse de l'entropie obtenue par ce qui est recyclé. Car il n'y a pas plus de recyclage gratuit qu'il n'y a d'industrie sans déchets »* (Georgescu-Roegen et al., 2011)

Par ailleurs, il a été montré que le recyclage peut, dans certaines circonstances, contribuer à l'accumulation de contaminants, par exemple de métaux lourds dans les résidus organiques utilisés pour la fertilisation (Tella et al., 2013).

Les effets contre-intuitifs de l'optimisation de l'utilisation des ressources : le paradoxe de Jevons ou « effet rebond »

Un deuxième type de critique émane de la science économique. L'une des plus anciennes est le fait de William Stanley Jevons, un économiste britannique du XIXe siècle. Jevons s'est intéressé aux améliorations techniques successives apportées à l'utilisation du charbon, qu'il observait dans l'Angleterre des années 1860, en pleine révolution industrielle. Il a observé que les améliorations technologiques apportées à l'utilisation du charbon entraînent une augmentation de la consommation de charbon dans de nombreuses industries. Il a ainsi montré que contre intuitivement, le progrès technologique ne permet pas de limiter la consommation d'énergie. Ce constat est aujourd'hui connu sous les termes de « paradoxe de Jevons », et stipule que l'optimisation de l'utilisation des ressources entraîne, contre intuitivement, leur surexploitation (Alcott, 2005). L'explication de ce mécanisme réside dans le jeu de l'offre et de la demande. L'amélioration de l'efficience d'un procédé entraîne une baisse du coût de production des produits qui en sont issus. Cette baisse de coût entraîne une augmentation de la demande pour le produit. Le producteur est donc incité à produire d'avantage. En retour, la ressource initiale est plus sollicitée. Le paradoxe de Jevons permet d'expliquer que lorsqu'une optimisation a lieu, elle est principalement mise au service d'une augmentation de la production permettant ainsi d'augmenter les profits.

Ce paradoxe a depuis été observé dans des cas divers, notamment dans l'étude du recyclage des biomasses résiduaires en agriculture. Regan et al. (2017) montrent que la mise en place d'échanges locaux, de pailles et fumiers entre céréaliers et éleveurs n'entraine

pas une baisse de l'utilisation des ressources fossiles mais sert, au contraire, à une intensification des systèmes de production : les agriculteurs ont majoritairement utilisé le surplus dégagé pour investir davantage dans des intrants chimiques exogènes. Jouan (2020) montre que l'optimisation des échanges de fumiers participe à l'intensification des systèmes de production, et non à une baisse de la pression sur des variables environnementales.

2.2. **L'écologisation terrestre, un projet alternatif ?**

Face aux limites de la modernisation, qui apparaît de moins en moins comme un avenir désirable, Bruno Latour propose un nouvel horizon, une nouvelle manière de penser l'écologisation.

Dépasser l'opposition entre nature et culture en pensant ensemble humains et non-humains

L'opposition entre nature et culture est puissante dans le discours commun, notamment parmi les non-scientifiques. La nature est souvent décrite comme obéissant à des « lois universelles ». Elle représente un tout unifié, désanimé (mu uniquement par des relations de causes et de conséquences). Le savoir sur la nature (scientifique) est perçu comme indiscutable. Latour montre que la réalité du fonctionnement de la science est tout autre. Son travail d'enquête a révélé que les scientifiques passent leur temps à mélanger ce qui est de l'ordre du naturel et du culturel dans leurs pratiques et dans leurs discours. Cette opposition nature/culture ne serait qu'une construction *a posteriori* qui ne reflète pas la réalité de nos savoirs et de nos représentations. C'est ce qui fait dire à Latour que *Nous n'avons jamais été modernes* (1991).

Latour propose de dépasser cette opposition, qui suranime certains acteurs et en désanime d'autres : « *Quand on prétend qu'il y a, d'une part, un monde naturel et, de l'autre, un monde, humain, on a simplement proposé de dire après coup qu'une portion arbitraire des acteurs sera dénuée de toute action et qu'une autre portion, également arbitraire, des mêmes acteurs, sera dotée d'une âme (ou d'une conscience). »* (Latour, 2015)

L'alternative consiste à penser ensemble et de manière symétrique les humains et non-humains, sans chercher à opposer ce qui serait des « êtres de nature » d'un côté, ou des « êtres de culture » de l'autre. Dans cette perspective hybride, l'action est vue comme résultante d'une multiplicité d'entités, à la fois humaines et non-humaines.

Se rendre attentif aux multiples capacités d'agir du vivant en multipliant les modes d'enquêtes et les savoirs

La prise en compte conjointe des humains et non-humains représente un changement de regard posé sur les problèmes écologiques, qui concernent l'interaction entre les humains et le reste du vivant. En suivant la proposition de Latour, les entités terrestres, préalablement considérées comme naturelles, par exemple les êtres vivants, les écosystèmes, le climat[12], sont considérées comme des agents actifs, dotés d'une puissance d'agir qui leur est propre.

[12] Latour décrit l'ensemble de ces entités comme appartenant à la zone critique, la mince pellicule superficielle de la Terre qui est le lieu des interactions entre l'atmosphère, l'hydrosphère, les sols, les roches et les écosystèmes. Cette zone est aussi critique en vue des enjeux qui y prennent place car s'y concentrent la vie, les activités humaines, et leurs ressources.

La Terre n'est plus un substrat, à l'arrière-plan des actions humaines, mais elle agit, et réagit aux actions des humains. Dans ces conditions, il est difficile de prévoir, ou de répartir à l'avance, qui agit, ou qui n'agit pas, et de définir une bonne fois pour toute quelles sont les entités agissantes : « *pour comprendre ce que peut signifier l'idée d'une Terre qui rétroagirait à nos actions, il devient clair qu'il ne faut pas simplifier d'avance la répartition des puissances d'agir entre acteurs dits humains et non-humains »* (Latour, 2015).

La répartition des puissances d'agir n'est pas quelque chose de donné, mais plutôt un questionnement qui appelle une enquête. Les scientifiques participent à multiplier les puissances d'agir dans leurs travaux de recherche : les articles scientifiques décrivent sans cesse de nouvelles entités agissantes. Ils le font en décrivant le fonctionnement de multiples entités vivantes. Par exemple, des écologues vont décrire le fonctionnement des écosystèmes et leurs rythmes propres, des climatologues vont exposer le fonctionnement du climat, des sociologues vont dépeindre des classes ou des groupes sociaux. Ce sont ces multiples savoirs qui laissent ouverte la question de la liste des agissants et font proliférer de nouvelles entités.

Prendre en compte de multiples valeurs, au-delà du seul utilitarisme économique

Valoriser ces multiples savoir, de multiples manières de mener l'enquête, c'est se débarrasser en particulier d'une vision réductionniste, « *l'économisation, cette vue de Sirus projetée sur la Terre »* limitant la capacité d'agir à un nombre réduit d'agents économiques, mus par un très petit nombre de valeurs, la rationalité, l'efficacité technique et la compétitivité économique. Moderniser impliquait de se détacher de toute autre valeur, ou de sources de savoirs : abandonner les traditions, les attachements au sol, au local, aux croyances (Latour, 2017).

A l'inverse, la *terrestrialisation* consiste à réancrer les sociétés humaines dans « un sol », « un terrain de vie », « un territoire » :[13] « *[Il s'agit de] définir les terrains de vie comme ce dont un terrestre dépend pour sa survie et en se demandant quels sont les autres terrestres qui se trouvent dans sa dépendance […] c'est l'ensemble des animés*[14] *– éloignés ou proches – dont on a repéré, par enquête, par expérience, par habitude, par culture, que leur présence était indispensable à la survie d'un terrestre. » (Latour, 2017)*

Dans le cadre de l'étude de l'agriculture, *terrestrialiser*, cela implique de ne pas se limiter aux seules sciences de l'ingénieur ou aux sciences économiques, qui donnent une place importante aux facteurs de production industriels et à la rationalité économique, mais aussi

[13] Latour multiplie les termes, ce qui peut porter parfois à confusion. A mon sens, il cherche à exclure une mauvaise interprétation : la notion de sol comporte le risque d'être perçue comme un substrat ; la notion de terrain de vie inclut une notion spatiale, qui n'est pas ici mise en exergue ; la notion de territoire a une connotation administrative, légale, qui n'est pas non plus l'objet de son discours. D'autres auteurs préfèrent la notion « d'habitat » (Morizot et al., 2020) ou s'expriment par périphrase « ce à quoi nous tenons » (Hache, 2011).

[14] La notion d' « animé » est aussi une notion non définie *in extenso* par Latour. Elle est parfois utilisée comme synonyme d'entité agissante, d'agissant, etc. L'idée principale étant de saisir que dans la pensée latourienne, la capacité d'agir est distribuée et qu'aucune entité n'en est complètement dépourvue *a priori*.

aux connaissances écologiques, sociologiques. C'est aussi prendre au sérieux d'autres formes de savoirs (les savoirs traditionnels et professionnels par exemple). Ce sont ces multiples modes d'enquêtes, disciplines ou pratiques qui contribuent à enrichir la liste des possibles agissants. Il s'agit de reconnaître la multiplicité des « mondes » (Boltanski et Thevenot, 1991) dans lesquels s'inscrivent les pratiques agricoles, qui débordent des mondes industriels et marchands. Les agriculteurs ont de « *bonnes raisons de faire ce qu'ils font »* (Sebillotte & Papy, 2010), même lorsque leurs pratiques ne s'inscrivent pas dans une recherche d'efficacité technique ou économique. Les agriculteurs présentent des rationalités multiples : ils ne sont pas attachés uniquement à l'optimisation ou à la compétitivité, mais sont aussi pétris d'attachements à des traditions, à des croyances, des valeurs civiques (Thévenet et al., 2006)[15].

Cultiver des attachements avec le reste du vivant dans des systèmes d'engendrement plutôt que des systèmes de production

Concrètement, la proposition de Latour implique un changement du regard porté sur les processus économiques. L'analyse des systèmes de production, au cœur du regard de l'ingénieur agronome s'avère, à cet égard problématique. En abandonnant le dualisme nature/culture et en pensant ensemble humains et non-humains il devient plus difficile de distinguer *a priori* des humains agissants d'un côté, et des ressources inertes de l'autre. Plutôt que de parler de système de production, Latour préfère parler de « système d'engendrement ».

> *« [Dans un système de production] il y avait l'idée que la liberté des humains se déploierait dans un cadre naturel où il serait possible de reconnaître à chaque propriété des limites précises. Le système d'engendrement met aux prises des agents, des acteurs, des animés qui ont tous des capacités de réaction distinctes. » (Latour, 2017).*

Cela implique un changement du regard porté sur la valeur accordée au processus économique :

> *« Le système d'engendrement ne procède pas de la même conception de la matérialité, n'a pas la même épistémologie et ne mène pas aux mêmes politiques. C'est qu'il ne s'intéresse pas à produire pour les humains des biens à partir de ressources, mais à engendrer les terrestres – tous les terrestres, et pas seulement des humains. Il est fondé sur l'idée de cultiver des attachements, opérations d'autant plus difficiles que les animés ne sont pas limités par des frontières et ne cessent de se superposer, de s'intriquer les uns dans les autres » (Latour, 2017)*

Autrement dit, les agissants, dont les vivants, ont des capacités d'agir qui dépassent des limites du système de production. Le rôle ne peut être limité à leur fonction dans un système productif.

[15] Boltanski et Thévenot ont par exemple décrit la diversité des valeurs auxquelles se réfèrent les acteurs pour justifier leurs pratiques : au côté des mondes industriels et marchands, figurent aussi les mondes civiques, domestiques, inspirés et de l'opinion. C'est d'ailleurs ce modèle que j'applique sur mon terrain d'étude, au sein d'un essai d'économies de la grandeur (*page147*). Je développe une présentation théorique du modèle des mondes dans le *chapitre VIII., page 100*.

En termes d'échelles et de niveaux, l'opposition local/global, congruente à la modernisation, n'est plus ici particulièrement pertinente. Ce sont plutôt les interdépendances, et le niveau d'interdépendance (fort ou faible), qui joue un rôle important : « *Définir un terrain de vie, pour un terrestre, c'est lister ce dont il a besoin pour sa subsistance, et par conséquence, ce qu'il est prêt à défendre, au besoin par sa propre vie. Cela vaut pour un loup comme pour une bactérie, pour une entreprise comme pour une forêt, pour une divinité comme pour une famille. Ce qu'il faut documenter, ce sont les propriétés d'un terrestre […] par quoi il est possédé et ce dont il dépend. Au point, s'il en était privé, de disparaître » (Latour, 2017).*

Conclusion : comment prendre en charge le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires ?

Les biomasses résiduaires (ex. effluents d'élevage, résidus de cultures, déchets verts et urbains) jouent un rôle essentiel en agriculture, notamment dans la préservation de la fertilité des sols ainsi qu'en élevage. La modernisation des systèmes agricoles, en cours depuis le XIXe siècle, a profondément transformé leur métabolisme. La spécialisation des territoires, l'appauvrissement des liens entre cultures et élevages, l'abandon des transferts de fertilité entre ville et campagne, le développement des fertilisants chimiques ainsi que le transport sur de grandes distances sont devenus la norme en occident.

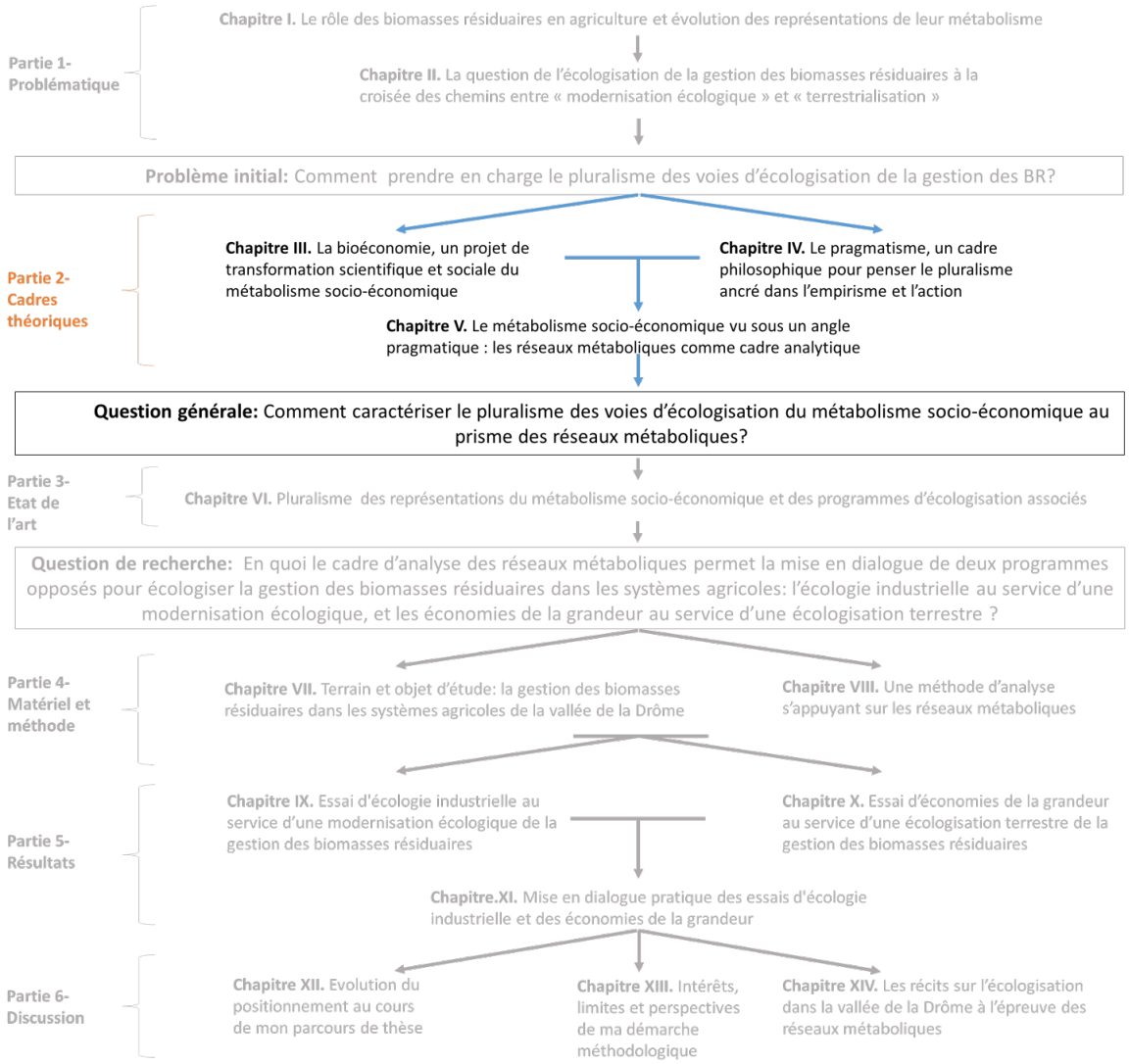
Ces transformations ont entraîné une dégradation des sols, des pollutions (notamment azotée, des nappes phréatiques), une perte d'autonomie des exploitations en matières fertilisantes. Ces interrogations ne sont pas particulièrement nouvelles puisque l'élargissement du « rift métabolique » au XIXe siècle interrogeait déjà ses contemporains sensibles aux questions matérielles, et notamment von Liebig et Marx. Ces problèmes sont connus dès le début du processus de modernisation. Les programmes de bioéconomie institutionnelle ou d'économie circulaire, aujourd'hui portés par les institutions et politiques publiques, s'inscrivent dans une continuité de programmes de recyclages et d'optimisation de la gestion des BR, qui remontent au XIXe siècle. Si ces programmes n'ont pas réussi jusqu'à maintenant à résoudre de manière satisfaisante les problèmes liés à la gestion des BR, ils continuent à dominer les champs scientifiques et politiques. Ils représentent la victoire d'une certaine vision de la modernisation : une ontologie naturaliste, qui oppose nature et culture (Descola & Lloyd, 2013), une vision utilitariste des ressources (Latour, 2015), ainsi qu'un projet globalisateur (Latour, 2017).

Pourtant, à chaque étape, les transformations du métabolisme ont été contestées, dans des controverses à la fois sur les représentations scientifiques, que sur leurs implications politiques. La modernisation, notamment du métabolisme des BR, n'a donc pas été une grande transition linéaire, mais plutôt une suite de luttes sur la manière de représenter et d'agir sur le métabolisme : *« [la modernité] est une somme de petits coups de force, de situations imposées, d'exceptions normalisées. La modernité fut une entreprise. Ceux qui l'ont fait advenir et l'on conduite ont produit des savoirs et des ignorances, des normes juridiques et des discours. »* (Fressoz, 2012)

Ce projet modernisateur présente aujourd'hui des limites fortes, impossibles à négliger, qui font qu'il ne représente plus aujourd'hui un horizon désirable. Des penseurs comme Bruno Latour proposent une alternative, un projet de « *terrestrialisation »* qui consiste à penser ensemble humains et non-humains, sans distinguer ressources et acteurs humains, à s'intéresser à leur engendrement et à leurs interdépendances (Latour, 2015). L'écologisation terrestre vise à mettre fin à deux exceptionnalismes que sont celui de l'homme par rapport au reste des vivants, mais aussi celui de la modernité par rapport à toutes les autres ontologies. Néanmoins, elle interroge le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des BR. Et surtout, **comment réussir à prendre en charge ce pluralisme, en tant qu'agronome** ?

PARTIE 2. CADRES THEORIQUES

Dans cette partie, j'identifie deux cadres théoriques pour prendre en charge le pluralisme des voies d'écologisation des BR : La bioéconomie de Georgescu-Roegen et le pragmatisme de William James. Je présente ces deux cadres dans les chapitres suivants (III et IV). Je présente ensuite comment je croise ces deux cadres théoriques pour former mon cadre d'analyse : les réseaux métaboliques. Je le présente dans le chapitre V.



Chapitre.III. Le programme bioéconomique, un projet de transformation scientifique et sociale du métabolisme socio-économique

Si les critiques du recyclage et de l'optimisation (par exemple en économie circulaire) sont pluridisciplinaires, les propositions alternatives le sont toutes autant. Parmi elles, la contribution de Georgescu-Roegen, économiste roumain et américain du XXe siècle, retient l'attention. Innovante à bien des égards, elle balaye des champs aussi éloignés que la physique, l'écologie, l'économie ou l'éthique et propose un cadre pour les articuler.

Sa proposition, qualifiée de « bioéconomique » est à la fois un paradigme scientifique et un programme de transformation sociale et politique[16]. Je présente le volet scientifique dans une première partie. Le volet politique, de transformation sociale, qui relève à la fois de mesures techniques, de changements institutionnels et de propositions éthiques est présenté dans une deuxième partie.

De par ses héritages scientifiques et politiques, Georgescu-Roegen continue à nourrir la question de l'écologisation de la gestion des BR. Je vais montrer en quoi ces héritages actuels offrent des pistes d'analyse et de transformation des métabolismes socio-économiques, notamment dans le cadre de l'économie écologique ou des mouvements de la décroissance.

III.1. **Un paradigme scientifique**

1.1. **Un changement de référentiel pour l'économie : de la mécanique à la thermodynamique**

Dans *The Entropy Law and the Economic Process* (1971) Georgescu-Roegen considère que la manière dont les processus économiques sont décrits à son époque sont problématiques.

L'économie y est décrite comme s'appuyant largement sur la physique newtonienne. Cette branche de la physique permet de décrire des processus complexes à partir de lois simples et s'appuie sur un lexique fait de forces et d'équilibres. Si l'économie s'appuie fortement sur cet héritage newtonien, Georgescu-Roegen constate que la physique, et plus largement les sciences naturelles, s'en sont largement libérées et ont su mettre en évidence des phénomènes indescriptibles par la physique newtonienne. Selon lui, un de ces apports est d'une importance capitale pour la compréhension des phénomènes économiques : la deuxième loi de la thermodynamique.

Dans cette perspective, l'activité économique peut être perçue comme un processus dissipateur d'énergie[17]. Si une économie mécaniste, faite de forces et de mouvements,

[16] Le terme bioéconomie peut ici porter à confusion : il n'est pas entendu dans le même sens que dans la bioéconomie institutionnelle, présentée plus haut. Les deux termes sont d'ailleurs distincts en anglais (bioeconomics pour la discipline vs bioeconomy pour le programme institutionnel).

[17] Dans une perspective thermodynamique, l'économie est une activité linéaire, qui transforme des produits, inévitablement de basse entropie (à énergie libre importante) en d'autres produits à haute entropie (à faible énergie libre). Bien sûr, la thermodynamique n'interdit pas qu'un processus génère un produit à plus faible entropie. Seulement, elle indique qu'à l'échelle d'un processus, l'entropie de l'ensemble des produits finaux est plus élevée que celle de l'ensemble des produits initiaux.

permettait de négliger les phénomènes qualitatifs, la thermodynamique ne le permet plus car thermodynamiquement, toute transformation est irréversible et dissipatrice d'énergie : en d'autres termes, elle crée du désordre (Costanza et al., 2014). La thermodynamique révèle une contrainte redoutable, car les sources de matières à faible entropie sont rares sur Terre. Les ressources naturelles et particulièrement les ressources fossiles sont un bon exemple de matières à très faible entropie dont la reproduction est contrainte par le fonctionnement du système-Terre. A l'échelle humaine, la production de ces énergies est négligeable. A l'inverse, l'énergie solaire représente la seule et unique véritable source d'énergie libre sur Terre.

1.2. **Un changement de regard porté sur les processus économiques : le modèle fonds/flux**

Ce changement de regard porté sur les processus économiques pousse Georgescu-Roegen à s'interroger sur les outils analytiques mobilisés par les chercheurs, et en particulier à développer un modèle de représentation : le modèle fonds/flux. Dans cette partie, je m'appuie largement sur la proposition de Missemer (2013), en ce qui concerne les schémas que je complète pour développer mon propos.

1.2.1. **Les limites du modèle mécanique stocks/flux**

Classiquement, les représentations des processus économiques s'appuient sur deux catégories analytiques : les flux et les stocks. Un stock représente l'état du système à un instant donné. Un flux représente un changement, une variation des stocks. Les analyses économiques reposent sur des comparaisons ou des ratios entre ces différents flux et stocks, à la manière des exercices comptables, par exemple consommation d'énergie par produit intérieur brut (PIB), variation de PIB par habitants, etc. Dans le modèle classique, les ressources naturelles, lorsqu'elles ne sont pas tout simplement négligées, sont alors considérées comme un facteur de production parmi d'autres. Elles peuvent être décrites comme un stock (gisement total d'hydrocarbures d'un pays) ou un flux (quantité de charbon extraite sur un temps donné).

Selon Georgescu-Roegen, ce type d'analyse s'avère insatisfaisant, car le problème est d'abord théorique. Comparer des flux et des stocks, c'est mettre en relation des objets de même nature. Un flux n'est qu'un stock, étendu sur une durée particulière. Le stock, en tout état de cause, ne nous dit rien du processus en lui-même : seule sa variation est porteuse d'information. Giampietro développe ce problème en prenant l'exemple d'un ratio flux/flux, un indicateur de consommation d'énergie par PIB en mégajoules par dollar. Ce type d'indicateur nous permet d'avoir un ordre d'idée de l'énergie nécessaire pour produire une certaine richesse économique, mais il ne nous dit rien de l'activité réellement en jeu : le processus économique est en quelque sorte vu comme une boîte noire. Comparer des pays selon cet indicateur ne nous informe en rien sur le fonctionnement réel de l'économie (Giampietro, 2014). Dans le modèle stock/flux, des facteurs internes à la boîte noire, qui n'entrent ni ne sortent du système à un moment donné, ni ne sont l'objet de variations visibles pendant le temps d'observation, sont rendus indescriptibles.

La Figure 2 résume schématiquement les principales caractéristiques d'une lecture standard

d'un processus, telle qu'interprétée par Missemer (2013).

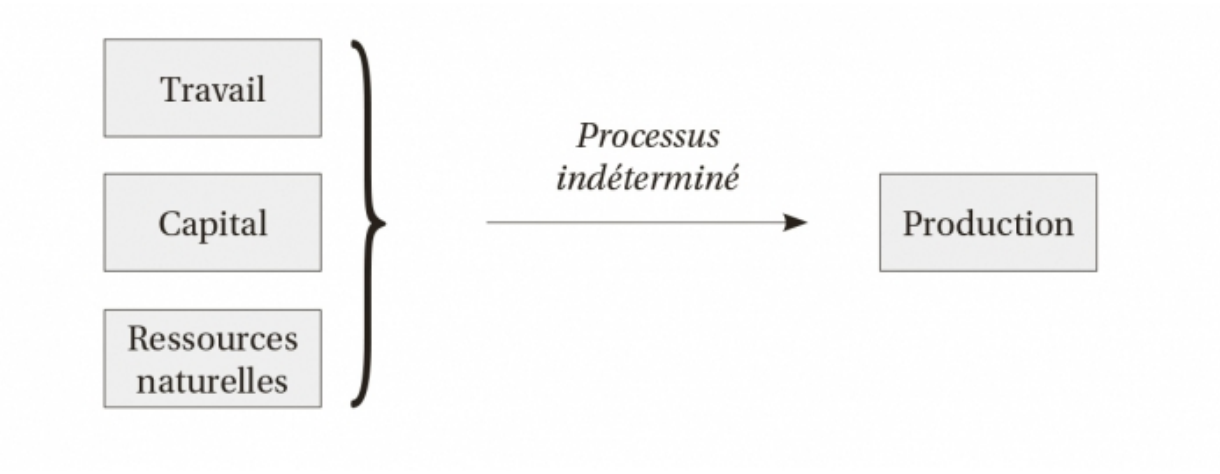


Figure 2 - Lecture standard des processus (Missemer, 2013)

1.2.2. **Une lecture bioéconomique des processus économiques : le modèle fonds/flux**

Confronté aux limites d'une lecture standard, Georgescu-Roegen propose une lecture alternative. Celle-ci consiste à décomposer les processus économiques en processus élémentaires et à les analyser grâce à deux concepts complémentaires : les fonds et les flux.

Les flux, comme dans le modèle stock/flux, représentent le changement : ils sont habituellement utilisés pour représenter une entrée ou une sortie d'un processus donné (M. Giampietro, 2004). Par exemple, dans la production de lait de vache, il s'agit typiquement du fourrage, consommé par les animaux au cours d'une année.

Georgescu-Roegen introduit une nouvelle entité : les fonds. Il s'agit d'entités durables, qui ne sont ni produites, ni détruites au cours du processus. Elles le traversent en conservant quasiment toutes leurs propriétés. Les fonds ne peuvent pas être consommés partiellement, à la différence d'un stock, dans lequel on pourrait se servir en fonction des besoins. Ils fournissent un service, et en cela, ils sont les agents actifs du processus. Dans le cas de la production de lait, il s'agit typiquement du troupeau de vaches. A la différence des stocks, les fonds sont définis par leur relative rigidité. Ils ne peuvent être utilisés qu'à un certain rythme, dépendant de leurs caractéristiques. Il faut nourrir les vaches, les laisser se reposer, ne pas les sur-traire, afin qu'elles continuent à produire du lait. Le temps est essentiel dans la caractérisation des fonds. La stabilité des fonds est toujours précaire, elle est assurée imparfaitement uniquement dans un laps de temps donné. A l'échelle d'une année de production, on peut considérer que le troupeau garde les mêmes propriétés.

En résumé, les fonds sont les agents actifs du processus, alors que les flux sont « *utilisés ou sont l'objet de l'action des agents* ». Le modèle fonds/flux ne se limite pas à une simple description des différents fonds et flux mobilisés. Georgescu-Roegen insiste sur l'importance de l'étude de l'agencement de ces fonds et des flux, qui participent à la réalisation effective du processus. Se limiter à décrire les facteurs, « *c'est un peu comme si on limitait une recette de cuisine à sa seule liste des ingrédients. Or un plat réussi n'est pas qu'un empilement d'ingrédients, c'est aussi une certaine combinaison méthodique et fragmentée de ces ingrédients »* (Missemer, 2013).

1.2.3. **Les apports de la thermodynamique : donner une place spécifique aux ressources naturelles et aux déchets**

Le regard bioéconomique implique de reconnaître la place centrale qu'occupent les ressources naturelles dans les processus économiques. Les ressources naturelles peuvent être caractérisées aussi bien comme des flux (par exemple, du pétrole pour le fonctionnement du tracteur) ou des fonds (une terre arable). Les contraintes thermodynamiques qui pèsent sur leur renouvellement leur donne une place spécifique. Ainsi, les ressources naturelles interviennent à deux moments : en tant qu'intrant pour le processus de production comme dans le cas standard, mais également en amont des facteurs habituels que sont le travail et le capital. Le capital est lui-même produit à partir de ressources naturelles, le travail nécessite des ressources naturelles pour pouvoir être maintenu en vie et se renouveler (Missemer, 2013). Les ressources naturelles apparaissent ainsi comme un facteur disposant d'un statut particulier. La thermodynamique impose de reconnaître explicitement que le processus économique est nécessairement dissipateur d'énergie, et s'il produit des extrants à faible entropie, il produit aussi nécessairement des déchets à forte entropie. Ces différents points ainsi que les acquis du point précédent, sont résumés dans la Figure 3.

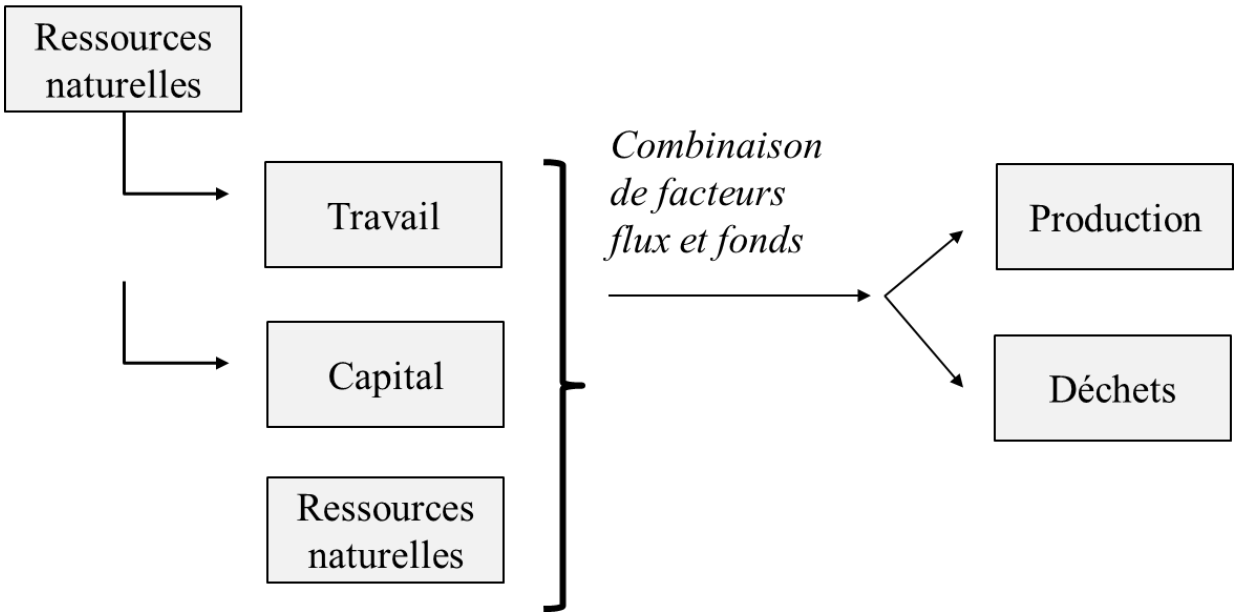


Figure 3 - Lecture bioéconomique des processus (Missemer, 2013)

1.2.4. **Stabilisation des notions de fonds et de flux**

Les fonds donnés comme exemple par Georgescu-Roegen incluent les outils ou installations matériels (une salle de traite), les humains (qui fournissent un travail) et la terre (qui fournit des services). Georgescu-Roegen n'a pas fourni de liste de facteurs qui pouvaient être considérés comme des flux ou des fonds, il précise que la limite fonds/flux doit être toujours située, notamment dans un certain contexte technique et prend l'exemple d'une fusée, utilisée pour mettre en orbite un satellite. En 1971, les fusées sont à usage unique, elles

représentent donc un flux dans le processus. Anticipant le développement des navettes spatiales dans les années suivantes, il précise qu'un tel appareil, réutilisable et pouvant servir à mettre en orbite une multitude de satellites ne serait plus considéré comme un flux, mais un fond.

Par ailleurs, la liste des fonds n'est jamais absolument exhaustive : on ne peut exclure qu'un facteur essentiel soit oublié de la description par le scientifique. Le rôle d'un facteur est souvent révélé par son absence : c'est notamment le cas des services rendus par l'écosystème, de plus en plus nombreux, découverts par la science au fur et à mesure de la disparition des êtres vivants et milieux qui les produisent. Le rôle de l'élevage dans les territoires est ainsi analysé à mesure de sa disparition, ou réintroduction, qui jouent le rôle de révélateurs de l'existence de services écosystémiques (Bertrand Dumont et al., 2017). Le Tableau 1 résume les principales propriétés des flux et fonds, tels que décrits par Georgescu-Roegen et certains de ses commentateurs.

	Flux	**Fonds**
Définition formelle (Giampietro, 2014)	Représentent ce qui apparaît ou disparaît au cours du processus, le changement ; utilisés pour représenter une entrée ou une sortie d'un processus donné	Entités durables, stables, représentent ce qui reste « *le même* » dans la représentation analytique choisie pour l'analyse. Tendance à ne pas changer d'état entre le début et la fin du processus
Définition sémantique (Giampietro, 2014)	Représentent ce que le système fait	Représentent ce dont le système est fait, ou ce qu'il est
Définition fonctionnelle (Georgescu-Roegen, 1971)	Sont traités (*acted upon*) par les fonds	Sont les agents actifs du processus, fournissent des services
Propriétés fonctionnelles (Missemer, 2013)	Offrent de la flexibilité au processus économique; peuvent être utilisés et modelés à n'importe quel rythme, et se transforment à l'issu du processus.	Sont définis par leur relative rigidité. Ils ne peuvent être mobilisés qu'à un certain rythme dépendant de leurs caractéristiques.
Propriétés dynamiques	Demandent une action pour être mis en mouvement	Demandent de l'investissement pour assurer leur maintenance, par un autre processus extérieur
Exemple : la production de lait	Les fourrages, l'essence (pour le tracteur)	Le troupeau de vaches, la salle de traite

Tableau 1 - Principales définitions du modèle fonds/flux par Georgescu-Roegen et ses commentateurs

1.3. **Le modèle fonds/flux interroge la finalité des processus économiques sous un angle nouveau**

1.3.1. **Relier l'économie au reste du système-Terre**

Les ressources naturelles ont une grande importance dans la démarche de Georgescu-Roegen, notamment pour des raisons thermodynamiques liées à l'épuisement de ressources rares et non-renouvelables. La thermodynamique décrit des limites biophysiques à l'activité économique à l'intérieur même de ses processus (Charbonnier, 2020). Les ressources naturelles jouent aussi une fonction écologique, elles fournissent une diversité de services à l'homme : fourniture d'eau potable, de biomasses, etc. En retour, le processus économique n'est pas sans effet sur le bon fonctionnement du système-Terre, les processus économiques peuvent participer à reproduire, à favoriser, ou au contraire à déstabiliser tout ou partie de ces fonds « naturels », qui le constituent. Autrement dit, l'objectif de la bioéconomie est de porter une attention au système-Terre, constitué de l'ensemble des fonds, fournisseurs de services et de ressources naturelles sur lesquels repose notre activité économique. Je complèterai la proposition de Missemer, de manière à mieux rendre visible ce lien (voir Figure 4).

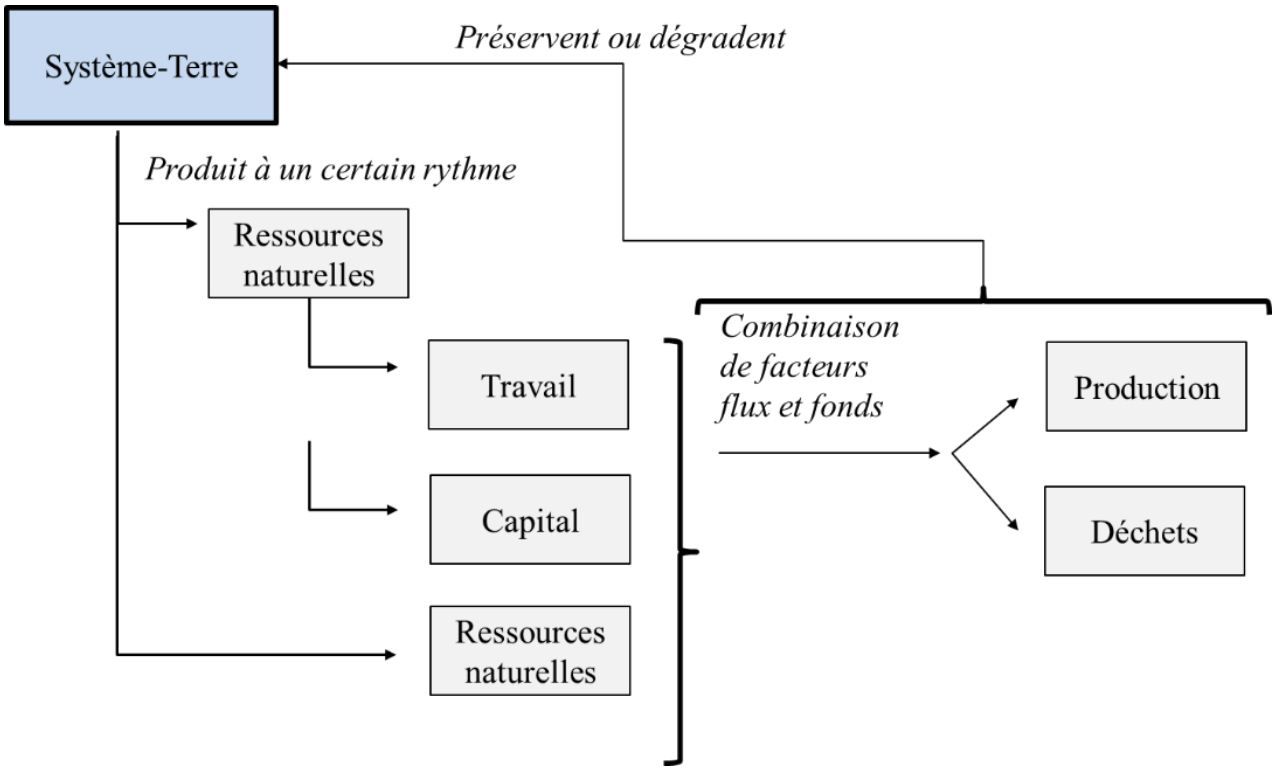


Figure 4 - Lecture bioéconomique des processus en rendant explicite la place du système-Terre

1.3.2. **L'enjoyment of life : l'introduction de la valeur de l'expérience humaine dans le métabolisme**

La lecture bioéconomique proposée par Georgescu-Roegen ne se limite pas à un regard de physicien. Georgescu-Roegen se garde de remplacer le réductionnisme newtonien par un autre réductionnisme, thermodynamique.

Premièrement, Georgescu-Roegen reconnaît que les processus économiques ne sont pas soumis à un déterminisme physique ou biologique pur. Ils sont fortement modelés par des aspects « culturels », qui prennent la forme de traditions, coutumes ou croyances, qui vont participer à agencer les fonds et flux d'une certaine façon. Cet aspect est déjà représenté sur le schéma, sous les termes de « combinaison de facteurs flux et fonds ».

Deuxièmement, si l'économie se résumait à sa composante thermodynamique, elle serait un processus absurde, une machine qui crée du désordre et des déchets à partir de produits de grande valeur. Ce paradoxe réside dans le fait de voir dans la production de flux matériels la finalité de l'économie. Pour Georgescu-Roegen, le produit principal du processus économique est un flux insaisissable : « *la joie de vivre* » (*the flux of enjoyment of life*), c'est-à-dire la satisfaction que les humains trouvent dans l'activité économique et dans ses conséquences. Si Georgescu-Roegen s'est marginalement essayé à en proposer une mise en équation (en référence au travail, aux loisirs et à la consommation), elle reste une valeur intrinsèquement qualitative, biologique et culturelle :

> *« And paradoxical though it may seem, it is the Entropy Law, a law of elementary matter, that leaves us no choice but to recognize the role of the cultural tradition in the economic process » (Georgescu-Roegen, 1971)*

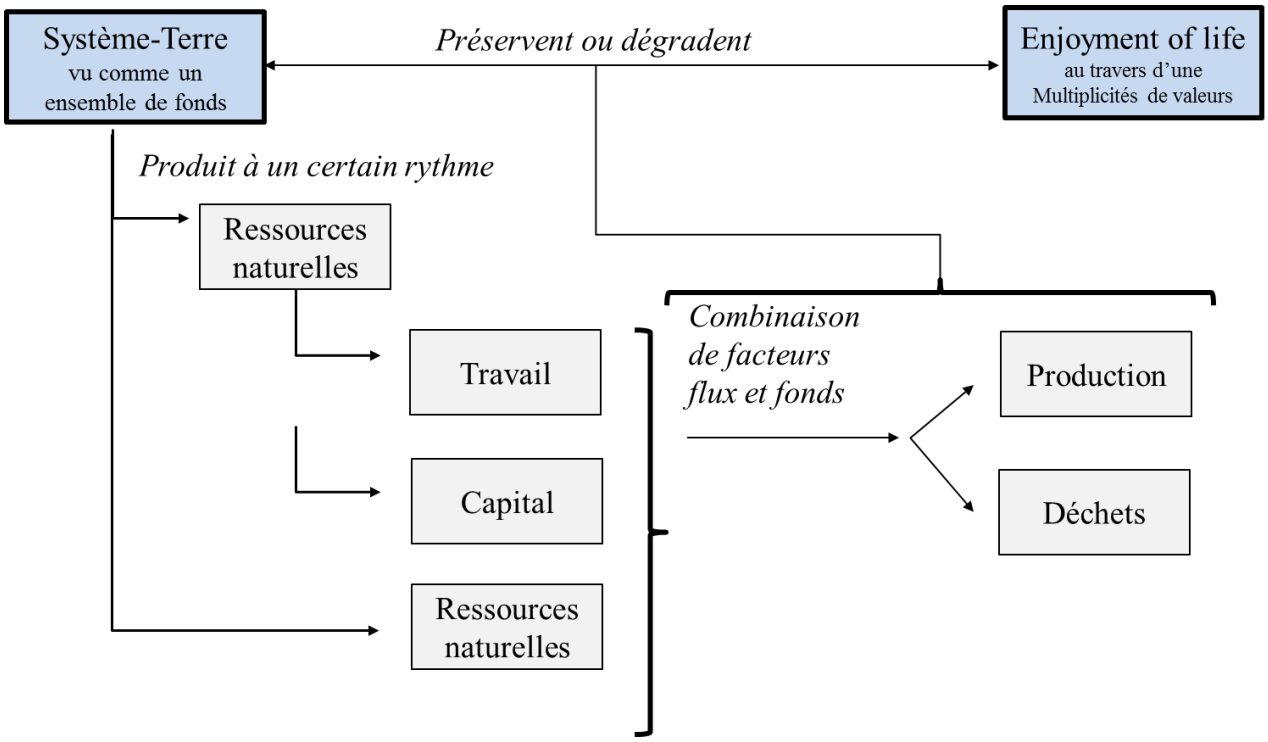


Figure 5 - Lecture bioéconomique des processus en rendant explicite la valeur de l'expérience humaine et le système-Terre vu comme un ensemble de fonds

Ainsi, la lecture bioéconomique des processus n'est pas purement thermodynamique. Elle dispose aussi d'autres composantes notamment la valeur trouvée dans le processus, « *l'enjoyment of life ».* Je fais le choix ici de considérer que cette prise de position n'est pas

anecdotique, en introduisant explicitement la valeur de l' « *enjoyment of life* » au cœur de la description des processus biophysiques (voir Figure 5).

Dans ce nouveau schéma, c'est l'ensemble du processus (c'est-à-dire la combinaison de facteurs flux et fonds, ainsi que les produits et déchets), et pas seulement les produits, qui contribuent à rétroagir sur le système-Terre ou l' « *enjoyment of life* », en les préservant ou en les dégradant.

L'intégration des composantes « *écologiques* » et « *culturelles* » change profondément le regard porté sur la finalité du processus économique. L'objectif de la production n'est plus de produire des flux (voire toujours plus de flux), mais d'obtenir un large flux d' « *enjoyment of life »* tout en préservant le système-Terre. Le processus économique vise à concilier ces deux objectifs, qui peuvent s'avérer contradictoires, mais aussi pourquoi pas, synergiques entre eux.

III.2. **Un programme de transformation sociale relevant à la fois de mesures techniques, de changements institutionnels et de propositions éthiques**

Le programme bioéconomique est porteur de transformations importantes sur le plan scientifique. Selon Georgescu-Roegen, il ne pouvait ni ne devait se limiter à cette composante. Il est aussi porteur d'un programme de transformation sociale. S'il est abordé à la marge du contenu scientifique de son ouvrage de 1971, ce programme est énoncé explicitement pour la première fois en 1975. Il prend la forme d'un programme bioéconomique minimal, qui traduit dans des propositions concrètes les conséquences de ce nouveau regard porté sur les activités économiques.

Ce programme a la particularité de synthétiser en huit propositions des mesures techniques, éthiques et de régulation publique qui laissent entrevoir un avenir durable pour l'humanité. Je cite ici ces huit propositions *in extenso*. Je souligne le message principal, pour plus de clarté.

*« Premièrement**, la production de tous les instruments de guerre, et pas seulement de la guerre elle-même, devrait être complètement interdite**. Il est tout à fait absurde (et aussi hypocrite) de continuer à cultiver du tabac si, de toute évidence, personne n'a l'intention de fumer. Les nations qui sont si développées qu'elles sont les principaux producteurs d'armements devraient pouvoir parvenir sans difficulté à un consensus sur cette interdiction si, comme elles le prétendent, elles possèdent également la sagesse nécessaire pour diriger l'humanité. L'arrêt de la production de tous les instruments de guerre permettra non seulement d'éliminer au moins les massacres commis par des armes ingénieuses, mais aussi de libérer des forces productives considérables pour l'aide internationale sans pour autant abaisser le niveau de vie des pays correspondants.*

*Deuxièmement, par l'utilisation de ces forces productives comme par des mesures supplémentaires que nous avons planifiées et sincèrement prévues**, les nations sous-développées doivent être aidées pour arriver le plus rapidement possible à une vie***

bonne *(et non luxueuse). Les pays en bout de chaîne doivent participer efficacement aux efforts requis par cette transformation et accepter la nécessité d'un changement radical de leurs conceptions polarisées de la vie.*

Troisièmement, ***l'humanité devrait progressivement abaisser sa population*** *à un niveau qui ne pourrait être nourri de manière adéquate que par l'agriculture biologique. Naturellement, les nations qui connaissent actuellement une croissance démographique très élevée devront s'efforcer d'obtenir les résultats les plus rapides possibles dans cette direction.*

Quatrièmement, jusqu'à ce que l'utilisation directe de l'énergie solaire devienne une commodité générale ou que la fusion contrôlée soit réalisée, ***un gaspillage d'énergie - par surchauffe, surrefroidissement, excès de vitesse, sur-éclairage, etc. devra être strictement limité***

Cinquièmement, nous devons nous ***guérir de la soif morbide de gadgets extravagants****, magnifiquement illustrée par un objet aussi contradictoire que la voiturette de golf, et de splendeurs aussi gigantesques que les voitures à deux garages. Une fois que nous l'aurons fait, les fabricants devront cesser de fabriquer de telles "marchandises".*

Sixièmement, nous devons également nous ***débarrasser de la mode****, de "cette maladie de l'esprit humain", comme l'a décrit l'abbé Fernando Galliani dans sa célèbre Della moneta (1750). C'est en effet une maladie de l'esprit que de jeter un manteau ou un meuble alors qu'il peut encore rendre son service spécifique. Se procurer une voiture "neuve" chaque année et refaire sa maison tous les deux ans est un crime bioéconomique. D'autres auteurs ont déjà proposé que les biens soient fabriqués de manière à être plus durables. Mais il est encore plus important que les consommateurs se rééduquent à mépriser la mode. Les fabricants devront alors se concentrer sur la durabilité.*

Septièmement, et en étroite relation avec le point précédent, ***il est nécessaire que les biens durables soient rendus encore plus durables en étant conçus de manière à pouvoir être réparés.*** *(Pour faire une analogie avec le plastique, dans de nombreux cas de nos jours, nous devons jeter une paire de chaussures simplement parce qu'un lacet a été cassé).*

Huitièmement, dans une harmonie irrésistible avec toutes les pensées ci-dessus, nous devrions ***nous guérir de ce que j'ai appelé "le circondrome de la machine à raser",*** *qui consiste à se raser plus vite pour avoir plus de temps pour travailler sur une machine qui rase plus vite pour avoir plus de temps pour travailler sur une machine qui rase encore plus vite, et ainsi de suite à l'infini. Ce changement exigera beaucoup d'abjurations de la part des professions qui ont attiré l'homme dans cette régression infinie et vide. Nous devons prendre conscience qu'une condition préalable importante pour une bonne vie est une quantité substantielle de loisirs passés de manière intelligente. »*

(Georgescu-Roegen, 1978)

Ailleurs, Georgescu-Roegen précise certains points. Le recours à l'énergie solaire devra être généralisé. Dans le secteur agricole, il s'agit de développer un mode de production agricole biologique, reposant sur les cycles naturels, sans engrais artificiels et peu mécanisée, reposant donc sur l'énergie solaire et non plus sur les énergies fossiles. En termes politiques, Georgescu-Roegen considère que ces mesures devraient s'appuyer sur des institutions globales, à l'image des Nations Unies (Missemer, 2013). L'application de la bioéconomie devra aussi s'accompagner d'une nouvelle éthique, qui vise à intégrer toutes les générations dans sa conception du monde :

> *« Ce dont le monde a le plus besoin, c'est d'une nouvelle éthique. Si nos valeurs sont justes, tout le reste –prix, production, distribution et même pollution- doit être juste. Au commencement l'homme s'est efforcé (du moins dans une certaine mesure) d'observer le commandement : « tu ne tueras point », plus tard, « tu aimeras ton prochain comme toi-même ». Voici le commandement de cette ère-ci : « tu aimeras ton espèce comme toi-même » (Georgescu-Roegen et al., 2011).*

III.3. **Des héritages multiples, à la croisée des sciences et de la politique**

La pensée de Georgescu-Roegen connaît de nombreux héritages qu'il serait vain de chercher à décrire ici dans leur globalité. Je me focaliserai ici sur deux héritages particulièrement contrastés. D'une part, le courant de l'économie écologique, en particulier le paradigme du métabolisme socio-économique, et d'autre part, le courant de la décroissance. Si certains se revendiquent d'une discipline scientifique, d'autres affichent un militantisme politique assumé. Dans cette partie, je discuterai en quoi ces héritages mêlent des composantes scientifiques et politiques qui sont difficiles à démêler dans la pratique.

3.1. **L'économie écologique et l'étude du métabolisme socio-économique**

L'économie écologique est un champ de recherche interdisciplinaire, qui traite de l'interdépendance et de la coévolution des économies humaines et des écosystèmes naturels. A sa fondation, il regroupe des chercheurs économistes hétérodoxes ainsi que des écologues. Si Georgescu-Roegen n'a jamais directement participé à sa fondation, il est largement considéré comme l'un de ses pères spirituels (Madelrieux et al., 2017) au côté d'autres chercheurs pionniers, notamment les frères Odum. Les premières réunions organisées d'économistes écologiques ont eu lieu dans les années 1980. L'année 1989 a vu la création de la Société internationale d'économie écologique et la publication de sa revue, Ecological Economics, par Elsevier. La revue vise à « *étendre et intégrer l'étude et la gestion du foyer de la nature (l'écologie) et du foyer de l'humanité (l'économie)* » (Costanza et al., 2014). L'économie écologique se définit par l'attention qu'elle porte à la nature, à la justice et au temps. Les questions d'équité intergénérationnelle, d'irréversibilité du changement environnemental et d'incertitude des résultats à long terme font partie de ses sujets de prédilection (Faber et al., 1995). De nos jours l'économie écologique se réfère aussi bien à un champ de recherche qu'à une communauté scientifique. Initialement composée d'économistes et d'écologues, la communauté s'est progressivement ouverte à une large variété de perspectives disciplinaires, intégrant notamment des contributions d'agronomes ou de sociologues.

Dans le champ de l'économie écologique, l'étude des bases biophysiques des activités humaines représente un objet d'étude majeur. Les travaux de Georgescu-Roegen et notamment le modèle fonds/flux ont trouvé un écho important chez des chercheurs s'intéressant au métabolisme des sociétés humaines, et ceci bien que Georgescu-Roegen n'ait jamais utilisé lui-même le terme de métabolisme. Une grande diversité d'approches a vu le jour. On compte notamment MuSIASEM[18], des analyses du métabolisme industriel, du métabolisme de la société (Fischer-Kowalski & Hüttler, 1998), du métabolisme territorial (*Essai d'écologie territoriale*, 2015) et du métabolisme socioéconomique (Pauliuk & Hertwich, 2015). Ces études sont considérées comme relevant d'un même paradigme, le métabolisme socio-économique. *Il « constitue l'auto-reproduction et l'évolution des structures biophysiques de la société humaine. Il comprend les processus de transformation biophysique, les processus de distribution et les flux, qui sont contrôlés par les humains à*

[18] MuSIASEM pour Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism, développé notamment par Mario Giampietro (2004).

leurs fins [et] pour le maintien des structures biophysiques de la société » (Pauliuk & Hertwich, 2015).

Si l'économie écologique dispose d'un certain nombre de références communes, elle présente aussi une diversité d'écoles de pensées importante. Pour Clive Spash (2013), un économiste écologique, ce pluralisme méthodologique représente une richesse mais aussi un vrai danger pour la communauté scientifique, notamment lorsque ce pluralisme est non structuré et non critique. Il a ainsi proposé une typologie des recherches en économie écologique, en fonction du rapport que les chercheurs entretiennent avec les institutions politiques dominantes, mais aussi avec les cadres scientifiques de référence en économie. Il identifie 3 grands types : la nouvelle économie des ressources, les nouveaux pragmatiques et l'économie socio-écologique. Cette typologie fait elle-même l'objet de débats et de controverses, alimentant les débats sur les liens étroits qui lient recherche scientifique et prise de position politique dans le champ de l'économie écologique (Levrel & Martinet, 2020).

3.2. **La prise en compte des limites planétaires et la valorisation d'un régime métabolique bioéconomique, centré sur la biomasse**

L'un des héritages importants de la pensée de Georgescu-Roegen réside dans l'encastrement de l'économie dans des limites physiques et écologiques. L'appel à une transformation du métabolisme est particulièrement prégnant et infuse largement les contributions scientifiques. Le métabolisme socio-économique est ainsi considéré comme un outil de transition socio-écologique (Fischer-Kowalski & Rotmans, 2009), d'intensification écologique (González de Molina & Guzmán Casado, 2017) ou de durabilité (Haberl et al., 2019).

L'étude des différents régimes socio-métaboliques sous l'angle de leur durabilité[19] poussent certains chercheurs, notamment Daviron, à envisager la transition vers un nouveau régime bioéconomique, donnant une large place à l'énergie solaire, au détriment des ressources fossiles. La perspective (théorique) d'une telle transition métabolique se traduirait par un recours intense aux biomasses. Ainsi, « *[si] nous supposons que de vraies alternatives au carbone fossile vont être mises en œuvre, il paraît évident que les usages non alimentaires de la biomasse sont appelés à reprendre toute l'importance qu'ils occupaient dans le régime métabolique solaire. Or la quantité de biomasse est limitée […] dans une économie post-pétrole, la biomasse sera rare et ses usages multiples et concurrents. Il sera donc essentiel de les hiérarchiser : quelle part sanctuariser pour l'alimentation ? Quelle part pour les transports ? Quelle part pour l'entretien de la fertilité des sols, etc. ? »* (Daviron, 2020).

La question des BR redevient centrale, et pas uniquement dans la répartition de ses usages, mais aussi dans leur origine, largement inscrite dans le régime minier : *« L'impression que celle-ci est abondante et sous-utilisée (déprise agricole, friches, gaspillage alimentaire), du moins en Europe ou en Amérique du Nord, n'est que le résultat d'une utilisation massive de pétrole dans toutes les branches de l'activité humaine, en tant que source d'énergie et de matière, y compris, comme nous l'avons vu, dans l'activité agricole. Les abondants déchets*

[19] La notion de régime métabolique est introduite dans le chapitre I., page 13.

organiques urbains sont donc eux aussi produits, indirectement, à grand renfort d'énergie fossile. Leur valorisation, pour vertueuse qu'elle soit, n'est qu'une boucle de ce circuit. » (Daviron, 2020)

La question politique y joue un rôle central. Organiser une transition vers un régime socio-métabolique basé sur la biomasse « *supposerait, dans nos sociétés démocratiques, d'avoir un débat sur la répartition de cette ressource limitée au moment de décider des politiques publiques et de l'orientation qu'on veut donner à la production agricole. Vaste ambition qui va beaucoup plus loin encore que l'objectif d'orienter -l'agriculture en fonction des attentes des mangeurs urbains. »* (Daviron, 2020)

3.3. **Les mouvements de la décroissance, un héritage politique discuté**

L'héritage de Georgescu-Roegen est directement revendiqué par des mouvements politiques et notablement par celui de la décroissance. Ce courant agrège des groupes politiques divers, associations, penseurs ou citoyens, qui prennent au mot la contrainte exercée par les limites planétaires et valorisent une certaine sobriété dans les pratiques économiques. Il a connu un développement important dans les années 1970, à la suite des travaux de Georgescu-Roegen, ainsi que du rapport Meadows « *Limit to Growth* » du Club de Rome.

Une autre branche du mouvement de la décroissance est représentée par une communauté scientifique.

> *"Usually, degrowth is associated with the idea that smaller can be beautiful. (…) However, our emphasis here is on different, not only less. Degrowth signifies a society with a smaller metabolism, but more importantly, a society with a metabolism which has a different structure and serves new functions.(…) In a degrowth society everything will be different: different activities, different forms and uses of energy, different relations, different gender roles, different allocations of time between paid and non-paid work, different relations with the non-human world" (D'Alisa et al., 2014).*

La décroissance comme objectif politique est considérée comme une conséquence directe des travaux scientifiques :

> *« Continuer à accroître le PIB par tête d'un nombre croissant d'habitants de la planète, tout en prétendant utiliser moins de ressources (ou, ce qui revient au même, produire davantage de biens avec une même quantité de ressources) - telle semble être la promesse de la croissance verte, qui coopte l'idée d'économie circulaire" […]"il est impossible de ne fût-ce qu'approcher l'idéal de circularité sans tourner le dos à un modèle productiviste et croissanciste qui table sur une "dématérialisation" indéfinie de la seule production, sans se préoccuper outre mesure des volumes de consommation finale et de la croissance de la population mondiale » (Arnsperger & Bourg, 2016).*

La communauté scientifique de la décroissance partage d'ailleurs de nombreux points communs avec la communauté d'économie écologique. Celles-ci ont ainsi organisé une conférence commune en 2016 à Budapest. Une prochaine rencontre à Manchester en 2021 est aussi prévue, couplant les deux communautés[20]. En France, des organisations comme ATTAC, NégaWatt, des politiciens comme Yves Cochet, un conférencier comme Jean-Marc

[20] Voir la page de la conférence, prévue a priori en 2021 : growth.info/en/next-international-degrowth-conference-manchester-2020/ (Consulté le 18 septembre 2020).

Jancovici, participent, chacun à leur manière, à nourrir le débat politique sur la décroissance en puisant une inspiration dans les travaux de Georgescu-Roegen.

Cet héritage politique est lui-même l'objet d'une controverse scientifique. Pour certains commentateurs, notamment Antoine Missemer, la décroissance est issue d'une incompréhension de l'héritage de Georgescu-Roegen par ses militants. Ces derniers auraient généralisé son plaidoyer pour une décroissance de l'usage des ressources naturelles dans les sociétés industrielles, et Georgescu-Roegen n'aurait jamais défendu l'idée d'une décroissance « *absolue* » :

> *« [Pour Georgescu-Roegen], le problème n'est pas la croissance in extenso, mais la croissance « actuelle », « que nous connaissons ». […] Ce dernier ne dénonce pas la croissance comme dynamique générale d'une économie, mais la croissance telle qu'elle se manifeste dans les sociétés industrielles, c'est-à-dire à travers le prisme d'une prédation excessive des ressources naturelles [..] alors que pour la plupart des objecteurs de la croissance, la contingence historique a peu d'importance dans la problématique écologique, tant la croissance est intrinsèquement la source des problèmes environnementaux et sociaux rencontrés. » (Missemer, 2013)*

Si le concept de décroissance est mobilisé de manière variée, les controverses sur les liens entre héritages politiques et scientifiques ne semblent pas près de se tarir.

3.4. **La difficile traduction politique de la bioéconomie**

La bioéconomie nourrit des héritages dans lesquels les composantes scientifiques et politiques semblent difficiles à distinguer. Si la notion de limites n'est pas contestée, la traduction politique de ces limites semble sujette à controverses. Pour Charbonnier (2020), la bioéconomie pose un problème politique. Une difficulté apparaît dans l'alternative qu'aperçoit Georgescu-Roegen, dans les applications politiques de sa théorie scientifique : le programme bioéconomique minimal. D'un côté, il propose une soumission à des limites biophysiques immuables, sous l'égide d'un écogouvernement mondial, matérialisé dans son programme bioéconomique, et de l'autre, il entrevoit la fin de l'humanité, sous la forme d'un bouquet final de feux d'artifice :

> *« Même si les humains prennent conscience de la problématique entropique de leur espèce, ils n'abandonneront pas volontiers les fastes actuels en vue de faciliter la vie des humains qui naîtront dans dix mille ans, voire dans mille ans seulement ; tout se passe comme si l'espèce humaine avait choisi de mener une vie brève, excitante et extravagante laissant aux espèces moins ambitieuses une existence longue, végétative et monotone. Dans ce cas, que d'autres espèces dépourvues d'ambition spirituelle – les amibes par exemple – héritent d'une terre qui baignera longtemps encore dans une plénitude de lumière solaire ! » (Georgescu-Roegen, 1979)*

Cette alternative, si elle est prise au sérieux, est politiquement problématique. Elle présente d'un côté l'abandon pur et simple des idéaux d'émancipation sous la pression des contraintes biophysiques, et de l'autre la jouissance des derniers instants d'autonomie qui nous restent (Charbonnier, 2020). Selon Charbonnier, les deux alternatives semblent trop éloignées des idéaux d'auto-détermination, de démocratie et de délibération qui nourrissent nombre de nos conceptions politiques en Occident, ce qui participe à lui donner un fort handicap sur la scène politique. A minima, nous pouvons constater la difficulté que rencontre,

ces quarante dernières années, la bioéconomie à se traduire en actions tangibles.

Selon Charbonnier, bioéconomie de Georgescu-Roegen souffrirait d'un déficit théorique sur ces questions politiques. La bioéconomie négligerait le fait que l'économie est avant tout une construction humaine :

> *« Le plaidoyer pour une reconnaissance active des processus naturels comme facteurs qui rendent impossible le postulat d'illimitation se heurte [..] à deux affirmations puissantes : la nature n'a de valeur économique qu'à travers la construction effective de cette valeur dans l'échange ; et on ne sait pas ce qu'il en est du potentiel à venir de ces procédés de construction. »*

Pour Charbonnier, la bioéconomie, « *court le risque de désinstituer l'économie, de couper ses liens avec la réflexivité sociale en la faisant tomber du côté de l'histoire naturelle. »* Ce que la bioéconomie négligerait, ce « *n'est rien de moins que la structure politico-juridique des protections accordées aux individus et aux groupes, leur autonomie comme acteurs engagés dans la co-construction de la liberté sociale. »* (Charbonnier, 2020) Georgescu-Roegen semble pourtant avoir entrevu le risque d'un réductionnisme naturaliste. Il soulignait l'importance des aspects culturels et sociaux. La lecture bioéconomique des processus économiques intègre à la fois la prise en compte des limites du système-Terre, ainsi que l' « *enjoyment of life* », qui est bien construit socialement et politiquement. La mise en tension de ces deux objets, de nature différente, est bien d'ordre politique.

Chapitre.IV. Le pragmatisme, un cadre philosophique pour penser le pluralisme ancré dans l'empirisme et l'action

La question de la prise en charge du pluralisme des voies d'écologisation est longtemps restée pour moi, une question pratique. Je le constatais, mais je ne disposais pas de cadre intellectuel pour le penser. C'est en deuxième année de thèse, au détour d'un cours de philosophie des sciences pour doctorants au sein de la faculté de philosophie de Grenoble, que j'ai découvert le pragmatisme américain. Y voyant une opportunité, j'ai ensuite approfondi ce courant au travers de ma lecture du livre *Le Pragmatisme* de William James (1907), en cherchant à identifier, en particulier, comment il prend en compte la question du pluralisme.

Ce courant de pensée est né aux États-Unis au début du XXe siècle avec Charles Peirce, William James et John Dewey. Il s'agit d'une philosophie qui s'est construite en opposition à d'autres philosophies, jugées trop « *idéalistes »* et portés sur l'étude de concepts abstraits. La philosophie pragmatique est au contraire une philosophie très empiriste, qui donne une grande importance aux faits. Il s'agit aussi d'une philosophie ancrée dans l'action. Ce sont ces principales caractéristiques qui sont présentées dans une première sous-partie. Le pragmatisme revêt pour moi un intérêt particulier, en raison de l'attention qu'il porte à la question du pluralisme, qui a une place importante dans ma thèse. La deuxième sous-partie de ce chapitre présente la manière dont le pragmatisme se saisit de cette question.

IV.1. Une courant philosophique ancré dans la réalité et qui part des problèmes des hommes

Une philosophie empiriste

Les premiers pragmatiques ont développé leurs idées en opposition aux philosophes idéalistes de leur temps. Ils leur reprochaient de donner de la valeur à des concepts abstraits sans lien direct avec la réalité. Les pragmatistes visent ici les débats conceptuels des philosophes de leur époque, qui opposaient des philosophes sur des concepts abstraits, métaphysiques, dont ils peinent à percevoir les implications concrètes. Pour dépasser ces débats, qualifiés d' « *idéalistes* », les pragmatistes proposent une approche ancrée dans l'empirisme. Ils notent les progrès spectaculaires des sciences expérimentales donnant une grande importance à l'enquête et à l'expérience et essayent de transposer cette manière de travailler dans le champ de la philosophie.

Ainsi, au lieu de se focaliser sur des oppositions théoriques et de nourrir de grands débats conceptuels à l'aide de raisonnements intellectuels longs et compliqués, les pragmatistes proposent de se concentrer sur les conséquences pratiques et factuelles de nos idées. Ils nous enjoignent de « considérer les effets pratiques des objets de [notre] conception". Ensuite*, « [considérer que notre] conception de ces effets est l'ensemble de [notre] conception de l'objet »* (Peirce cité par James, 1907). Pour un pragmatiste, si l'alternative entre « *A est vraie* » et « *A est faux* » n'a aucune conséquence concrète dans la vraie vie, alors se poser la question de la vérité de A n'a aucun intérêt. La valeur de A réside uniquement dans les différences observables entre les deux propositions. Le pragmatiste est donc amené à tester ses concepts dans la vraie vie, en fonction de faits réels.

Une philosophie qui part des problèmes concrets des hommes et est axée vers l'action

Les pragmatistes vont même plus loin : ils considèrent que les idées doivent non seulement avoir une résonnance dans le monde réel, mais qu'elles doivent aussi être utiles et répondre aux problèmes des hommes. Elles doivent être jugées en fonction de la valeur qu'elles ont pour l'homme dans l'expérience, c'est-à-dire en quoi elles participent à l'aider à résoudre certains problèmes. Selon William James, la valeur de vérité des idées énoncées doit être testée au regard de la satisfaction que celles-ci procurent dans l'expérience :

> *"Any idea upon which we can ride […] any idea that will carry us prosperously from any one part of our experience to any other part, linking things satisfactorily, working securely, simplifying, saving labour, is [...] true instrumentally."* (James, 1907)

Pour les pragmatistes, les idées ont avant tout une valeur utilitaire. Une idée qui n'aide en rien à comprendre le monde autour de nous, qui ne nous est pas utile dans notre expérience, en aucune situation, n'a ainsi aucune valeur pragmatique.

Une philosophie qui enjoint à penser ensemble les moyens et les fins

Cette manière de voir la vérité (« *est vrai ce qui est utile* ») a généré de nombreuses critiques. William James n'ayant pas décrit précisément ce qu'était la « *satisfaction »*, chacun peut trouver de la valeur là où il le souhaite. Le pragmatisme a ainsi pu être vu comme une philosophie « *pour businessmen* », qui favorise le relativisme (Madelrieux, 2010). Le pragmatisme est pourtant une pensée plus subtile. En valorisant en même temps l'empirisme et l'utilité pratique, il invite à penser ensemble les moyens et les fins. Le pragmatisme s'inquiète des corrélations empiriquement établies ou rationnellement imaginables entre des moyens pour réaliser telle ou telle activité et les fins qui sont effectivement atteintes. Selon Joëlle Zask, « *être pragmatiste, c'est accepter de définir les fins que nous poursuivons en fonction des moyens réellement disponibles et en considération des conséquences envisageables de l'action entreprise sous leur influence* »[21]. Il ne s'agit donc pas du tout de considérer que tous les moyens sont bons pour arriver à ses fins, bien au contraire.

[21] Texte de Joëlle Zask issue d'un entretien : blogs.mediapart.fr/etapegrand-angle-libertaires/blog/030217/la-democratie-radicale-entre-le-pragmatisme-de-dewey-et-la-culture-de-la-terre.

IV.2. **Une philosophie pour prendre en charge le pluralisme**

Comment les pragmatiques abordent-ils la question du pluralisme, qui nous intéresse ici ? Cette section s'appuie sur une *leçon* de William James, développée dans son livre *Le pragmatisme* (1907) et qui s'intéresse spécifiquement à cette question : comment réconcilier la recherche d'unité et la multiplicité du monde ?

L'opposition entre l'un et le multiple : une question théorique

Pour introduire la question, James décrit deux positions philosophiques opposées : les monistes et les pluralistes. Pour les monistes, le monde a une unité intrinsèque et absolue. Il est guidé par un idéal unique et supérieur. Pour les pluralistes, il est disjoint,et il y a autant de mondes que de points de vue. Pour James, chacune de ces positions est caricaturale et empêche de bien comprendre la réalité du monde qui nous entoure. Les pragmatistes refusent de décider entre ces deux extrêmes, cherchant plutôt une voie médiane.

Une approche empirique du pluralisme

Pour étudier la question du pluralisme, les pragmatistes adoptent une démarche empirique. Ils s'intéressent aux conséquences concrètes des différentes hypothèses posées. Pour James, s'interroger sur l'Un et le Multiple d'un point de vue pragmatique signifie répondre à la question suivante : « *Si l'Un existe, quelles différences en résultera-t-il dans les faits ? Sous quelle forme cette unité se fera-t-elle connaître ? Le monde est un, mais de quelle manière ? Quelle est la valeur pratique de l'unité en ce qui nous concerne ?* » (James, 1907). Concrètement, la voie pragmatique consiste à étudier ce qui unit les différents éléments, un par un. Le monde est un dans la mesure de la somme des connexions que nous pouvons découvrir dans l'expérience. L'unicité est décrite en termes de liens ou de relations.

James développe ensuite certaines modalités, plusieurs façons selon lesquelles on pourrait considérer les liens et les relations entre les choses. Les critères d'appréciation des liens sont innombrables, l'expérience est multiple : « *Il y a un nombre incalculable de types de relations entre les choses, et l'ensemble que forment chacune de ces relations constitue une sorte de système qui relie les choses entre elles.* »

Dans la pensée pragmatique, l'unification n'est pas préexistante, elle est construite. Cette construction est une représentation, construite sur la base d'une expérience, comme « *un fil que l'on suit, de proche en proche* », qui nous permet de découvrir les liens qui unissent les choses. Mais cette unité n'est pas que dans le domaine du discours ou de la représentation. Elle est aussi dans le domaine de l'action : « *Les hommes s'efforcent sans cesse d'unifier le monde en le faisant entrer dans des systèmes bien délimités. Nous mettons en place des systèmes, le système […] postal, consulaire ou encore commercial, dont toutes les parties sont soumises à des influences particulières qui se propagent à l'intérieur du système sans jamais s'étendre aux faits qui n'en font pas partie. Il en résulte d'innombrables petites associations entre les parties de l'univers à l'intérieur d'associations plus étendues.* » (James 1907)

La diversité des critères de satisfaction (ou d'évaluation) implique qu'il y a nécessairement

une pluralité de valeurs, et donc une pluralité de représentations possibles.

Prendre en compte le pluralisme dans l'action : la tolérance et la démocratie

Le pragmatisme nous apprend qu'il existe une diversité d'expériences et de critères de satisfaction. Cette manière de voir la question a plusieurs conséquences importantes. Premièrement, cela rend illusoire l'existence d'un grand système unificateur, universaliste, qui prendrait en charge les problèmes de tous. Il est donc essentiel de respecter l'existence de multiples perspectives. Deuxièmement, la question du pluralisme ne peut pas être résolue une bonne fois pour toutes. Ce qui distingue ou ce qui relie différentes entités doit être réinterrogé à chaque nouvelle situation qui se présente, problème par problème. Troisièmement, le pragmatisme implique de reconnaitre qu'il existe une part d'indétermination, dans toute situation. L'expérience est sans cesse renouvelée, enrichie. Le monde est également multiple en ce sens que l'avenir du monde est indéterminé, il offre des possibilités qui ne peuvent être prédéterminées. Il a toujours quelque chose d'incomplet, quelque chose en devenir.

C'est notamment pour ces raisons que les pragmatistes accordent de la valeur aux processus délibératifs et démocratiques ainsi qu'à l'action collective (Rorty 1999, Madelrieux et al. 2010). Ceux-ci reconnaissent et donnent de la valeur au pluralisme. Ils respectent l'existence de multiples points de vue, de multiples perspectives, tout en cherchant à les relier et à les faire tenir ensemble. Ce travail d'unification est nécessairement le fruit d'une action collective.

Chapitre.V. Le métabolisme socio-économique vu sous un angle pragmatique : les réseaux métaboliques comme cadre analytique

La recherche de cadres théoriques pour prendre en charge le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des BR m'a guidé vers deux cadres, complémentaires : la bioéconomie de Georgescu-Roegen, ainsi que le pragmatisme de William James.

Dans ce chapitre, je présente en quoi l'assemblage de ces deux cadres donne naissance à un cadre analytique : les réseaux métaboliques. Ce cadre consiste en une certaine manière d'envisager le métabolisme socio-économique, que je présente ici sous la forme de trois dimensions que j'attribue aux réseaux métaboliques :

- Ils renvoient à une réalité faite de flux et de fonds. Il s'agit ainsi de considérer le métabolisme comme une réalité, plutôt que sous l'angle d'une analogie avec la biologie. Les fonds et flux représentent un modèle pour décrire cette réalité.

- Ils impliquent de centrer son regard sur des situations problématiques. Ces situations sont toujours dépendantes des représentations qu'on en fait et sont donc décrites au moyen de couples fonds/flux.

- Ils impliquent enfin une approche relationnelle. Les réseaux métaboliques sont vus comme un outil au service de la résolution de problèmes. Il ne s'agit pas de se contenter de décrire les fonds, flux et les situations problématiques, mais plutôt de décrire les réseaux d'interactions entre de multiples fonds. Il s'agit de penser ensemble les fins (quels fonds souhaite-t-on maintenir ?) et les moyens (les fonds décrit représentent autant de pistes d'action, ou de leviers possibles pour la transformation du métabolisme).

V.1. **Les réseaux métaboliques : une réalité faite de flux et de fonds**

Considérer le métabolisme comme une réalité plutôt qu'une analogie

L'approche des réseaux métaboliques consiste à considérer le métabolisme comme une réalité, c'est à dire la base biophysique du fonctionnement de nos sociétés (Pauliuk & Hertwich, 2015). Il s'agit en cela de prendre de la distance avec une autre conception du métabolisme, celle d'une analogie biologique (Wassenaar, 2015).

En effet, une autre vision du métabolisme consiste à comparer les flux dans les sociétés humaines aux flux et processus internes à un organisme. Cette analogie, biologique ou physiologique se heurte à des critiques multiples, notamment en raison du caractère daté de la vision des systèmes biologiques qu'elle porte. Dans une approche réaliste plutôt qu'analogiste, les systèmes agricoles ou alimentaires ne sont pas simplement comparés aux flux et processus internes à un organisme, mais ils sont étudiés en tant que tels. Ce choix est basé sur une référence commune à l'écologie plutôt qu'à la biologie. Dans les faits, la référence à la physiologie est moins utilisée aujourd'hui, et c'est la référence à l'écologie, la science qui décrit en fait le mouvement des matériaux et de l'énergie à travers les communautés vivantes, qui est souvent préférée (Pauliuk & Hertwich, 2015; Wassenaar, 2015).

Adopter le modèle fonds/flux

Si les réseaux métaboliques sont une réalité, les fonds et flux sont un modèle, c'est-à-dire une certaine représentation des processus métaboliques. La description d'un processus selon le modèle fonds/flux implique de caractériser les flux, ainsi que les fonds qui sont nécessaires au bon déroulement du processus.

Georgescu-Roegen n'a pas fourni de liste de facteurs qui pouvaient être considérés comme des flux ou des fonds. Cependant la limite fonds/flux est toujours située, dans un certain contexte technique, une certaine dimension temporelle et spatiale (Georgescu-Roegen, 1971). Ce qui relève des fonds et des flux peut être décrit dans chaque situation, à partir d'attributs théoriques[22].

Ce travail doit être effectué de nouveau dans chaque situation particulière. Dans une perspective de réseaux métaboliques en lien avec des représentations multiples, il est important de laisser ouverte la question des fonds. Cela revient en quelque sorte à dire que l'on étudie toujours un système ouvert et donc, des entités extérieures, imprévues, peuvent toujours venir influencer le processus étudié. Des échelles, niveaux organisationnels, ou limites différentes peuvent être fixées en fonction des problématiques étudiées et représentations choisies. Ainsi, des représentations multiples et mutuellement irréductibles peuvent exister et concerner un même processus métabolique (Martinez-Alier et al., 1998).

[22] Voir le Tableau 1 page 43 qui présente les différentes définitions du dualisme fonds/flux. J'y distingue notamment une définition formelle, une définition sémantique, et une définition fonctionnelle.

V.2. **Les réseaux métaboliques : centrer son regard sur des situations problématiques**

Les situations problématiques sont multiples, toujours dépendantes des représentations

Le cadre analytique proposé est centré sur des situations, que je qualifie de problématiques, dans le sens où elles impliquent des difficultés, voire sont instables ou dangereuses, et appellent une action en retour. Dans le cadre de la bioéconomie, et plus particulièrement de l'étude du métabolisme socio-économique, ces situations problématiques concernent les bases biophysiques du fonctionnement de nos sociétés.

Pour Georgescu-Roegen, ces situations problématiques sont décrites au travers des limites biophysiques. C'est le fait que les processus économiques ne tiennent pas compte de ces limites qui est considéré comme problématique. Cette idée de limites a depuis connu un important succès. Alors que Georgescu-Roegen insistait spécifiquement sur les limites thermodynamiques, des travaux ultérieurs ont élargi la notion des limites planétaires, identifiant 9 limites de nature écologique[23]. Le regard porté par les réseaux métaboliques implique de reconnaître la multiplicité de ces limites, qui sont toujours liées à certaines représentations scientifiques (le choix de certains indicateurs, certaines variables ou échelles, au détriment d'autres). Georgescu-Roegen était déjà bien conscient de cette multiplicité des limites. S'il a développé prioritairement celle des limites thermodynamiques, il avait bien compris l'importance centrale du phénomène d'émergence. Les processus évolutifs, sociaux, culturels et politiques exercent une influence aussi importante que les limites thermodynamiques et sont largement mentionnés dans ses travaux.

Les situations problématiques sont donc multiples. En adoptant une perspective pragmatique, je reconnais que ces limites n'existent pas dans l'absolu, de manière indépendante à toute représentation, mais qu'elles sont toujours liées à un mode de représentation spécifique, à un choix de cadre analytique et aussi à un travail d'enquête sur un terrain concret.

Décrire les situations problématiques par des couples fonds/flux

Dans le cadre des réseaux métaboliques, ces situations problématiques sont caractérisées à partir de représentations de fonds et de flux. En décrivant des situations problématiques, les représentations du métabolisme acquièrent un caractère normatif. Elles décrivent un problème, c'est-à-dire une situation indésirable et définissent donc en contraste ce que serait un « bon » métabolisme.

Si une approche stock/flux mettait l'accent sur le maintien de certains volumes de flux, le modèle fonds/flux vise plutôt à mettre le maintien et la préservation des fonds au centre dans l'analyse des processus. Les fonds sont en effet les agents actifs qui permettent de produire des flux, mais les variations de flux peuvent refléter des situations où les fonds perdent leur

[23] Les travaux sur les limites planétaires sont notamment portés par la Stockholm Resilience Alliance. Les 9 limites identifiées sont : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la perturbation des cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore, les changements d'utilisation des sols, l'acidification des océans, l'utilisation mondiale de l'eau, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère. Source : www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries/about-the-research/the-nine-planetary-boundaries.html (Consulté le 15 Août 2020).

capacité à se maintenir et à perdurer dans le temps (Giampietro et al., 2014). C'est donc bien dans ces couples d'interactions fonds /flux que se jouent les situations problématiques.

V.3. **Les réseaux métaboliques : une approche relationnelle pour penser ensemble les fins et les moyens**

Les réseaux métaboliques sont un cadre d'analyse au service de la résolution de problèmes, au moyen d'une approche relationnelle, afin de penser ensemble les fins et les moyens.

Interroger les interactions fonds / fonds

Conceptuellement, cela revient à adopter une approche relationnelle, c'est-à-dire à focaliser son attention sur les relations, les interdépendances, qu'entretiennent des entités plutôt que sur la nature intrinsèque d'une entité. Concrètement, il ne s'agit pas uniquement de décrire des fonds/flux, ainsi que des situations problématiques, mais de s'intéresser aux réseaux que forment ces flux et ces fonds, ainsi qu'à leur transformation.

Cette approche relationnelle me permet d'aller au-delà du lien unitaire reliant un flux et un fond. Il s'agit de contextualiser les situations problématiques (fonds/flux) dans un réseau plus large, constitué d'un ensemble de fonds. L'interaction entre des fonds de natures diverses (écologiques, technologiques, culturels, etc.) devient alors un véritable objet d'étude. Ces fonds peuvent interagir au travers de processus multiples. Je me rapproche en cela de la lecture des fonds que font Faber et al. (1995), en considérant que les fonds fournissent des services multiples, à la fois en termes économiques, mais aussi des services culturels, esthétiques, interdépendants les uns des autres. Par exemple, la destruction d'un paysage, à la valeur esthétique, impacte négativement l'activité touristique.

Penser ensemble les fins et les moyens

Mettre au centre la question des fonds et de leur interaction n'est pas qu'une question théorique de représentations scientifiques, elle a aussi des implications concrètes en termes d'action. On part d'un problème identifié par exemple par un couple fonds/flux, mais au cours de l'enquête, on identifie un réseau de fonds interdépendants, ce qui change notre représentation du métabolisme, notre représentation du problème, mais aussi nos perspectives d'action. Cette approche relationnelle permet de penser ensemble les fins (quels fonds souhaite-t-on maintenir ?) et les moyens (les fonds que l'on décrit représentent autant de pistes d'action, ou de leviers possibles pour la transformation du métabolisme).

Conclusion : comment caractériser le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires au prisme des réseaux métaboliques ?

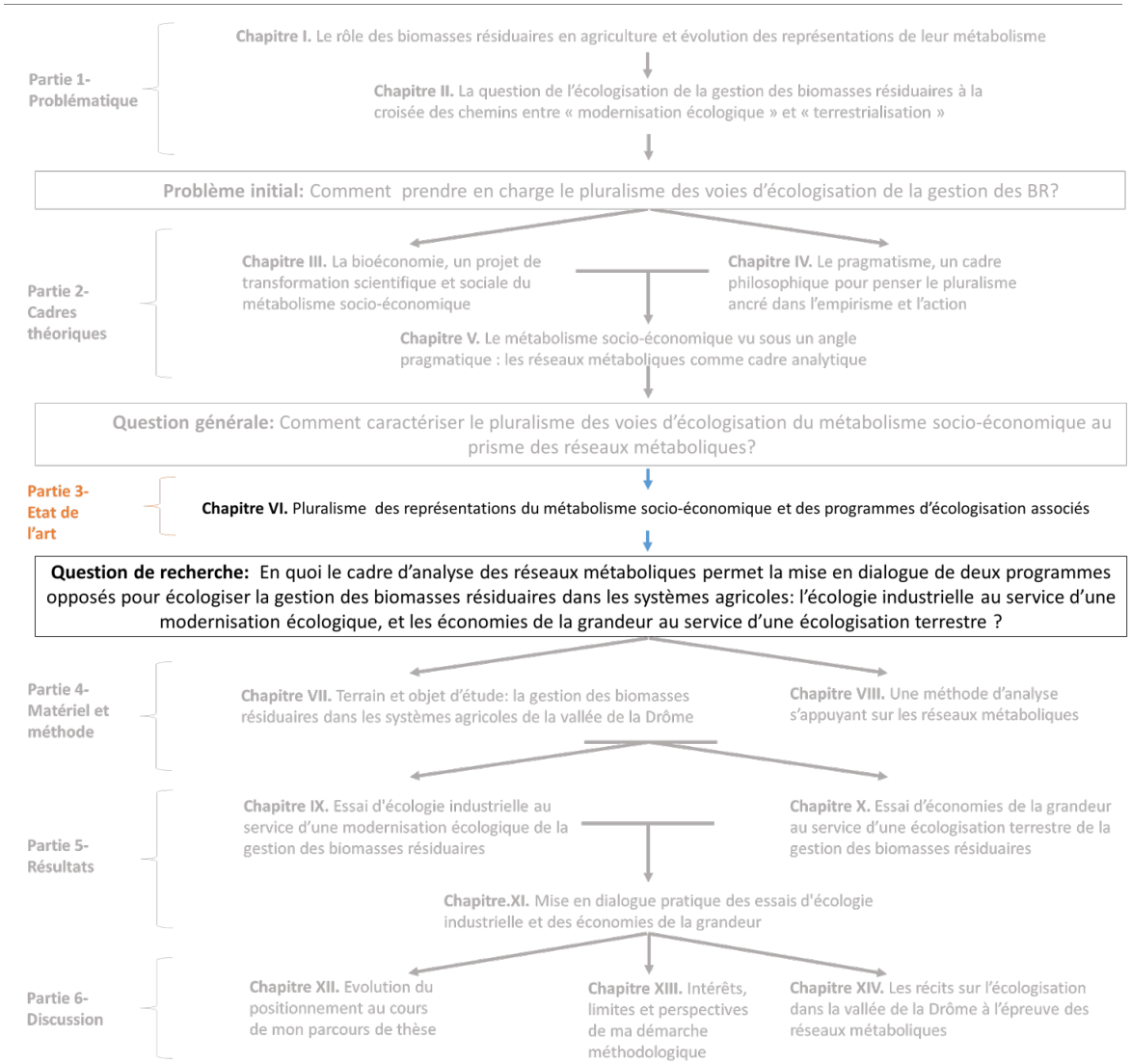
La première partie de cette thèse nous a donné à voir que la gestion des biomasses résiduaires recoupe des enjeux multiples. De par les situations problématiques qu'elle engendre tout d'abord : les pollutions, rifts métaboliques, qui participent à questionner les bases biophysiques de la subsistance des sociétés humaines. Face à ces enjeux, de nombreux chercheurs appellent à la transformation du métabolisme des BR et notamment à l'écologisation de la gestion des BR *(Chapitre I).* Les BR représentent aussi un enjeu en raison de l'imbrication des représentations scientifiques et choix politiques qu'implique la transformation de leurs modes de gestion. Les manières classiques de prise en charge des BR, à savoir le recyclage et l'optimisation de leurs usages, ainsi que leurs avatars contemporains, la bioéconomie institutionnelle et l'économie circulaire se retrouvent aujourd'hui confrontées à des critiques multiples, qui les interrogent sur leurs fondements modernisateurs *(Chapitre II).* Ce raisonnement m'a fait aboutir au constat que la question du pluralisme était centrale pour la prise en charge du métabolisme des BR *(Conclusion Partie 1).*

Dans cette partie, j'ai développé deux cadres, qui me paraissent intéressant pour prendre en charge la question du pluralisme dans la gestion des BR : le paradigme scientifique bioéconomique (*bioeconomics* en anglais) de Nicholas Georgescu-Roegen, ainsi que le pragmatisme du philosophe William James. La bioéconomie de Georgescu-Roegen propose une prise en charge nouvelle de la question écologique, intégrant de manière ambitieuse des limites physiques strictes aux processus économiques, mais aussi la multiplicité des valeurs trouvées dans l'expérience (*l' « enjoyment of life »*). Le paradigme « bioeconomics » envisage les processus économiques en rupture par rapport à l'économie orthodoxe. Il propose de les repenser à travers une vision matérielle et énergétique (le modèle fonds/flux), réintégrant l'économie dans son substrat biophysique *(Chapitre III).* Le pragmatisme de William James représente une philosophie empiriste et ancrée dans l'action. Il s'intéresse aux conséquences concrètes des idées et concepts. Le pragmatisme revêt un intérêt dans cette thèse en raison de l'attention qu'il porte à la question du pluralisme et les outils qu'il propose pour le prendre en charge (*Chapitre IV*). J'ai ensuite présenté la manière dont j'assemble la bioéconomie et le pragmatisme pour former un cadre d'analyse : les réseaux métaboliques (RM). Il s'appuie sur trois démarches complémentaires (*Chapitre V*) :

- Des représentations des réseaux métaboliques comme une réalité faite de flux et de fonds (qui distingue les entités « changeantes » - produites ou transformées- au cours d'un processus (les flux), des entités « durables, stables, agissantes » (les fonds))
- Des représentations de la diversité des situations problématiques, et enfin
- La mise en œuvre d'une approche relationnelle, permettant de penser conjointement représentation et action.

Cette partie aboutit à la formulation de la question générale : **comment caractériser le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires au prisme des réseaux métaboliques ?**

PARTIE 3. ETAT DE L'ART



Chapitre.VI. Pluralisme des représentations du métabolisme socio-économique et des programmes d'écologisation associés

Dans ce chapitre, je dresse un panorama des principales écoles de pensée se saisissant du métabolisme socio-économique des systèmes agricoles ou alimentaires. Ce travail est issu d'un article, publié dans la revue *Ecological Economics*[24].

- Dans une première partie, je présente la méthode utilisée pour classer les articles en différentes écoles de pensées, en prenant pour cadre les réseaux métaboliques.
- Dans une deuxième partie, j'expose le résultat de ce travail bibliographique au sein duquel j'ai identifié huit écoles de pensées, réparties au sein de trois types différents de représentations des métabolismes socio-économiques.
- Dans une troisième partie, je montre en quoi ces écoles de pensées se distinguent relativement à leur rapport à la modernisation.

VI.1. **Méthode : des écoles de pensée caractérisées à l'aide des réseaux métaboliques**

La représentation du métabolisme des chercheurs est vue comme une réalité faite de flux et de fonds. Tout d'abord, je mobilise mon cadre d'analyse des réseaux métaboliques pour étudier les articles. Le Tableau 2 présente les principales modalités de ce travail, qui sont détaillées ci-dessous.

Cadre des réseaux métaboliques	Axe d'analyse mobilisé pour l'étude bibliographique	Indicateurs mobilisés
1- Une réalité faite de flux et de fonds	Caractérisation de la représentation du métabolisme socio-économique dans les articles	- Flux - Fonds - Niveaux d'organisation
2- Situations problématiques	Caractérisation des objectifs, outils et partenaires pour la transformation du métabolisme	- Objectif de transformations de fonds/flux - Analyses et Outils - Acteurs
3- Approche relationnelle	Caractérisation des écoles en fonction de leur rapport à la modernisation/terrestrialisation	- Opposition modernisation/terrestrialisation

Tableau 2 - Présentation générale du cadre d'analyse des articles au prisme des réseaux métaboliques

[24] L'article en question est joint à la thèse et figure en page 287.

1.1. **Une réalité faite de flux et de fonds : caractérisation de la représentation du métabolisme socio-économique dans les articles**

Je distingue les représentations du métabolisme en fonction de la façon que les chercheurs ont de considérer les fonds, flux et stocks. Les articles sont classés en fonction de leur représentation du métabolisme socio-économique.

Nous avons suivi la proposition de Georgescu-Roegen (1971) de représenter les processus métaboliques en utilisant deux catégories distinctes : les flux (a) et les fonds (b). Un flux (a) représente le changement : il est généralement utilisé pour représenter un intrant ou un extrant d'un processus donné. Les fonds (b) sont des entités durables, qui sont les « *agents actifs du processus* », tandis que les flux sont « *utilisés ou pris en charge par les agents* » (Georgescu-Roegen 1971). Une diversité d'entités peut être prise en compte, il s'agit notamment des processus économiques ou écologiques, des agents humains et non humains.

Enfin, je décris les échelles et niveaux d'organisation différents (c) Pour ce qui est des échelles, il s'agit de grands espaces, d'échelles moyennes ou petites. Les niveaux représentés sont : les boîtes noires physiques, entreprises individuelles ou filières.

1.2. **Des situations problématiques : caractérisation du problème, outils et partenaires pour la transformation du métabolisme**

L'action est vue à travers les objectifs opérationnels poursuivis par les chercheurs, les interfaces action-recherche dans lesquelles ils s'engagent et les partenaires avec lesquels ils interagissent. Le lien à l'action des chercheurs est analysé sur la base de trois critères que sont (d) la caractérisation du problème (ou des situations problématiques) ainsi que les objectifs que se donne le chercheur, (e) les outils ou moyens qu'il se propose de mettre en œuvre et (f) les acteurs avec lesquels il est en lien :

- (d) La définition du problème et l'objectif du chercheur, en termes de fonds/flux, sont déduits de ce que l'auteur déclare dans l'article. Ces objectifs peuvent être exprimés explicitement ou faire référence à des articles théoriques, par exemple : *limiter la taille du métabolisme, relocaliser les flux, favoriser les performances économiques et limiter l'impact environnemental*.
- (e) Le type d'analyse ou d'outils fournis par le chercheur pour l'action est décrit. *Exemples : analyses de transitions, analyses critiques, analyses des parties prenantes, des données et des outils de gestion, etc.*
- (f) Les acteurs décrits comme agents potentiels de changement ainsi que ceux qui sont des partenaires avec lesquels les chercheurs collaborent sont identifiés. *Il s'agit notamment des dirigeants des pays, de la société civile, des autorités locales, des entreprises, des agriculteurs ainsi que de diverses parties prenantes*.

1.3. **Une approche relationnelle pour penser ensemble fins et moyens : caractérisation des écoles de pensée en fonction de leur rapport à la modernisation/terrestrialisation**

De manière à penser ensemble les fins (quels fonds souhaite-t-on maintenir ?) et les moyens (les fonds que l'on décrit représentent autant de pistes d'action, ou de leviers possibles pour la transformation du métabolisme), je choisis ici un axe d'analyse : l'axe modernisation /terrestrialisation, défini par Bruno Latour [25]. Le Tableau 3 offre une représentation synthétique des oppositions entre modernisation et terrestrialisation, comme deux modes de représentation et d'action sur le métabolisme socio-économique. C'est cet axe Modernisation-Terrestrialisation qui me permettra ensuite d'analyser les différents groupes.

		3- Approche relationnelle	
		Modernisation	**Terrestrialisation**
	Ontologie	*Naturaliste (opposition Nature/culture)*	*Hybridité (continuum de différentes entités)*
1- Une réalité faite de flux et de fonds	*Processus représenté*	*Système de production*	*Système d'engendrement*
(a)	Flux	Ressources naturelles et économiques (notamment BR) quantifiées	Humains et non-humains (localement décrits comme changeants et l'objet d'actions)
(b)	Fonds	Humains (dont organisations sociales, décrits comme uniques entités agissantes)	Humains et non-humains (localement décrits comme actifs et durables)
(c)	Echelles et niveaux	Vues en termes d'échelles : opposition Local/Global	Vues en termes de niveau d'intrication : Terrestre/Hors-sol
2- Situations problématiques			
(d)	Problème et Objectif	Prédéfini, normatif	Indéfini, procédural
		Rationalisation, Globalisation, guidée par l'idée de progrès	Sensibilité aux interdépendances
(e)	Analyses et Outils	Techniques, mécaniques	Ecologiques, sociaux
(f)	Acteurs	Globaux	Locaux

[25] La notion de terrestrialisation développée par Bruno Latour est présentée dans le *Chapitre II, page 30*.

Tableau 3 - Présentation de l'application de l'axe modernisation/ terrestrialisation comme grille d'analyse pour différentier les écoles de pensée

VI.2. Huit écoles de pensées qui proposent des représentations du métabolisme socio-économique et des programmes d'écologisation différents

Mon travail bibliographique m'a permis d'identifier 8 écoles de pensées, qui s'inscrivent dans trois types de représentation différents : les représentations centrées sur les agents économiques, celles basées sur l'espace, ainsi que les représentations multi-facettes et composites.

Ce travail bibliographique nous montre que les écoles de pensées sont aussi des écoles pour l'action. En termes de représentation, chacune d'elles ouvre une "*boite noire*" différente et se focalise uniquement sur une partie du système. Les représentations focalisées sur certaines échelles ou acteurs favorisent certains modèles agricoles au détriment d'autres. Ces différentes écoles de pensées divergent dans leur rapport à la modernité. Si toutes cherchent à répondre à ses conséquences pratiques (pollutions, inégalités, etc.), toutes ne questionnement pas de la même manière la modernité dans ses modes de représentation (voir Figure 6) :

- Les représentations centrées sur des agents économiques, qui s'inscrivent largement dans la continuité de la modernisation, notamment par leur vision utilitariste des ressources et le rôle central accordé aux agents économiques au détriment du reste du vivant.
- Les représentations centrées sur des espaces compartiments et espaces pas exclusivement économiques, qui questionnent la modernisation en termes d'objectifs, en intégrant des considérations sociales ou écologiques, mais s'inscrivent largement dans sa continuité en ce qui concerne les modes de représentation.
- Les représentations multi-facettes et composites qui questionnent plus profondément les représentations et modes d'action propres à la modernisation. Elles s'inscrivent dans une perspective de terrestrialisation.

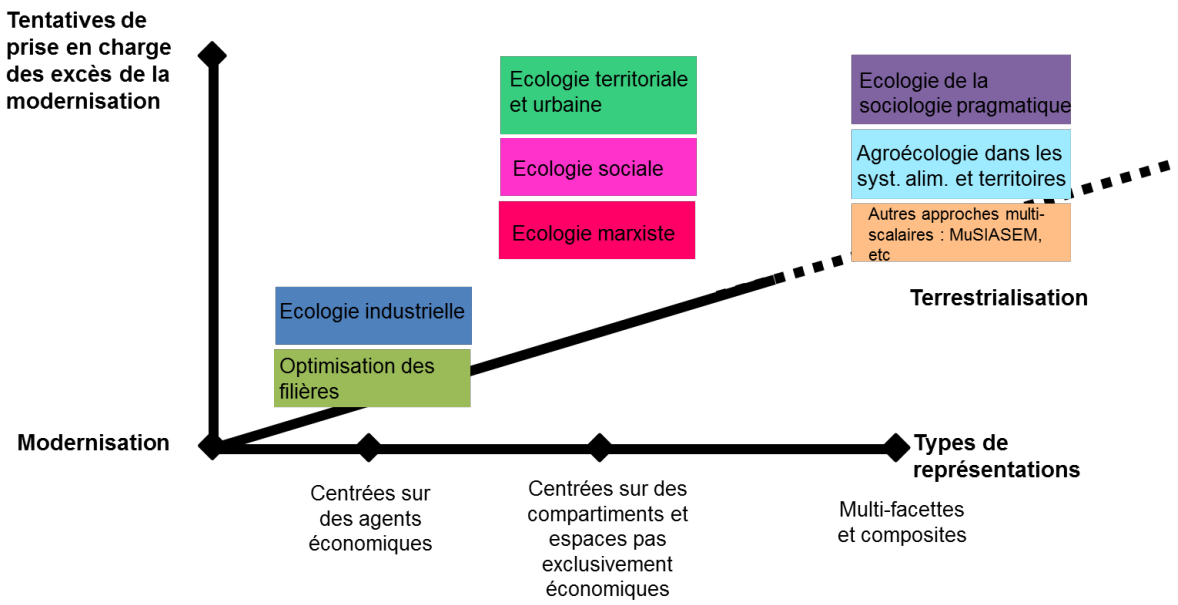


Figure 6 - Schéma récapitulatif des dispositions des différentes écoles de pensées en fonction de

leurs modes de représentation du métabolisme socio-économique et de leur positionnement sur l'axe modernisation/terrestrialisation

2.1. **Les représentations centrées sur les agents économiques contribuent à un projet de modernisation écologique**

2.1.1. **Deux écoles distinctes : l'analyse et l'optimisation des filières et l'écologie industrielle**

Les articles de ce type de représentation décrivent le métabolisme en termes de flux de matières entre les différents agents économiques. On distingue deux formes idéales : (1) une représentation linéaire, la chaîne d'approvisionnement sur laquelle les acteurs sont répartis en fonction de leur place dans le processus de production (« *du berceau à la tombe*[26] », ou de l'extraction des ressources à la gestion des déchets) et (2) le cercle parfait dans lequel tout déchets représente une ressource : la symbiose industrielle *(« du berceau au berceau »*).

L'analyse de l'optimisation des filières

Ces études portent sur les organisations impliquées dans la production d'un produit, de l'extraction des ressources à la livraison du produit fini au consommateur (ou au-delà). Elles adoptent un point de vue fonctionnel et distinguent les processus en fonction de leur rôle joué dans la chaîne comme par exemple la production, la transformation ou la distribution. Seuls les acteurs économiques, considérés à plusieurs échelles (des entreprises individuelles locales aux chaînes d'approvisionnement mondiales) sont pensés comme des fonds. L'étude des flux s'appuie sur l'analyse du cycle de vie (ACV) ou l'analyse des flux de matières (AFM).

L'objectif normatif consiste en l'optimisation d'un système de production. L'environnement et les écosystèmes sont pris en compte *a minima*, au travers de la notion d'externalité. En termes opérationnels, l'objectif est d'aider les agents économiques à limiter les impacts environnementaux (par exemple, l'extraction des ressources, les déchets, la pollution ou l'empreinte carbone), tout en maintenant ou en favorisant les performances économiques. Les résultats sont destinés à être discutés directement avec les décideurs, principalement les entreprises, mais aussi les associations commerciales ou sectorielles.

Par exemple, Kulak et al., (2016) ont analysé la chaîne d'approvisionnement du pain en utilisant une ACV pour générer des scénarios avec des experts lors d'un atelier de conception en collaboration, puis ont discuté des scénarios avec les agriculteurs sur la base d'une boucle de rétroaction. Blengini & Busto, (2009) ont examiné les impacts environnementaux des systèmes alternatifs de production de riz utilisant l'ACV et ont proposé leurs résultats comme outil de communication entre les fournisseurs et leurs clients.

[26] L'expression "From cradle to grave", en opposition au "from cradle-to-cradle" représente une métaphore commune en écologie industrielle (Braungart et al., 2007).

L'écologie industrielle

L'écologie industrielle découle de l'analogie de Ayres & Ayres, (2002) entre les écosystèmes des sciences écologiques et de l'industrie. Les flux consistent en des produits ou substances, alors que les fonds représentent des agents économiques à différentes échelles. Ils peuvent représenter un agent individuel (Chance et al. 2018), une synergie entre deux installations (Zabaniotou et al., 2015), ou un grand réseau d'agriculteurs ou d'industries (Frone & Frone, 2017; Nowak et al., 2015).

L'objectif normatif de ces approches est de « *fermer la boucle* » des matériaux et des substances. Les écosystèmes naturels sont proposés comme modèles pour les activités industrielles : « *Notre système industriel se comporterait comme un écosystème, où les déchets d'une espèce sont une ressource pour une autre espèce. Les résultats d'une industrie [seraient] les intrants d'une autre, réduisant ainsi l'utilisation de matières premières et la pollution* » (Frosch & Gallopoulos, 1989). La vision paradigmatique des systèmes industriels durables se caractérise par des échanges physiques minimisés avec l'environnement (Wassenaar, 2015). Le système industriel parfait n'entretiendrait aucune relation avec le reste de l'écosystème, en ne prélevant aucune ressource dans la nature, ni ne produisant aucun déchet.

En termes opérationnels, les chercheurs travaillent régulièrement en étroite collaboration avec les entreprises et les opérateurs. Ils sont impliqués dans le choix des orientations de recherche et font l'objet d'une attention particulière en termes de traduction des résultats. L'optimisation de l'utilisation des ressources est souvent considérée comme synergique avec la performance économique (ou la rentabilité). Les chercheurs cherchent à fournir des données ou des outils qui permettent aux entreprises de mieux gérer les interactions au sein de leur écosystème économique.

2.1.2. **Des écoles qui s'inscrivent largement dans la continuité de la modernisation**

L'écologie industrielle (EI), comme l'analyse et l'optimisation des filières s'inscrit dans la continuité de la modernisation en termes de représentation. Le terme de « *modernisation* » est même parfois explicitement mentionné : L'EI est considérée comme partie prenante d'une « *modernisation écologique* » (Huber, 2000). Le métabolisme y est représenté sous la forme de flux de ressources matérielles, alors que seuls les humains (et particulièrement les entreprises) sont considérés comme des fonds. Toutes deux font référence de manière appuyée à la chimie, notamment aux flux de substances, et à leur quantification. En termes d'échelles, l'opposition local/global est largement présente. Si les représentations globales ou à grande échelle restent très présentes, en particulier dans l'analyse des filières, le « *retour* » au local prend une place de plus en plus importante dans les études d'EI.

En termes d'objectifs d'action, les notions de rationalisation, d'optimisation ou de bouclage des flux sont souvent invoquées. On retrouve assez clairement le dualisme nature/culture : l'objectif est souvent de limiter les liens entre le système de production (humain) et l'environnement naturel, que cela soit en termes d'extraction de ressources, de pollutions. Les acteurs économiques et notamment les entreprises industrielles sont considérées comme les acteurs les plus importants.

2.2. Les représentations centrées sur des espaces compartiments pas exclusivement économiques : des tentatives de prise en charge des excès de la modernisation

2.2.1. Trois écoles distinctes : les écologies sociale, marxiste, territoriale et urbaine

L'écologie sociale

Dans cette école de pensée, les articles sont généralement des descriptions approfondies des changements métaboliques et des études dynamiques, prenant en compte l'évolution des systèmes agricoles. Ils se concentrent sur des espaces à grande échelle comme les pays ou les régions, et les relient à de vastes analyses historiques telles que les transitions socio-écologiques à long terme. Les flux représentent les matériaux (par exemple, la production de biomasse et l'appropriation de la production primaire nette d'un pays (Kohlheb & Krausmann, 2009)), l'énergie (par exemple, le compte systémique du budget carbone d'une nation, comprenant les flux de carbone socio-économiques ainsi qu'écologiques dans une série chronologique historique (Cusso et al., 2006; Erb, 2012)). Ces représentations en « *boîte noire* » ne décrivent pas les agents ou les fonds en tant que tels (dir. Frankova, 2017). Les populations humaines et non humaines, comme le bétail, les infrastructures ou l'utilisation des terres sont considérées comme des stocks (Fischer-Kowalski & Rotmans, 2009).

En termes d'objectif normatif, les chercheurs visent la durabilité de l'utilisation des ressources ou la résilience des sociétés. Ils s'intéressent à la taille du métabolisme et, plus ou moins explicitement, cherchent à réduire sa taille à un niveau durable. En termes opérationnel, les chercheurs ne donnent aucune indication sur ce qui devrait être fait comme par exemple sur la manière dont la gouvernance mondiale des flux pourrait être mise en œuvre dans le monde réel.

L'écologie marxiste

Ces articles explorent une série de thèmes liés au métabolisme inspirés des théories de Marx. L'accent est mis sur les mêmes échelles que celles de l'écologie sociale comme par exemple, les stocks et les flux de matières agricoles dans une région donnée, ou des transformations à long terme, bien que l'analyse quantitative des flux soit souvent plus succincte. Ce qui pourrait agir sur le métabolisme et, par conséquent, sur le système capitaliste, est rarement décrit. Les descriptions marxistes du métabolisme sont, selon Georgescu-Roegen (1971), du type stocks et flux. La capacité des agents individuels à agir dans le système n'est pas centrale, les individus y sont rarement décrits comme des fonds (Gunderson, 2011). Pour analyser les flux, les auteurs s'appuient explicitement sur des concepts marxistes tels que le rift métabolique. Ce concept fait référence à la rupture entre l'humanité et la nature et, dans une moindre mesure, entre la ville et la campagne (Foster, 2000; Moore, 2011).

L'objectif normatif revendiqué est de changer le système vers plus de justice sociale ou environnementale. Pour proposer une alternative et soutenir leurs arguments, plusieurs auteurs s'appuient sur des comparaisons avec des économies non capitalistes, par exemple Cuba (Clausen et al., 2015). En termes opérationnels, les chercheurs proposent des

analyses critiques, visant à générer une opposition sociale. La question du métabolisme social est associée aux luttes pour la justice environnementale portées par la société civile (Martinez-Alier et al., 2010).

L'écologie territoriale et urbaine

L'écologie urbaine et territoriale décrit les flux à l'échelle locale tels que les territoires ou les villes. Barles et al. (2007) analysent l'interaction métabolique entre Paris et la Seine à l'époque industrielle. À ces échelles, les autorités locales, les agents économiques, les populations et les êtres vivants sont décrits comme des agents actifs et des fonds. Cela donne lieu à des analyses des acteurs parfois inscrites dans un contexte historique plus large. Les institutions et structures politiques à l'échelle de la ville ou d'un territoire représentent de véritables fonds, stables, durables et agissants. D'autres niveaux sont également décrits : les niveaux inférieurs (entreprises individuelles, société civile), ou les niveaux supérieurs (changements dans le paysage technologique ou économique, planification par l'État). Dans un ouvrage collectif, Buclet et al. (2015) décrivent différents sous-systèmes au sein d'un territoire (système agroalimentaire, système de création de richesse, etc.) et en expliquent les dynamiques à la lumière de facteurs globaux et locaux.

L'objectif normatif est de produire des analyses et des représentations à l'échelle des acteurs locaux afin de parvenir à un développement durable du territoire, qui passe par une prise en compte des enjeux économiques, sociaux, et environnementaux. Cette transformation peut passer par exemple par la relocalisation des flux, le développement de systèmes alimentaires territorialisés (SAT), ou l'intérêt porté pour le champ de l'économie sociale et solidaire (ESS). Les termes et concepts utilisés sont souvent très proches de ceux utilisés par les agents administratifs, ce qui facilite les échanges.

2.2.2. **Des écoles de pensée qui questionnent partiellement la modernisation, sans remettre en cause ses fondements**

Les écologies sociale, marxiste ou territoriale et urbaine ont une position ambigüe par rapport à la modernisation. Elles la questionnent assez largement en termes d'objectifs, mais beaucoup moins en matière de modes d'action ou de représentations.

Les flux représentent une circulation de ressources matérielles ou de substances, dans une référence marquée à la chimie et aux sciences biophysiques. Ces flux circulent entre des espaces administratifs ou des compartiments biophysiques. On observe à ce titre une séparation assez nette entre ce qui relève du domaine de la nature (l'environnement naturel, les cycles naturels) et le domaine de la culture (la société, les échanges économiques) qui sont traités de manière distincte. Les écologies sociale et marxiste accordent une grande importance aux représentations globales, à l'échelle de la planète, des continents ou des pays. La descente d'échelle et notamment la recherche d'un retour à l'échelon local représente aujourd'hui une tendance forte, notamment dans le cadre de l'écologie territoriale et urbaine.

En termes d'action, les objectifs d'optimisation et de rationalisation restent centraux, même s'ils sont souvent complétés par d'autres objectifs sociaux, de justice sociale, etc. Les

acteurs considérés sont essentiellement des acteurs humains, mais à la différence des représentations centrées sur les agents économiques, une diversité d'acteurs individuels et institutionnels sont évoqués : la société civile notamment.

2.3. **Des représentations multi-facettes et composites qui contribuent à une écologisation terrestre**

2.3.1. **Trois écoles : l'analyse multi-échelles des agroécosystèmes, l'agroécologie et la sociologie pragmatique**

Je présente ces représentations "*atypiques*" du métabolisme multi-facettes et composites à travers trois exemples : (1) l'analyse multi-échelles des agroécosystèmes ; (2) l'agroécologie au sein des systèmes alimentaires et des paysages ; et (3) la sociologie pragmatique et l'écologie terrestre.

L'analyse multi-échelles des agroécosystèmes

Ce cadre est plus largement appelé Analyse intégrée à plusieurs échelles du métabolisme de la société et des écosystèmes (MuSIASEM). Il fournit une analyse des agroécosystèmes en matière de flux matériels et énergétiques ainsi que des fonds biophysiques et socio-économiques. Il offre également des outils théoriques et opérationnels pour la caractérisation des performances des activités socio-économiques à de multiples niveaux hiérarchiques (Giampietro et al., 2009). Par exemple, Serrano-Tovar & Giampietro, (2014) caractérisent les activités socio-économiques par une série d'indicateurs quantitatifs à différentes échelles (processus individuel, ménage, communauté), où la main-d'œuvre humaine et la terre sont représentées sous forme de fonds, tandis que les flux sont à la fois matériels et économiques.

L'objectif principal est l'évaluation des performances techniques et une meilleure prise en compte des contraintes biophysiques à la base de l'activité économique. La durabilité est évaluée en termes de viabilité (ressources utilisées et déchets produits à des taux compatibles avec ceux de l'environnement biophysique), la faisabilité (main-d'œuvre humaine disponible) et la désirabilité. L'objectif normatif est de préserver les fonds économiques et écologiques qui assurent le fonctionnement du métabolisme. En ce sens, MuSIASEM est en continuité directe avec les approches de Georgescu-Roegen.

Lorsqu'ils traitent de l'action, les articles théoriques de MuSIASEM font souvent référence aux sciences post-normales. Les sciences post-normales rassemblent une communauté de chercheurs qui développent une méthode qui se veut une réponse aux situations dans lesquelles « *les faits [sont] incertains, les valeurs contestées, les enjeux élevés et les décisions urgentes* » Funtowicz & Ravetz, (1995). Les questions liées au métabolisme socio-économique rentrent souvent dans ce cadre. Les chercheurs sont ainsi amenés à devoir partager les incertitudes de leurs résultats avec leurs partenaires, à reconnaitre l'existence de multiples valeurs, et donc de multiples représentations mutuellement irréductibles les unes aux autres et néanmoins pertinentes.

L'agroécologie à l'échelle des systèmes alimentaires et des territoires

L'agroécologie est « *l'étude intégrative de l'écologie de l'ensemble du système alimentaire* » (Francis et al., 2003). Elle met l'accent sur l'interdépendance de toutes les composantes des agroécosystèmes et sur la dynamique complexe des processus écologiques (Altieri, 2002) :

les analyses agronomiques et écologiques sont combinées avec des aspects sociaux ou culturels. Les processus métaboliques font l'objet d'une attention particulière (González de Molina & Guzmán Casado, 2017). Ces processus comprennent le cycle des nutriments, les interactions entre la culture et l'élevage (Bonaudo et al., 2014; Martin et al., 2016) et les flux de matières dans les systèmes alimentaires (Francis et al., 2003; Vaarst et al., 2018). Alors qu'elles étaient traditionnellement centrées sur l'échelle de l'exploitation et de la parcelle, les approches à l'échelle du paysage, de la communauté et à plusieurs échelles, font l'objet d'une attention croissante.

En termes d'objectifs normatifs, les chercheurs visent un système agricole plus durable, basé sur une forte dépendance aux processus ou services écologiques ainsi qu'à la justice sociale. La science et l'action sont alors considérées ensemble. L'agroécologie fournit les principes écologiques de base pour l'étude, la conception et la gestion des agroécosystèmes (Altieri, 2002), c'est à la fois une science, une pratique agricole et un mouvement politique (Wezel et al., 2009). En termes opérationnels, l'action est envisagée au sens large et implique la société civile, les ONG, les universitaires, les autorités locales, etc. Les agriculteurs sont intégrés à la construction des connaissances dans le cadre d'une recherche-action participative (Guzman & Gonzalez De Molina, 2015). Par exemple, Moraine et al., (2017) proposent un cadre pour réaliser une évaluation intégrée des systèmes de culture et d'élevage au niveau territorial, en combinant les systèmes écologiques (cultures, prairies et animaux) et sociaux (interactions entre les agriculteurs et les acteurs de la chaîne). Ce cadre est utilisé comme un objet intermédiaire avec les parties prenantes dans les approches de conception participative.

L'écologie de la sociologie pragmatique

La sociologie pragmatique présente une très grande diversité de courants, de nuances, inspirées de l'ethnométhodologie, de l'anthropologie de l'environnement, de l'étude des sciences et techniques. Elle ne présente pas un paysage unifié et elle est régulièrement présentée comme un « *style* » ou « *une manière de* » pratiquer la sociologie plutôt qu'une école de pensée à proprement parler. De manière générale, ces approches accordent une grande importance au discours des acteurs, qui constituent souvent le matériau de base de leurs études.

La sociologie pragmatique rassemble des approches constructivistes qui incluent des cadres tels que la théorie de l'acteur-réseau développée par Bruno Latour (2006) [27] ou les économies de la grandeur de Boltanski et Thévenot (1991)[28], deux théories « jumelles »

[27] La théorie de l'acteur-réseau est aussi connue sous le nom de sociologie de l'acteur-réseau, sociologie de la traduction ou ANT (*Actor-Network Theory*). Il s'agit d'une approche sociologique développée à partir des années 1980 par Michel Callon, Bruno Latour, Madeleine Akrich et d'autres chercheurs du Centre de sociologie de l'innovation de Mines ParisTech. Cette approche se distingue des théories sociologiques classiques parce qu'elle prend en compte dans son analyse, au-delà des humains, les objets (« *non-humains* ») et les discours. Ces derniers sont également considérés comme des « *acteurs* » ou des « *actants* ».

[28] Les économies de la grandeur ou économie des conventions représente à la fois un courant hétérodoxe de l'économie (la théorie des conventions), et une partie de la sociologie pragmatique. Ce programme de recherches soutient que l'on ne peut pas se coordonner sans se faire une idée du collectif que l'on forme avec l'autre. Il a été développé en France notamment sous l'impulsion de Luc Boltanski et de Laurent Thévenot. Dans *De la Justification* (1991) les auteurs avancent

(Guggenheim & Potthast, 2012), qui pensent le changement social en intégrant les objets, et qui abordent de manière symétrique le social et le matériel.

Dans le cadre des systèmes agricoles, les études d'inspiration pragmatique mettent l'accent sur l'hybridité et le rôle des associations hétérogènes dans les réseaux complexes (Goodman 2001), et cherchent à comprendre ce qui se passe dans le processus de construction et de stabilisation des réseaux composées de multiples agents actifs, humains et non-humains (Callon, 1990). Les chercheurs suivent les acteurs dans les situations qu'ils rencontrent et fournissent des descriptions qualitatives des liens. Dans les études agro-alimentaires, cela implique de relier les flux de matières à des dispositifs techniques et idéels. Wegerif & Hebinck, (2016) utilisent une approche ethnométhodologique pour suivre les agents impliqués dans la chaîne alimentaire d'une ville, et retracer les interactions entre eux, en mettant en évidence les transformations des aliments, des personnes et des idées tout au long du processus[29]. Plumecocq et al. (2018) en s'appuyant sur les économies de la grandeur décrivent les liens entre la pluralité des valeurs et le fonctionnement matériels des systèmes agricoles, décrits en fonction de leur dépendance à des flux d'intrants extérieurs ainsi que leur inclusion dans des filières globalisées.

En termes d'action, la sociologie pragmatique est porteuse d'un programme d'écologisation pluriel, avec comme point commun de relier les faits matériels et les valeurs.

- Dans le sillage des travaux sur l'acteur-réseau, Latour a développé une vision de l'écologisation[30], qui consiste à prendre en compte du vivant en intégrant humains et non-humains de manière symétrique et en tenant compte des multiples capacités d'agir et valeurs associées au vivant. L'écologisation consiste à cultiver des attachements avec le reste du vivant dans des systèmes d'engendrement plutôt que des systèmes de production.
- Dans les économies de la grandeur, l'écologisation est vue soit sous l'angle de l'émergence d'une nouvelle valeur écologique, soit comme un compromis entre une multiplicité des valeurs préexistantes, qui contribuent à donner une place aux vivants dans les échanges et la coordination entre les hommes[31].

Dans le champ de l'agriculture ces cadres sont mobilisés par des chercheurs pour faire ressortir différentes visions du métabolisme durable (Onyas et al., 2018), de sa résilience (Wegerif & Hebinck, 2016) ou de ses transformations futures (Kristensen & Kjeldsen, 2016).

2.3.2. **Des pistes de terrestrialisation qui réinterrogent plus profondément la modernisation et ses représentations**

Les écoles de pensées de cette catégorie interrogent plus largement les modes de

---

qu'un nombre limité de valeurs sont mobilisées par les acteurs pour se coordonner : la valeur industrielle, marchande, civique, domestique, inspirée et l'opinion. Ces aspects sont développés dans le chapitre VIII. page100.

[29] Le flux n'est pas seulement un flux, selon les termes de Georgescu-Roegen (1971), mais aussi un véritable agent, qui transforme activement les autres agents autour de lui.

[30] La notion de terrestre a déjà été introduite dans le chapitre II, page 30.

[31] Différentes propositions concurrentes coexistent : voir à ce sujet les développements dans le chapitre VIII. page 232.

représentation et d'action propres à la modernisation.

Les flux et fonds décrits présentent une hybridité entre entités naturelles et culturelles. C'est ainsi que l'agroécologie applique une description écologique à la fois à l'environnement naturel et aux systèmes agricoles. En sociologie pragmatique, ce sont l'ensemble des humains et non-humains qui sont conjointement décrits. La question du local/global, et plus largement la question d'un focus sur une échelle préférentielle n'est pas centrale parmi ces écoles. En agroécologie, ce sont de multiples échelles fonctionnelles (parcelle, exploitation, food system) et leurs intrications, qui sont discutées. Dans l'approche MuSIASEM, la question du dépassement des échelles, est centrale, et les analyses cherchent souvent à représenter conjointement plusieurs niveaux hiérarchiques et leurs liens. La question des échelles est quant à elle largement éclipsée par la sociologie pragmatique.

En termes d'action, ce sont des objectifs moins normatifs et procéduraux qui sont avancés. La sociologie pragmatique donne une place importante au discours des acteurs et à la diversité de leurs représentations et de leurs objectifs. MuSIASEM donne une place importante à la discussion sur l'incertitude des résultats ainsi que sur les multiples valeurs des acteurs, dans le cadre d'une approche de science-normale. En agroécologie, une place importante est accordée aux représentations et objectifs propres des acteurs, et en particulier des paysans.

Conclusion : analyser le métabolisme des biomasses résiduaires par la mise en dialogue de deux programmes opposés : l'écologie industrielle (EI) au service d'une modernisation écologique, et les économies de la grandeur (EG) au service d'une écologisation terrestre

Au cours des parties précédentes, la description des évolutions du rôle des BR en agriculture, ainsi que les critiques de la poursuite de la modernisation ont abouti au constat que la question du pluralisme était centrale pour la prise en charge du métabolisme des BR *(Partie 1).* Le paradigme scientifique bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen, ainsi que le pragmatisme du philosophe William James m'ont paru intéressant pour prendre en charge la question du pluralisme. Je les ai mobilisés pour former un cadre d'analyse, les réseaux métaboliques (RM), qui s'appuie sur trois dimensions complémentaires : la représentation du métabolisme comme une réalité faite de flux et de fonds, la caractérisation de la diversité des situations problématiques décrites par chaque représentation, et enfin ; l'adoption d'une approche relationnelle, permettant de penser conjointement représentation et action *(Partie 2).*

Dans cette partie, j'ai utilisé ce cadre d'analyse afin de cartographier la diversité des écoles de pensée quant aux modes de représentation du métabolisme des systèmes agricoles et alimentaires choisis par les chercheurs, mais aussi quant à leur rapport à l'action. J'ai identifié huit écoles de pensée. Certaines de ces écoles s'inscrivent dans la continuité de la modernisation (*l'analyse de l'optimisation des filières et des cycles de vie des produits; l'écologie industrielle).* D'autres écoles représentent des tentatives de prise en charge des excès de la modernisation (*l'écologie sociale; marxiste ; territoriale et urbaine)*. Enfin, certaines écoles de pensée invitent à une remise en cause plus radicale des représentations modernes, et indiquent le chemin d'une écologisation terrestre (*l'analyse multi-échelle des agroécosystèmes; l'agroécologie à l'échelle des systèmes alimentaires et des territoires ; l'écologie de la sociologie pragmatique)*. Elles représentent un projet de modernisation écologique amendé de considérations sociales, écologiques et politiques *(Chapitre VI)*.

Plutôt que d'adopter une approche « *médiane* » comme l'écologie industrielle et territoriale, j'ai fait le choix de développer deux écoles qui mettent en tension modernisation et terrestrialisation, renvoyant à deux façons contrastées d'appréhender l'écologisation de la gestion des BR. A ce titre, je propose de développer deux essais :

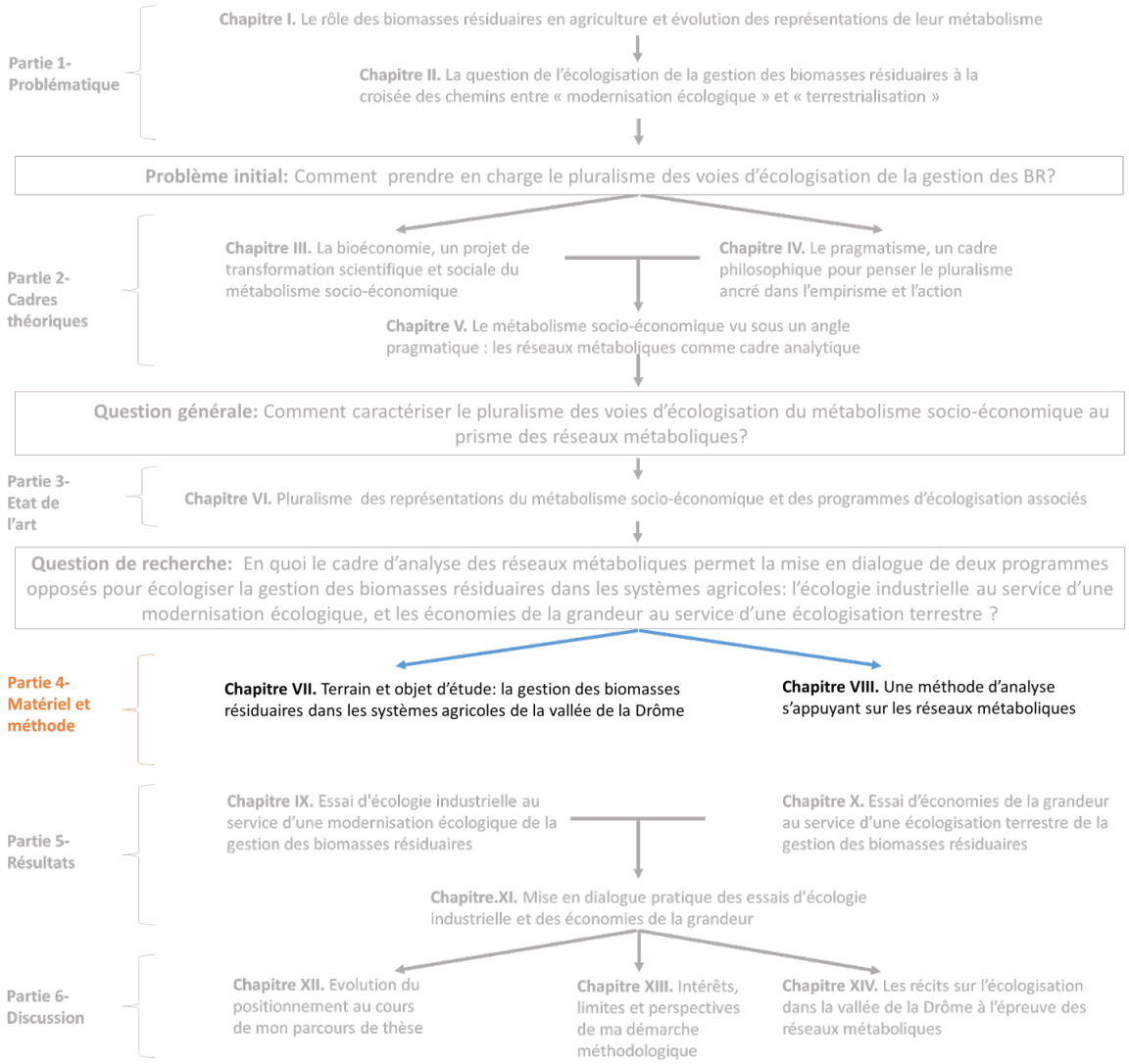
- Un essai d'écologie industrielle (EI), vu comme au service d'une modernisation écologique, et qui propose une analyse de flux de matières à l'échelle du territoire, et qui vise au bouclage des flux.
- Un essai d'économies de la grandeur (EG), au service d'une écologisation terrestre, qui analyse des discours des agriculteurs, et qui vise à cultiver des attachements avec le reste du vivant.

Ma question de recherche est ainsi reformulée : **en quoi le cadre d'analyse des réseaux métaboliques permet la mise en dialogue de deux programmes opposés pour écologiser la gestion des biomasses résiduaires dans les systèmes agricoles : l'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique, et les économies de**

la grandeur au service d’une écologisation terrestre ?

PARTIE 4. MATERIEL ET METHODES

Dans cette partie, je présente le cadre méthodologique de mon étude de terrain. Introduites par une brève présentation du terrain d'étude et de la récolte de données, les méthodes sont présentées pour chaque cadre analytique développé : l'écologie industrielle (EI) au service d'une modernisation écologique, et les économies de la grandeur (EG) au service d'une écologisation terrestre.



Chapitre.VII. Terrain et objet d'étude : la gestion des biomasses résiduaires dans les systèmes agricoles de la vallée de la Drôme

VII.1. **La vallée de la Drôme comme terrain d'étude**

1.1. **Un territoire rural : contexte spatial et administratif**

La vallée de la Drôme est un territoire rural de 2200 km² et de 54000 habitants, situé dans la région Rhône-Alpes et, plus spécifiquement, dans le département de la Drôme. La vallée de la Drôme suit le cours de la rivière Drôme, depuis sa source dans les Préalpes du Sud jusqu'à sa confluence avec le Rhône. Le point le plus bas est situé à 90 mètres d'altitude et le plus haut à 2040 mètres d'altitude (Girard, 2012). La Figure 7 présente le relief de la vallée de la Drôme.

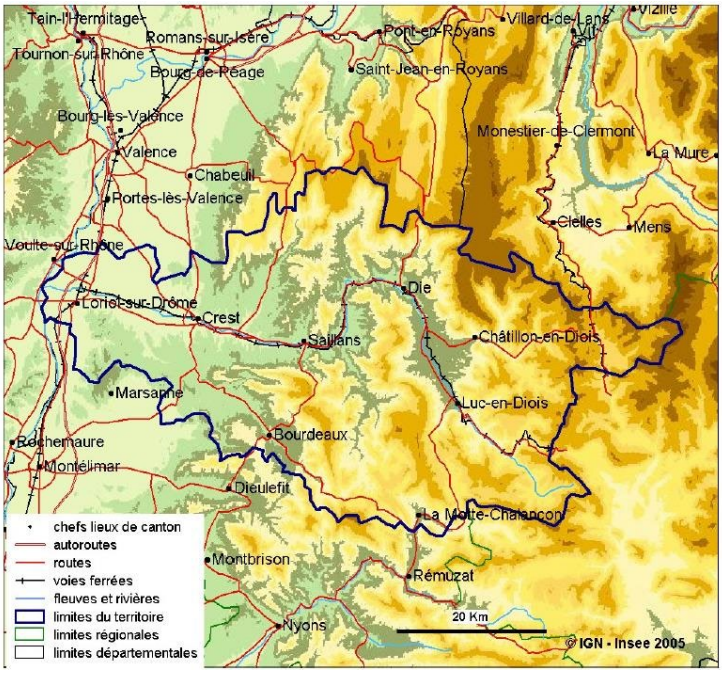


Figure 7 - Relief de la vallée de la Drôme (Données IGN).

Le territoire regroupe aujourd'hui trois communautés de communes : la Communauté de Commune du Val de Drôme en Biovallée (CCVDEB), la Communauté de Commune du Crétois et Pays de Saillans (3CPS) ainsi que la Communauté de Commune du Diois (CCD). La vallée de la Drôme, et notamment le Diois, présentent un paysage caractéristique, attirant chaque année des milliers de touristes. La Figure 8 présente la répartition spatiale des trois communautés de communes.

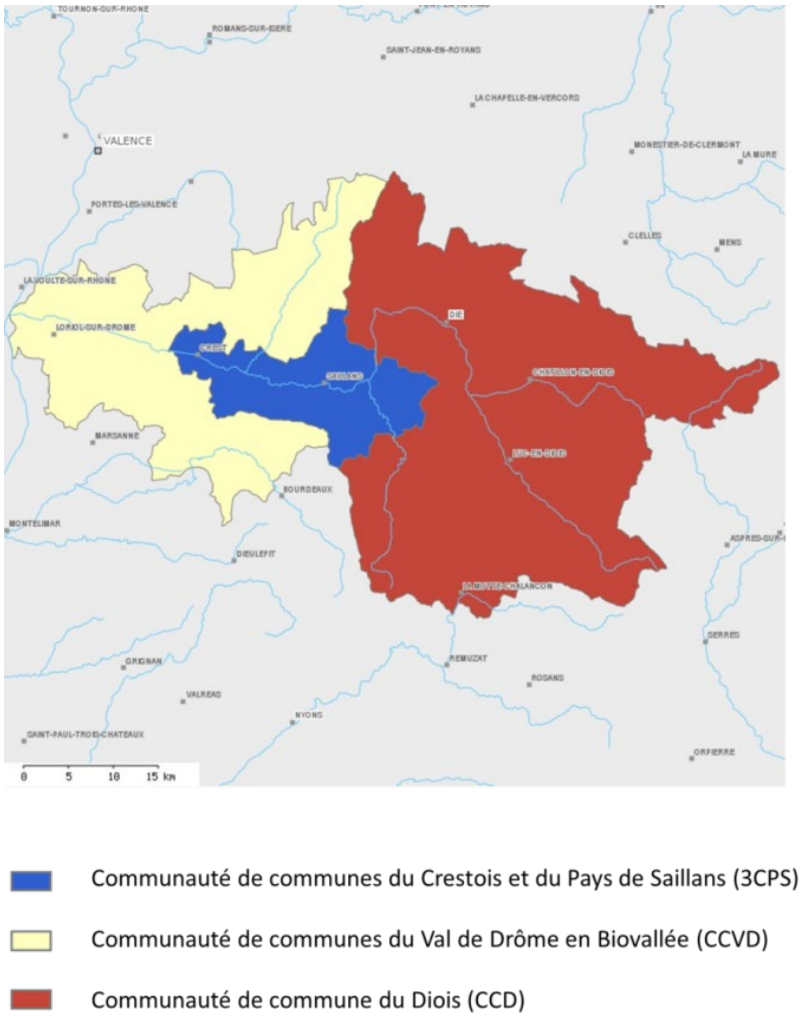


Figure 8 - Répartition spatiale des trois communautés de commune de la vallée de la Drôme (2019).

1.2. **Un territoire au métabolisme agricole diversifié**

Il s'agit d'un espace majoritairement rural, ou le secteur agricole jour un rôle non négligeable : il compte 30% des emplois, dont 11% d'actifs agricoles[32]. Les disparités topographiques et la diversité dessinent des paysages agricoles très diversifiés, comme le glorifient les élus locaux lorsqu'ils présentent la vallée : « *tout pousse dans la vallée de la Drôme »* (Bui, 2015).

Le territoire recèle des productions labellisées à forte valeur ajoutée (picodons, clairette de Die, ail, pintadeaux, etc...), dont de multiples produits sous appellation (AOC et IGP). Les exploitations sont majoritairement de petite taille (moyenne inférieure à 50 ha) et 30% d'entre elles sont en agriculture biologique[33].

La production se répartit schématiquement en différents secteurs, le long de la rivière Drôme. Dans le secteur le plus en amont, dans le Diois et jusqu'à la ville de Saillans, le vin, et en

[32] Voir le dossier de candidature de la Biovallée au TIGA 2019.
[33] Données issues du recensement agricole 2010.

particulier la Clairette, joue un rôle structurant. L'élevage, notamment ovin et caprin, y est en perte de vitesse. La production biologique y est importante. Les exploitations agricoles, souvent de petite taille pour celles qui n'incluent pas de parcours pastoraux, sont très diversifiées et associent souvent les productions viticoles et grandes cultures, complétées parfois de plantes aromatiques et à parfum (PPAM) ou d'élevage.

Dans la Communauté de Commune du Val de Drôme (CCVD), des terres fertiles ainsi que la possibilité d'irriguer favorisent une agriculture céréalière, ainsi que des productions spécifiques à haute valeur ajoutée telles que les cultures d'ail ou semencières. Le territoire est ainsi le premier producteur d'ail semence de France. Des zones plus montagneuses, accueillant des élevages caprins et ovins, ainsi que les Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (PPAM) encadrent au Sud et au Nord ce cœur de vallée. Cette zone regroupe l'essentiel de la population de la vallée. Le long du Rhône, l'arboriculture est majoritaire. Elle est focalisée sur la culture de fruits à noyaux (abricots, pêches) ainsi que la culture de noix de Grenoble (IGP).

1.3. **Un territoire de projets : la démarche « *Biovallée* »**

Depuis 25 ans les trois communautés de communes sont engagées, de manière plus ou moins coordonnées, dans des démarches de développement local avec pour enjeu de renforcer la qualité de vie et l'attractivité du territoire, l'emploi et les pratiques durables, ainsi qu'une identité d'éco-territoire (Madelrieux et al., 2018).

Cette dynamique prend naissance autour de la réhabilitation de la rivière Drôme, alors fortement polluée et impropre à la baignade. En 1997, la vallée de la Drôme accueille le premier Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Poursuivant cette démarche de coopération, les intercommunalités créent la marque déposée, « *Biovallée* », pour servir de catalyseur au territoire et symboliser un processus de développement dans une perspective écologique. Cette dynamique amène les collectivités, sous le terme de « *Biovallée »*, à conduire un contrat Pôle d'Excellence Rural[34] avec l'Etat, entre 2004 et 2007 (Girard, 2012).

La Biovallée prend une dimension nouvelle à l'occasion d'un appel à projet porté par la région Rhône-Alpes en 2010 : les Grands Projets Rhône-Alpes (GPRA). Lauréates, les communautés de communes de la vallée de la Drôme ont reçu une dotation de 10 millions d'euros pour leur démarche commune « *Biovallée »*. Cela se traduit entre autres par des réflexions globales sur les liens entre agriculture, alimentation, environnement et énergie, une forte dynamique de la vente directe et des circuits courts, qui se traduisent en des projets portés par le secteur privé et le secteur public.

[34] Les pôles d'excellence rurale (connus sous l'acronyme de PER) sont, en France, des projets favorisant le développement des territoires ruraux qui reçoivent à ce titre un financement partiel de la part de l'État. Le label Pôle d'excellence rurale est attribué à un projet de développement économique situé sur un territoire rural et fondé sur un partenariat entre des collectivités locales et des entreprises privées.

En 2014, le projet « Biovallée » prend fin et, si la coopération entre les différentes collectivités s'est distendue, la Biovallée a perduré en tant que marque commerciale, portée par une association à but non lucratif. La démarche Biovallée connait depuis un second souffle, en tant que lauréate de l'appel à projet Territoire d'Innovation à Grande Ambition (TIGA) 2019 émanant du gouvernement. La Biovallée représente aujourd'hui un territoire de projets pour de nombreux acteurs institutionnels et elle est actuellement le territoire rural français le plus récompensé par des appels à projets publics. Elle est aussi l'un des plus étudié, attirant des équipes de recherches nationales (INRAE, UGA Pacte, ENS Lyon, Isara…)[35] et internationales, notamment en Belgique (l'Université Catholique de Louvain) ou en Suisse (le FiBL).

1.4. **Un terrain du projet BOAT**

Le terrain de la vallée de la Drôme est l'un des deux terrains d'étude du projet BOAT : « *Quelles formes de gestion et valorisation des différentes biomasses d'origine agricole à l'échelle de territoires : entre cloisonnement, concurrence ou intégration ? ».* Ce projet, financé par l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), dans le cadre de l'appel à projet GRAINE 2016, vise à interroger la gestion de la biomasse d'origine agricole (BOA) dans un cadre interdisciplinaire. La BOA fait référence à de la matière organique d'origine végétale ou animale (répondant ainsi à des lois biophysiques), mais produite par l'action de l'homme (répondant en outre à des comportements d'ordre socio-économique). Cet enchâssement du système socio-économique et de l'agroécosystème qui soutient l'existence de la BOA, appelle en retour un développement d'approches systémiques intégrées.

Le projet est porté par une équipe interdisciplinaire en sciences agronomiques, géographie et aménagement. L'originalité du projet BOAT repose sur l'ambition de développer des outils et méthodes permettant de donner corps à une approche métabolique, combinant une analyse des flux de matières et d'énergies et des jeux d'acteurs autour des modalités de gestion et de valorisation de la BOA, observant l'organisation des filières et de leurs relations, tout en évaluant les empreintes tant énergétique, qu'environnementale ou économique. Enfin, le projet propose une démarche prospective[36].

[35] Les instituts, laboratoire et universités représentés sont notamment : l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), l'Université Grenoble Alpes (UGA) et notamment le laboratoire Pacte, l'Ecole nationale supérieure (ENS) de Lyon, l'Institut supérieur d'agriculture Rhône-Alpes (Isara), ainsi que l'institut de recherche de l'agriculture biologique suisse (FiBL).

[36] Pour les détails, voir le rapport final du projet à l'ADEME (2020).

VII.2. **Récolte des données sur quatre niveaux différents : bases de données, experts, agriculteurs et action collective**

La récolte des données a été faite de quatre manières différentes :

1) Récupération de données existantes
2) Entretiens auprès d'experts : élus professionnels, acteurs des filières et du territoire
3) Entretiens auprès d'agriculteurs.
4) Suivi d'un projet collectif.

2.1. **Récupération de données existantes**

Je me suis, en premier lieu, appuyé sur des données préexistantes. Les informations sur la structuration et la production des filières agricoles ont été notamment récoltées via des bases de données nationales, mobilisées dans le cadre du projet BOAT (Grillot et al. 2021). Des rapports et documents de « *littérature grise* »[37] ont été récoltés au sein des archives de la CCVD ainsi qu'au travers de pages institutionnelles et de bibliothèques universitaires. Enfin, des informations complémentaires, sur les données de production de diverses entreprises ont été récoltées en ligne. En complément, des données génériques ont été collectées en vue de traitements informatiques, comme par exemple les listes des communes fournies par l'INSEE ou encore la géométrie spatiale de chaque commune. Le Tableau 4 à la page suivante illustre les types de données préexistantes qui ont été utilisées, et l'annexe 1.1 présente le détail et la liste exhaustive des documents mobilisés.

Enfin, des entretiens complémentaires, issu des travaux de stage de Victoire Barillet et de Pablo Duran-Doz, étudiants en fin d'étude, ont été exploités.

[37] Littérature grise ; « *ce qui est produit par toutes les instances du gouvernement, de l'enseignement et la recherche publique, du commerce et de l'industrie, sous un format papier ou numérique, et qui n'est pas contrôlé par l'édition commerciale* » (Source : https://www.cairn.info/revue-i2d-information-donnees-et-documents-2015-1-page-30.htm)

Type de sources	Producteurs de données	Informations récoltées	Source
Bases de données nationales	INSEE, MAAF, Agence Bio RA 2010, BDNI 2018, Agence Bio	Données quantitatives sur les surfaces et cheptels (Recensement agricole, BDNI, base SIREN)	Données publiques rassemblées dans le système d'information SI-BOAT, ou récupérées individuellement
Rapports et littérature grise	Services préfectoraux (Dossiers de demande d'autorisation préfectorale), bureaux d'études (études d'impact), étudiants (mémoires étudiants)	Données quantitatives sur les cheptels avicoles, sur les productions de déchets urbains et industriels	Archives de la CCVD, pages institutionnelles (Géorisques), bibliothèques universitaires
Autres documents	Communication en ligne, documents de travail internes	Production d'établissements, structuration des filières	Données en ligne

Tableau 4 - Présentation succincte des sources de données préexistantes mobilisées.

2.2. **Entretiens individuels : experts et agriculteurs**

2.2.1. **Entretiens exploratoires auprès d'élus professionnels, d'acteurs des filières et du territoire**

Durant mon travail de terrain, j'ai réalisé des entretiens auprès d'élus et d'acteurs des filières. Au total, j'ai pu effectuer 18 entretiens, semi-directifs, durant en moyenne entre 2 et 3 heures. Le choix des acteurs enquêtés a été guidé par une première vision de l'organisation des activités agricoles du territoire, obtenue par l'intermédiaire du conseiller technique agricole de la CCVD. Le Tableau 5 présente la répartition des enquêtes en fonction des types d'institutions.

Ces entretiens, de nature exploratoire, visaient à recueillir :

- une première caractérisation de différentes filières sous un angle métabolique, en interrogeant les acteurs sur leur connaissance des flux, des principaux acteurs, mais aussi en évaluant les « angles morts », autrement dit les aspects du métabolisme qui échappent à la connaissance des experts et élus ;
- une présentation des problèmes et enjeux rencontrés par les acteurs des filières considérés ;
- une expertise sur les dynamiques en cours (agrandissements, conversions, émergence de nouveaux acteurs, etc.) et les perspectives attendues pour les prochaines années.

En complément, j'ai assisté à plusieurs réunions, et salons en lien avec l'agriculture (Salon Agricole de la Vallée de la Drome en 2017, une réunion de présentation de l'animation des fonds LEADER en VDD, le salon Tech&Bio 2017). Ces rencontres m'ont permis de prendre des rendez-vous pour des entretiens *stricto sensu*, mais ont aussi contribué à ma compréhension des acteurs du territoire.

La liste détaillée des enquêtes effectuées figure en annexe 1.2.

Structures enquêtés		**Nombre d'entretiens**
Chambre d'agriculture	Elus et conseillers techniques	6
Collectivités locales	Salariés de communautés de commune (CCVD, 3CPS)	3
Secteur coopératif et privé	Responsables et conseillers techniques (Valsoleil, UCAB, Fermiers de l'Ardèche)	5
Acteurs associatifs	Salariés et élus associatifs (CUMA, Cap Rural, Syndicat Caprin)	4
TOTAL		**18**

Tableau 5 - Présentation synthétique des entretiens effectués auprès d'élus et d'acteurs de filières

2.2.2. **Enquêtes auprès d'agriculteurs**

J'ai réalisé 32 enquêtes auprès d'agriculteurs. Les personnes enquêtées ont été choisies afin de couvrir au maximum la diversité des pratiques des agriculteurs. Les premiers contacts ont été établis par les conseillers et élus interrogés. Le panel d'agriculteurs enquêtés a été élargi par « *boule de neige* »: chaque agriculteur se voyant demander à la fin de l'entretien s'il a connaissance d'un collègue aux pratiques différentes des siennes.

Un tableau de présentation sommaire des exploitations enquêtées figure en annexe 1.3.

Ces enquêtes prenaient également la forme d'entretiens semi-directifs, de 2h en moyenne. Pour chaque thème abordé, je commençais par une question ouverte. Celle-ci me permettait de saisir la représentation que se font les agriculteurs. Lorsque des silences apparaissaient, j'ai réalisé des relances invitant l'agriculteur à préciser ou à justifier ses pratiques. Cette méthode visait à ne pas influencer exagérément les réponses de l'enquêté, ce qui est un objectif de l'enquête non-directive (Duchesne, 2000). Dans un second temps, lorsque des données s'avéraient manquantes pour satisfaire les exigences de la représentation en écologie industrielle, j'ai pu poser des questions directives.

L'entretien se déroulait en 4 étapes successives :

- **I. Présentation générale** : Une première étape de rencontre mutuelle, de présentation de l'exploitation, ainsi que de ma démarche. Cette étape durait rarement plus de 10-15 minutes.

- **II. Comprendre les pratiques mobilisant des biomasses résiduaires** : Une seconde étape constituée de questions ouvertes, pouvant avoir une durée très variable, en fonction de la propension de l'enquêté à développer la logique interne de son exploitation concernant la gestion des BR. Lorsque des relances simples ne suffisaient pas à poursuivre l'entretien, des questions plus spécifiques étaient posées.
- **III. Description des principaux flux de matières de l'exploitation** : Les données quantitatives concernant les flux de matières qui n'ont été mentionnées spontanément dans les étapes précédentes sont explicitées, à l'aide de questions directives.
- **IV. Identifier des pistes d'évolution des pratiques des agriculteurs** : la dernière partie de l'entretien est plus ouverte, et s'organise plus sous la forme d'un dialogue sur les perspectives, le rapport que l'agriculteur entretient avec les autres acteurs du territoire, et notamment les démarches collectives.

Le guide d'entretien détaillé figure en annexe 1.4

2.2.3. **Anonymisation des données**

Les données récoltées ont été anonymisées. A cette fin, le nom et le prénom des personnes enquêtées sont remplacés par une catégorie d'acteur générique, associée d'un numéro : par exemple « agri1 » pour le premier agriculteur enquêté, ou « expert3 » pour le troisième élu ou technicien enquêté.

De manière à faciliter la lecture, chaque acteur enquêté s'est vu attribuer un prénom fictif. Par exemple le premier agriculteur s'est vu attribuer le prénom de « Gérard », et sera cité comme suit : Gérard(agri1).

2.3. **Suivi d'une action collective : un projet de plateforme de compostage collectif, porté par l'association Compost' Et Moi**

Par ailleurs, j'ai réalisé le suivi d'une dynamique collective : un projet de plateforme de compostage collectif, porté par l'association Compost' Et Moi. Ce suivi s'est traduit par une observation non participante de deux comités de pilotage de l'association portant le projet, de l'assemblée générale de l'association, ainsi que d'ateliers et de débat sur les différents scénarios du projet. Ces réunions ont été pour moi un lieu privilégié d'observation de la mise en dialogue entre une vision de bouclage des flux de substances (EI) proposé par un bureau d'étude et des valeurs accordées par les acteurs au métabolisme (EG).

Chapitre.VIII. Une méthode d'analyse s'appuyant sur les réseaux métaboliques

Deux écoles de pensées, issus de disciplines très contrastées ont été mis en œuvre. Par conséquent, la méthodologie pourra sembler légère à des ingénieurs spécialistes d'écologie industrielle, aussi bien qu'à des sociologues pragmatistes, pour des raisons différentes. Gardant à l'esprit que la raison d'être de cette thèse est la mise en dialogue de différentes voies d'écologisation, je propose une méthodologie s'appuyant sur les réseaux métaboliques.

L'application des réseaux métaboliques à mon cas d'étude a consisté à développer trois axes :

- Les réseaux métaboliques sont décrits comme une réalité, faite de flux et de fonds. Il s'agit ainsi de considérer le métabolisme comme une réalité, plutôt que sous l'angle d'une analogie avec la biologie. Les fonds et flux représentent un modèle pour décrire cette réalité.
- Ils impliquent de centrer son regard sur des situations problématiques. Ces situations sont toujours dépendantes des représentations qu'on en fait.
- Enfin, ils nécessitent une approche relationnelle. Les réseaux métaboliques sont vus comme un outil au service d'une résolution de problèmes. Il ne s'agit pas de se contenter de décrire les fonds, flux et les situations problématiques, mais aussi de décrire les réseaux d'interactions entre de multiples fonds, de penser ensemble les fins (quels fonds souhaite-t-on maintenir ?) et les moyens qui y sont associés (les fonds que l'on décrit représentent autant de pistes d'action, ou de leviers possibles pour la transformation du métabolisme).

Le Tableau 6, à la page suivante, résume la lecture des deux écoles dans le cadre des réseaux métaboliques ainsi que leur couplage, que je détaille dans ce chapitre.

	Ecologie industrielle (EI)	**Economies de la grandeur (EG)**	**Couplage EI/EG**
Une réalité faite de flux et de fonds	-Caractérisation des flux de biomasses résiduaires à l'échelle du territoire - Calculs de la production et des apports de BR (flux) -Identification des principaux acteurs des filières et des territoires impliqués (fonds)	-Caractérisation des flux et des fonds dans les discours des agriculteurs - Le métabolisme des BR vus par les agriculteurs : caractérisation des flux et des fonds dans les discours - Le modèle des mondes de Boltanski et Thévenot, un modèle pour caractériser la multiplicité des valeurs - Le modèle des mondes pour décrire les multiples valeurs contribuant à la prise en compte du vivant	- Comparer les représentations des flux et fonds entre les deux essais - Couplage des types d'exploitations agricoles (EI) et des mondes (EG)
Des situations problématiques	- Caractérisation des BR en fonction de l'objectif de bouclage des flux de carbone et d'azote - Calculs de déséquilibres entre production et apports de BR à l'échelle des filières et des territoires	Caractérisation de la difficile prise en compte du vivant dans les transformations du métabolisme - Caractérisation des transformations du métabolisme qui affectent les agriculteurs -Identification de ce en quoi les transformations révèlent des situations problématiques dans lesquelles le vivant n'est pas pris en compte - Description des conflits sur les représentations des situations problématiques	-Décrire en quoi les déséquilibres entre production et apports de BR (EI) et la difficulté à prendre en compte le vivant (EG) sont des problèmes liés -Identifier les situations problématiques dans chaque essai -Caractériser les cas où les problèmes de bouclage des flux et de rapport au vivant convergent, de ceux où ils divergent - Déduire des perspectives d'action grâce à des exemples
Une approche relationnelle	- Construction d'une typologie d'exploitations agricoles selon leur participation à la circulation des BR - Description des liens de concurrence et d'interdépendance qu'entretiennent les acteurs économiques par des représentations en réseau	- Caractériser les compromis de valeurs dans lesquels s'organise la gestion des biomasses résiduaires grâce au modèle des mondes - Caractériser les collectifs et décrire la place qu'y occupe le vivant - Décrire les recompositions des collectifs ou leur échec à se transformer lors de situations problématiques	-La mise en dialogue dans la situation concrète d'un projet de compostage collectif -Décrire une situation qui donne lieu à l'expression d'un programme de bouclage des flux ainsi qu'à l'expression des multiples prises en compte du vivant par les acteurs -Caractériser la renégociation des représentations, qui aboutissent à des scénarios techniques ainsi qu'à des compromis entre mondes différents -Décrire la mise à l'épreuve des scénarios techniques et compromis concurrents au cours de l'assemblée générale

Tableau 6 - Présentation synthétique de la lecture des deux programmes dans le cadre des réseaux métaboliques, ainsi que leur couplage

VIII.1. **Essai d'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique**

1.1. **Une réalité faite de flux et de fonds: caractérisation des flux de biomasses résiduaires à l'échelle du territoire**

Caractériser des flux de BR dans le système agricole de la Vallée de la Drôme

Pour caractériser les flux de biomasse résiduaires (BR) dans le système agricole de la Vallée de la Drôme, je me suis appuyé sur les données préexistantes (bases de données, littérature grise, rapports). C'est en complétant ces données, avec celles récoltées au cours de mes entretiens avec les élus et acteurs de filières que j'ai pu associer à chaque filière, ainsi qu'à chaque acteur économique (lorsque cela fût possible), des flux. Les sources de données sont hétérogènes, et des hypothèses, occasionnellement assez grossières, n'ont parfois pas pu être évitées. Ainsi, les chiffres proposés doivent être lus comme des ordres de grandeurs.

Il m'a fallu distinguer différents types de BR selon leur origine, car la démarche a été différente pour les BR d'origine agricole, industrielle ou urbaine. Concernant les BR industrielles et urbaines, j'ai pu identifier les volumes ainsi que la nature des matières produites. Dans le cas des productions agricoles, j'ai cherché à caractériser la production et les apports agrégés à des échelles géographiques correspondant aux échelons relatifs aux collectivités territoriales : les communes, ainsi que les communautés de communes.

Calculer la production et des apports de BR

Les sources de données utilisées s'avèrent extrêmement hétérogènes et parfois lacunaires, ce qui m'a obligé à effectuer des approximations dans mes calculs. Ces approximations s'appuient sur des tables de conversions et de proxies.

Pour les cultures, les quantités de paille produites par hectare ont été trouvées dans la littérature (voir Tableau 7).

	Valeur (tonne/ha)	Sources
Blé	3.1	Leclerc 2001
Orge	2.75	Leclerc 2001
Autres céréales	2.37	Leclerc 2001
Arboriculture	4	Leclerc 2001
Viticulture	2	Celesta-lab

Tableau 7 - Proxies utilisés pour calculer une valeur approximative des quantités de paille produites par hectare

Pour les productions d'effluents animaux, des proxies spécifiques ont dû être construits, en fonction des données disponibles. Les données, fournies par expertise (instituts techniques notamment), ne correspondent pas toujours aux systèmes de production du territoire étudié. Mon analyse prend en compte ces incertitudes. Etant donnée la variabilité des sources de données, je détaille leur mode de calcul, et les hypothèses posées, pour chaque type de BR en annexe 2.

Je présente ici, dans le Tableau 8, à titre d'exemple, les calculs de production d'effluents des élevages avicoles. J'ai distingué les fientes et fumiers, ces derniers représentent des effluents mélangés à une litière végétale, généralement de la paille. Pour le fumier de poulet conventionnel, j'ai disposé de données sur le nombre de bâtiments, et le type de bâtiments, à partir des données publiques ouvertes Auvergne-Rhône-Alpes (DATARA). Afin de pouvoir en déduire le nombre de tonnes fumier produites par an, j'ai utilisé un proxy, s'appuyant sur des données génériques de *masse en tonnes de fumier par an par bâtiment*[38], prenant la valeur de 86 pour les poulets conventionnels, et 52 pour les poulets alternatifs. Ce proxy est combiné avec le *nombre de m² par bâtiment dans la VDD*[39] comparativement à la taille standard des bâtiments ainsi que le *nombre de lots par an*[40] pour donner une approximation de la quantité du fumier produite, en tonnes par an.

	Données d'entrée (récoltées pour le terrain de la VDD)	**Proxy**	**Valeur du Proxy**	**Fonction du calcul de la production d'effluents**
Fumier de poulet conventionnel	-Nombre de bâtiments [1] -Type de bâtiment [1]	Masse en tonnes de fumier par an par bâtiment poulet Conventionnel	86	f(Masse en tonnes de fumier par an par bâtiment [3], Nombre de m² par batiment[2], Nombre de lots par an[2])
Fumier de poulet alternatif		Masse en tonnes de fumier par an par bâtiment poulet alternatif	52	
Fiente de poulet	-Nombre de places [4]	Volume en m^3 de fiente par place	0.058	f(Volume en m^3 de fiente par place [4], Nombre De Place Par Bâtiment [4])
Fumier bovin	-Nombre d'UGB[5]	Masse en tonnes de fumier par UGB par an	6.8	f(Masse en tonnes de fumier par UGB par jour [6], Nombre d'UGB, Nombre de jours à l'étable [2])
Fumier ovin et caprin	-Nombre d'animaux[5,7,8]	Masse en tonnes de fumier par nombre d'ovin ou caprin par an	0.64	f(Masse en tonnes de fumier par nombre d'ovin ou caprin par an [6], Nombre d'animaux[5], Nombre de jours à l'étable [2])
Lisier porcin	-Nombre d'animaux[7]	Volume en m^3 de lisier porcin par truie par an	1.5	f(Volume en m^3 de lisier porcin par truie par an [2], Nombre d'animaux)
Sources : [1] *DATARA 2019 ;* [2] *Expertise CA 26 (entretiens) ;* [3] *Plan prévisionnel de fumure Azote, CA Bretagne 2017 ;* [4] *expertise Itavi, 2020 ;* [5] *BDNI, 2016 ;* [6] *Leclerc, 2001 ;* [7] *RA 2010 ;* [8] *Agence bio 2010 – 2017.*				

Tableau 8 - Présentation des sources de données et principaux proxies utilisés pour le calcul des productions d'effluents

[38] Chiffre issu du Plan prévisionnel de fumure Azote, CA Bretagne, 2017.
[39] Chiffre issu de l'expertise de la Chambre d'agriculture de la Drôme (CA 26).
[40] *Idem.*

	Teneur en Azote (kg/ tonne)	Coefficient d'équivalence Azote	Equivalent UA d'une Tonne	Source
Fumier Volaille	25.5	0.5	12.75	Leclerc 2001
Fiente de Poule	40	0.5	20	CA Bretagne 2017
Fumier Bovin	5.5	0.2	1.1	Leclerc 2001
Fumier Caprin	6.1	0.2	1.22	Leclerc 2001
Fumier Ovin	6.7	0.2	1.34	Leclerc 2001
Lisier Porc	5	0.5	2.5	Leclerc 2001

Tableau 9 - Proxies utilisés pour le calcul des productions d'effluents d'élevage

Pour calculer les apports par cultures (en azote et en tonnage total), à l'échelle communale, je me suis appuyé sur la connaissance de l'usage des terres du Registre Parcellaire Graphique (RPG), les systèmes de cultures et les apports moyens par type de cultures (entretiens).

Implémenter dans une base de donnée

L'implémentation de la base de données a été faite à l'aide d'un formulaire *Access*. Des requêtes SQL m'ont permis d'extraire des données synthétiques dans les bases de données, notamment en effectuant une agrégation par territoire ou par filières. C'est dans ce cadre que j'ai effectué des calculs de conversion (par exemple entre des quantités de matière et des quantités de substances), à l'aide de différents proxies.

Représenter spatialement à l'aide d'un système d'information géographique

Pour les représentations cartographiques des données j'ai utilisé le Système d'Information Dédié aux Territoires (SIDDT), un outil interne développé au Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés En Montagne (LESSEM), à l'INRAE, dans le centre de Grenoble par Frédéric Bray et André Torre. Il s'agit d'une plateforme informatique remplissant certaines fonctions de système d'information géographique (SIG), et permettant d'effectuer des représentations spatialisées à partir de données externes. Je l'ai utilisé pour générer des représentations cartographiques à l'échelle des communes[41].

[41] Voir par exemple les cartes présentant la répartition de la production d'effluents d'élevage sur le territoire, en tonnes par an, à l'échelle des communes de la VDD page 116.

1.2. **Des situations problématiques : caractériser les déséquilibres entre production et apports**

Caractérisation des BR en fonction de l'objectif de bouclage des flux de carbone et d'azote

Les teneurs en carbone (C) et en azote (N) distinguent des comportements différents de la biomasse dans son interaction avec le sol. Les biomasses à C/N faible se comportent dans le sol comme des engrais, jouant un rôle dans la fertilisation de la culture de l'année. En contraste, les biomasses à C/N fort se comportent comme des amendements, en participant à la structure du sol, en libérant l'azote sur le temps long (Leclerc, 2001; Mustin, 1987). Une limite régulièrement citée se situe à un rapport C/N de 25. En dessous de ce rapport, l'azote est en excès et sera libéré, à la disponibilité des plantes. Au-dessus, de l'azote sera prélevé dans la solution du sol pour subvenir aux besoins des microorganismes (Peyraud & Celier, 2012).

L'objectif de « *circularité* », affiché par l'écologie industrielle a été appliqué à l'azote et au carbone. Ainsi, j'ai réparti les BR en trois catégories :

1. Les biomasses résiduaires présentant un rapport C/N supérieur à 25 (par exemple les résidus végétaux).
2. Les biomasses résiduaires présentant un rapport C/N inférieur à 25 (les fientes, fumier).
3. Les engrais organiques commerciaux, des produits transformés industriels, aux rapports C/N régulièrement inférieurs à 3.

Les flux d'engrais de synthèse n'ont pas été caractérisés en tant que tels : seuls les apports théoriques en termes d'unités d'azote équivalent en azote chimique ont été pris en compte. Les BR ont été néanmoins comparées à leurs substituants chimiques, notamment en termes d'apport en azote. Cette équivalence est liée à la teneur en azote, mais aussi à un coefficient d'équivalence à l'usage par rapport à l'azote minéral, tel qu'il est contenu dans les engrais chimiques (l'ammonitrate notamment). Cette équivalence varie en fonction des cultures et des périodes d'épandage, et reflète la différence de comportement dans le sol de l'engrais organique, en fonction du taux de minéralisation. J'ai proposé ici une approximation grossière de l'équivalent en UA, sans chercher à caractériser dans mes calculs la diversité des cultures et des sols.

Calculs de déséquilibres entre production et apports de BR à l'échelle des filières et des territoires

Pour caractériser les situations problématiques du point de vue de l'EI, j'ai décrit les déséquilibres entre BR apportées et celles produites sur le territoire, ainsi que la compensation de ces déséquilibres par des engrais commerciaux. A cette fin, j'ai calculé des ratios et des écarts, comme par exemple :

- La production d'effluents en tonnes par hectares de surface agricole utile (SAU)
- La différence entre les apports de BR et la production par communes, en unités d'azote. Ces indicateurs ont été calculés à plusieurs échelles spatiales à l'échelle des communes ou des communautés de communes par exemple. J'ai aussi comparé différentes filières, notamment les filières biologiques et conventionnelles.

La spatialisation des résultats et leur représentation cartographique s'est appuyée sur le SIDDT (voir plus haut). Ces cartes figurent à la page 128 ainsi qu'à la page 129.

1.3. **Une approche relationnelle : caractérisation des interdépendances entre acteurs économiques**

Construire une typologie d'exploitations agricoles selon leur participation à la circulation des BR

Afin de différencier les exploitations agricoles en fonction de leur participation à la circulation des BR, j'ai construit une typologie.

Trois clés typologiques m'ont permis de distinguer les exploitations agricoles en fonction de leur degré de circularité : les échanges de BR à C/N inférieur à 25 ; les échanges de BR à C/N supérieur à 25 ; la dépendance aux engrais commerciaux en fertilisation.

Les échanges, eux, sont caractérisés par quatre modalités : import, export, import-export et absence d'échanges. (1) Import : lorsque l'exploitation réalise une acquisition au cours de l'année, quelle que soit la modalité (achat, don, etc.,.). Export : lorsque les BR sont transférées vers un autre acteur économique. Import-export : lorsque les BR de ce type sont importées et exportées au cours de la dernière année. Absence d'échange : lorsqu'aucun échange n'a eu lieu au cours de l'année.

La dépendance aux engrais commerciaux en fertilisation est caractérisée par le degré de substitution des engrais commerciaux aux BR. Une manière de le mesurer consiste à comparer les unités d'azote apportées par les BR à celles apportées par des engrais (minéraux, comme l'ammonitrate, organo-minéraux, engrais organiques commerciaux). A ce titre, je distingue les exploitations qui sont fortement (I < 66 %), dépendantes aux engrais en fertilisation, des autres. Les trois variables précédemment citées[42] permettent de caractériser des types comme participant plus ou moins au bouclage des flux. Les types d'exploitations sont distingués au moyen d'une matrice de Bertin[43], présentée en annexe 3.4.

Décrire des liens de concurrence et d'interdépendance qu'entretiennent les acteurs économiques par des représentations en réseau

Afin de montrer les relations d'interdépendance, mais aussi de concurrence, je me suis appuyé sur des représentations en réseau. J'ai interrogé les flux entre acteurs économiques et collectivités, considérés de manière réductrice comme les entités agissantes et durables à l'origine des flux, c'est-à-dire des fonds.

De manière à pouvoir traiter ces données informatiquement, j'ai choisi de représenter les flux sous la forme de liens, et les fonds sous la forme de nœuds. Cette traduction du modèle fonds/flux en nœuds/liens permet d'organiser les données dans une base composée de

[42] Echanges de BR à C/N inférieur à 25, échanges de BR à C/N supérieur à 25, dépendance aux engrais commerciaux en fertilisation *(Chapitre VIII, partie 1.3).*

[43] La matrice de Bertin, proposée par Jacques Bertin, sémiologue, est une méthode de classification visuelle et manuelle permettant de regrouper des entités qui présentent des similitudes sur l'ensemble des critères étudiés.

tables de nœuds et de liens, dont la structuration est présentée dans les tableaux 10.1 et 10.2 ci-dessous.

IdNoeud	Label	Type
1	Valsoleil	Commerce
2	Cyril	Agriculteur
3	Eric	Agriculteur
4	…	

1. Table de nœuds

Source	Destination	Type	Produit	Masse
1	2	Achat	Engrais 5-5-8	1,5
2	3	Echange	Paille	50
3	2	Echange	Fumier bovin	60
…				

2. Table de liens

Tableau 10 – Exemple de tables de nœuds et de liens

Dans la table de nœuds, chaque ligne représente un nœud, décrit par un numéro unique (IdNoeud), un nom (Label), ainsi qu'un Type (agriculteur, transformateur, commerce ou collectivité).

La table de lien indique les échanges dans lesquels sont impliqués les nœuds. Chaque ligne de la table représente un flux, avec une source et une destination (des nœuds, représentés par leur IdNoeud), le type de flux (Achat, échange ou Don), d'un type de produits, ainsi que d'une masse (en tonnes).

Dans cet exemple, la première ligne de la table de nœuds représente la coopérative d'approvisionnement (IdNoeud =1), la deuxième ligne représente un agriculteur nommé Cyril (IdNoeud=2). La première ligne de la table de liens représente l'achat par Cyril (Destination = 2) à Valsoleil (Source = 1) d'un produit (Engrais 5-5-8), d'une masse de 1,5 tonnes.

Un extrait des tables de nœuds et de liens désagrégées figure en annexe 3.1.

Base de donnée Access et représentation des réseaux grâce au logiciel « Gephi »

Afin de proposer des représentations synthétiques, j'ai réalisé des agrégations grâce à des requêtes SQL au sein d'une base de données relationnelle *Access*.

Les tables de nœuds et de lien initiales sont réalisées à l'échelle des établissements individuels. Les agrégations par types d'agriculteurs, types d'acteurs, types de BR ou par communes sont réalisées grâce à un système de requêtes qui vont transformer les tables nœuds et liens initiales dans des tables nœuds et liens finales. Un exemple de tables de nœuds et de liens agrégées figure en annexe 3.2. Les requêtes SQL utilisées pour générer les tables agrégées à partir des tables désagrégées figure en annexe 3.3.

D'autres outils complémentaires ont pu être utilisés pour certaines tâches spécifiques[44].

[44] Pour la réalisation de cartes, la traduction d'adresses postales en coordonnées géographiques a été effectuée grâce à l'API de géoréférencement proposée par Google.

Les tables de nœuds et de liens ont ensuite été traitées grâce au logiciel d'analyse de visualisation de réseaux, Gephi. Je l'utilise pour générer des représentations en réseaux en faisant varier la couleur, la taille, et l'emplacement des nœuds et des liens en fonction de critères de mon choix (quantité de BR gérée, type d'acteur etc.).

Ce modèle donne lieu à des représentations variées : pour certaines représentations, seule une partie des nœuds et liens sont représentés, par exemple seulement les producteurs de déchets industriels et urbains, dans la Figure 20 (page 139). Pour d'autres représentations, les tables de nœuds et de liens sont soumises à une agrégation. Les agriculteurs sont ainsi agrégés par type, et les autres acteurs économiques agrégés selon leur secteur d'activité dans la Figure 18 (page 134). Les représentations agrégées laissent apparaitre une catégorie artefactuelle : des agriculteurs non enquêtés, échangeant des BR avec d'autres acteurs du territoire, dont j'ai recueilli les informations indirectement (entretiens individuels). Ils ne sont donc pas caractérisés selon la typologie, et sont l'objet d'une catégorie « neutre ». Le logiciel permet aussi de répartir les nœuds géographiquement, en fonction de leurs coordonnées spatiales. J'ai mobilisé cette fonction pour effectuer une représentation cartographique (Figure 20, page 139).

Ces représentations graphiques m'ont servi de support, permettant de discuter des interactions entre acteurs économiques. Les classifications d'exploitations agricoles et les interdépendances entre acteurs ont ensuite été utilisées pour analyser les verbatim issu d'entretiens, permettant ainsi d'expliquer et d'illustrer les phénomènes observés.

VIII.2. **Essai d'économies de la grandeur, au service d'une écologisation terrestre**

2.1. **Une réalité faite de flux et de fonds : caractérisation des flux et des fonds dans les discours des agriculteurs**

Le métabolisme des BR vus par les agriculteurs : caractériser des flux et des fonds dans les discours

Dans cet essai, j'ai cherché à rendre compte de la manière dont les agriculteurs décrivent le métabolisme des BR. Ce travail s'est appuyé essentiellement sur l'analyse des discours des agriculteurs et sur leur analyse suivant le modèle fonds/flux [45] : comment les agriculteurs qualifient-ils les flux de BR ? A quels fonds accordent-ils de la valeur ?

L'analyse de mes entretiens m'a permis d'identifier que les agriculteurs mobilisent dans la description et dans la justification de leurs pratiques des entités présentant des caractéristiques de flux et de fonds. Pour mettre en évidence cela je me suis appuyé sur trois définitions identifiées dans les travaux de Georgescu-Roegen et de certains de ses commentateurs : les définitions formelle, sémantique, et fonctionnelle (voir Tableau 1 page 43). En suivant ces définitions, je considère qu'un agriculteur caractérise un flux lorsqu'il décrit une entité qui apparait ou disparait au cours de processus *(définition formelle)* : il peut s'agir par exemple des entrées et sorties de BR sur son exploitation à l'occasion d'échanges avec d'autres acteurs économiques, mais aussi avec son environnement naturel et son

[45] Ce modèle dichotomique est développé extensivement dans le chapitre III., page 41.

agroécosystème (sol, animaux, etc.). Un agriculteur peut aussi décrire indirectement un flux en décrivant les actions réalisées dans son système d'exploitation *(définition sémantique)* : ce sont les pratiques d'épandage, de compostage, d'achat, d'échanges. Une troisième définition caractérise les flux par rapport aux fonds. Les flux ne sont pas décrits comme actifs, mais comme l'objet d'une action. Ils sont décrits comme traités par des fonds *(définition fonctionnelle).*

La même logique est suivie pour les fonds : je considère qu'un agriculteur fait référence à un fond lorsqu'il parle d'une entité durable, stable, qui reste « la même » au cours du processus décrit *(définition formelle),* qu'il définit ce dont le système est fait, ou ce qu'il est *(définition sémantique),* ou qu'il décrit les agents actifs du processus, qui fournissent un service *(définition fonctionnelle).*

Le modèle fonds/flux me permet de décrire comment est pris en compte le vivant dans les descriptions du métabolisme des BR des agriculteurs. Elle passe aussi par la caractérisation d'êtres vivants comme des fonds, dotés d'une capacité d'agir, et décrits dans leur fonctionnement et leurs rythmes propres, ou par la caractérisation des flux dans lesquels ils sont impliqués.

Le modèle des mondes de Boltanski et Thévenot, un modèle pour caractériser la multiplicité des valeurs

Pour caractériser la diversité des valeurs que les agriculteurs trouvent dans le métabolisme des BR, je me suis appuyé sur le modèle des mondes, décrit dans l'ouvrage de Luc Boltanski et de Laurent Thévenot, intitulé *De la justification : Les économies de la grandeur,* publié en 1991. Le modèle rend visible la pluralité des valeurs sur lesquelles s'appuient les acteurs pour se coordonner, et ancre chaque valeur dans une réalité matérielle. L'hypothèse centrale du modèle est que pour se coordonner, les acteurs s'appuient sur une vision partagée du bien commun, des « *valeurs de références communes »*, et que le nombre de ces références est limité.

Les auteurs décrivent six « *mondes* », organisés autour de six valeurs de références : le monde industriel (centré sur l'efficacité), le monde marchand (la concurrence), le monde civique (l'intérêt général), le monde de l'opinion (la réputation), le monde inspiré (l'imagination) et le monde domestique (la tradition). Chaque monde présente un ancrage théorique que je rappelle en note de bas de page, mais qui n'est pas indispensable à la compréhension de la méthode suivie[46,47].

[46] A chaque monde correspond une « *cité »* théorique, par exemple, au monde industriel correspond la cité industrielle.

[47] Chaque cité s'appuie sur des textes de philosophie politique de référence, et qui cristallisent différents idéaux moraux. Par exemple, la cité industrielle est centrée sur l'efficacité à assurer la production et fait référence à l'œuvre de Saint Simon. Les autres cités sont construites comme suit : La cité marchande, centrée sur la concurrence et le prix, fait référence à Adam Smith ; La cité civique, centrée sur le collectif et l'intérêt général, fait référence au Contrat Social de Rousseau ; La cité de l'opinion, centrée sur l'approbation des autres, fait référence à Hobbes ; La cité inspirée, centrée sur le ressenti et la vie intérieure, fait référence à la Cité de Dieu, de Saint Augustin ; La cité domestique, centrée sur les traditions, le connu et la hiérarchie, s'appuie sur les

Chaque monde rend possible la coordination entre acteurs car il leur permet de se mettre d'accord sur la valeur à accorder aux choses et aux personnes et de résoudre les conflits. Pour cela, chaque monde est doté d'une « *épreuve* de référence », c'est-à-dire un test permettant de vérifier la conformité d'une situation donnée à une valeur de référence. Par exemple, dans le monde industriel, qui valorise l'efficacité technique, les acteurs peuvent s'appuyer sur des tests scientifiques, une étude, une expertise, pour trancher un conflit ou faire émerger un accord.

Les mondes sont ancrés dans une réalité matérielle. Chaque monde regroupe un ensemble d'entités (des sujets et des objets) sur lesquels les acteurs peuvent s'appuyer pour se mettre d'accord et se coordonner[48]. Dans un monde donné, certaines entités sont qualifiées et valorisées : elles y sont décrites et y jouent un rôle actif. D'autres au contraire sont disqualifiées, dévalorisées ou invisibilisées.

Prenons l'exemple d'une situation où des agriculteurs, impliqués dans des échanges de fumiers, sont confrontés à un doute sur la qualité d'un fumier. Un agriculteur avance que le fumier a une forte valeur fertilisante, l'autre contestant cette affirmation : il y a conflit. Pour trouver un accord, dans le cadre du monde industriel, les agriculteurs peuvent décider d'une épreuve qui puisse les départager : le test scientifique. A cette fin, ils vont faire appel à un laboratoire d'analyse, qui, en dosant la valeur en azote (N), potassium (P) et phosphore (K) dans le fumier, va permettre de stabiliser et d'objectiver la valeur des BR.

Le Tableau 11, page suivante, présente les principales caractéristiques des 6 mondes décrits par Boltanski et Thévenot dans *De la Justification* (1991).

écrits de Bossuet.

[48] Ces entités peuvent prendre des formes très variables : il peut s'agir simplement d'autres personnes auxquelles un acteur accorde sa confiance (dans le monde de l'opinion par exemple), ou d'entités prévues et pensées à cet effet, des investissements de forme (des règles dans le monde civique).

	Monde industriel	**Monde marchand**	**Monde domestique**	**Monde inspiré**	**Monde de l'opinion**	**Monde civique**
Valeurs de référence	Efficacité, science	Concurrence, rivalité	Tradition, famille, hiérarchie	Inspiration, création, imagination, intériorité	Réputation, renommée	Démocratie, monde associatif
Epreuves modèles	Le test, la réalisation	Le marché, la conclusion d'une affaire	Les cérémonies familiales, les réceptions	La création à partir d'une feuille blanche, l'aventure intérieure	Le regard des autres sur un événement	L'élection, la manifestation
Caractéristiques valorisées	La performance, la fiabilité, la fonctionnalité, la validité scientifique	La désirabilité, la « *gagne* », la valeur, le fait d'être « *vendable* »	La bienveillance, la bienséance, la distinction, la discrétion, la fidélité	L'insolite, la passion, le merveilleux, la spontanéité, l'émotion	La célébrité, la visibilité, la mode, le fait d'être remarqué, d'avoir du succès	Solidarité, équité, liberté
Caractéristiques dévalorisées	L'improductivité, l'inefficacité	La défaite, l'indésirable, le fait de ne pas être compétitif	L'impolitesse, la vulgarité, la traîtrise, la nouveauté	L'habitude, les signes extérieurs, le réalisme	La banalité, l'indifférence, le méconnu, la désuétude	La division, l'individualisme, l'arbitraire, l'illégalité
Objets et sujets qualifiés	L'expert, le professionnel, l'opérateur	Le businessman, le vendeur, le « *battant* »	Le père, le roi, le patron, l'« ancien »	L'artiste, l'enfant, la fée, le fou, le génie, l'illuminé	La vedette, le chargé de communication, le people	Le parti, l'élu, le représentant, le délégué

Tableau 11 - Caractéristiques principales des 6 mondes décrits par Boltanski et Thévenot dans *De la Justification* (1991)

Le modèle des mondes pour décrire les multiples valeurs contribuant à la prise en compte du vivant

Dans ma thèse, j'ai mobilisé le modèle des mondes pour caractériser la diversité des valeurs au travers desquelles les agriculteurs prennent en compte le vivant. Le modèle représente un outil commode et simplificateur pour décrire une pluralité de représentations, à la fois sous l'angle matériel et sous celui des valeurs. Il me permet de décrire l'écologisation au prisme des valeurs de références existantes, déjà ancrées, et partagées par tous. C'est donc une écologisation pluraliste, qui englobe mais qui déborde des valeurs industrielles et marchandes que je décris : une écologisation terrestre[49].

En pratique, j'ai effectué cette caractérisation grâce au codage des retranscriptions d'entretiens. Dans les verbatim, j'ai cherché à identifier les valeurs auxquelles font référence les agriculteurs dans des situations de justification, et les entités qu'ils mobilisent. Les

[49] Dans ma thèse, je fais le choix d'étudier l'écologisation, vue comme un compromis entre des valeurs de références existantes (les 6 mondes). Dans la littérature, ce point est sujet à controverses. Pour certains auteurs, l'écologie représente une nouvelle valeur de référence de référence émergente. Je reviens sur ce débat autour de la « cité verte » en discussion, dans le chapitre XIII., page 232.

situations de justification apparaissent particulièrement au cours de débats (par exemple, au cours d'une assemblée ou d'un conseil d'administration de l'association Compost' Et Moi), mais aussi au cours des entretiens individuels.

2.2. **Des situations problématiques : caractérisation de la difficile prise en compte du vivant dans les bouleversements du métabolisme**

Caractériser des bouleversements du métabolisme

J'ai cherché à caractériser les bouleversements du métabolisme auxquelles sont confrontés les agriculteurs en termes métaboliques et pour cela j'ai identifié différents « *types* » de bouleversements. Je distingue les situations qui concernent des variations de flux, de celles qui concernent l'apparition de nouveaux fonds, dans le processus métabolique :

- Les variations de flux traduisent le caractère pas toujours prévisible des bouleversements du métabolisme. Par exemple : la production de paille varie d'une année sur l'autre, la qualité d'un fumier remise en doute, la qualité d'un fumier varie au cours de l'année.
- D'autres situations peuvent concerner l'apparition de nouveaux fonds, dans les réseaux métaboliques. Des entités jusqu'alors extérieures, entrent en jeu. Par exemple : Un voisin s'oppose à l'épandage de fumier, une nouvelle réglementation rend illégale la pratique du compostage telle qu'elle se fait sur l'exploitation, l'élevage est contaminé par la salmonellose.

Prise en compte du vivant dans les situations problématiques

Ces bouleversements du métabolisme soulignent une propriété du vivant : les êtres vivants ne sont jamais complètement prévisibles. Ils sont dotés d'une capacité d'agir, et de réagir aux actions d'autres vivants (Latour, 2015). Aux prises avec ces êtres vivants, les agriculteurs peuvent se retrouver en difficulté, dans des situations problématiques, qui compromettent le fonctionnement de leur exploitation.

Ainsi, j'ai cherché à voir en quoi les bouleversements du métabolisme révèlent des situations au sein desquelles les êtres vivants ne sont pas pris en compte dans leur fonctionnement et leurs rythmes propres, où les agriculteurs sont dépassés par les capacités d'agir de certaines entités. J'illustre ces situations par des exemples de bouleversements du métabolisme (par exemple l'apparition de salmonellose sur un élevage, ou la perte d'un fournisseur de fumier).

Décrire des conflits sur les représentations des situations problématiques

L'une des caractéristiques importantes de ces situations problématiques est qu'elles ne sont pas neutres : elles sont dépendantes des représentations du métabolisme. Des visions différentes, en compétition, peuvent donc naître pour décrire une situation particulière. J'ai illustré ce phénomène par des exemples de conflits sur la représentation des problèmes.

2.3. Une approche relationnelle : décrire la gestion des BR comme résultante d'un collectif d'humains et de non-humains

Caractériser les compromis de valeurs dans lesquels s'organise la gestion des biomasses résiduaires grâce au modèle des mondes

Dans le modèle des mondes, la coordination entre acteurs s'appuie sur une vision partagée du bien commun, des valeurs de références communes. Si chaque « monde » représente un idéal, organisé autour d'une valeur de référence unique, la réalité des coordinations implique souvent un compromis entre différents mondes[50].

Mon travail d'analyse a consisté à caractériser les compromis entre mondes, mobilisés pour chaque type de BR. Par exemple, je montre que les engrais commerciaux et les fientes d'élevages industriels s'inscrivent dans un compromis entre efficacité technique (monde industrie) et compétitivité (monde marchand), stabilisé par des produits standardisés et des cultures à haute valeur ajoutée.

Caractériser les collectifs et décrire la place qu'y occupe le vivant

Mon analyse a ensuite consisté à décrire comment est pris en compte le vivant dans chaque compromis, c'est-à-dire à lister les entités humaines et non-humaines, issues de différents mondes, et décrites par les agriculteurs. Ces multiples entités reliées, enchevêtrées, forment des collectifs, associations de flux et de fonds. Si l'on reprend l'exemple du compromis décrit ci-dessus : les analyses physico-chimiques, les technico-commerciaux représentent autant d'entités, à la rencontre des mondes industriel et marchand.

L'hypothèse que j'ai posée, et que je souhaitais tester, est que l'on peut distinguer des BR en fonction des collectifs dans lesquels elles s'insèrent. Tous les collectifs ne se valent pas : dans certains, le vivant est mieux pris en compte que dans d'autres.

Décrire les recompositions des collectifs ou leur échec à se transformer lors de situations problématiques

Dans un deuxième temps, j'ai cherché à décrire comment se recomposent les collectifs lorsqu'ils sont confrontés à des situations problématiques. Ces recompositions peuvent avoir lieu dans le cadre du compromis existant, donnant lieu à un maintien de l'usage de la BR au prix de certaines adaptations. Ou au contraire, ces recompositions peuvent aboutir à l'abandon du compromis existant et à l'adoption d'un autre compromis.

A cette fin, j'ai croisé les types de situations problématiques (identifiées en 2.1) et les collectifs (identifiés en 2.3). Pour chaque cas, je me suis appuyé sur un ou plusieurs exemples de situations caractérisées par les agriculteurs pour décrire les recompositions, ainsi que leurs conséquences.

[50] Il est rare de rencontrer des situations où tous les acteurs sont parfaitement d'accord sur la valeur qu'ils accordent à un processus. Chaque acteur peut accorder de l'importance à plusieurs valeurs dans une situation donnée (par exemple donner de l'importance à l'efficacité technique, ainsi qu'à la compétitivité). Pour pouvoir effectivement interagir de manière durable et se coordonner, il est donc nécessaire de trouver un compromis.

VIII.3. **Essai de mise en dialogue des deux écoles de pensées**

3.1. **Une réalité faite de flux et de fonds : comparaison des représentations**

Les deux essais, d'écologie industrielle (EI) et d'économie de la grandeur (EG) donnent lieu à des représentations contrastées du métabolisme que j'ai cherché à comparer. Les réseaux métaboliques m'ont permis d'interroger leur couplage en multipliant les points de vue, et d'interroger chaque école du point de vue de l'autre. Dans chaque cas, les flux de BR sont décrits selon des caractéristiques différentes et ne sont pas reliés aux mêmes fonds. Dans cet essai de mise en dialogue, j'ai cherché à croiser.

Comparer les représentations issues des deux essais

Je me suis appuyé sur la grammaire commune du modèle fonds/flux pour caractériser les points de rapprochement et les différences. Dans chaque essai, les flux étaient décrits selon certaines caractéristiques, certains fonds étaient décrits alors que d'autres ne l'étaient pas.

Pour les comparer, j'ai identifié ce que chacune des deux représentations apportait *en plus*, l'une par rapport à l'autre, en quoi elles étaient irréductibles. A cette fin, j'ai construit un tableau, indiquant les caractéristiques des flux ou de fonds que l'on retrouve dans les deux essais, de celles qui sont propres à chaque essai. Ce tableau figure en page 176.

Coupler les types d'exploitations agricoles (EI) et les mondes (EG)

La grammaire commune du modèle fonds/flux m'a permis de pousser l'analyse en croisant la caractérisation des différents types d'exploitations agricoles[51] (essai EI) et la caractérisation des différents mondes (essai EG).

D'une part, pour chaque agriculteur enquêté, j'ai traité les verbatim dans une base de données suivant le modèle fonds/flux, j'ai caractérisé leur différentes pratiques de gestion de BR (production, utilisation, échange, transformation). Pour chaque pratique, vue comme un processus indépendant, j'ai qualifié les fonds et les flux impliqués, en m'appuyant sur les justifications et les descriptions dans le discours de l'agriculteur. Ensuite, chaque fond ou flux caractérisé a été associé au monde (ou au compromis entre mondes) dans lequel il s'insère[52].

Par ailleurs, pour chaque exploitation agricole enquêtée, j'ai caractérisé son type relatif au bouclage des flux (Voir à ce sujet la partie spécifique de la méthode qui traite de la construction de la typologie, page 97). En associant chaque agriculteur à son exploitation, au moyen d'une requête dans ma base de données, j'ai pu ensuite coupler les deux types d'informations.

[51] Dans l'essai d'EI, j'ai caractérisé différents types d'exploitations agricoles, en fonction de leur participation au bouclage des flux : les quasi-autonomes, les hubs, les importateurs nets, les producteurs-échangeurs ainsi que les substituants.

[52] Voir le détail de la méthode dans la partie de la méthode consacrée à l'essai d'économies de la grandeur page 99.

Enfin, en agrégeant ces données, j'ai pu obtenir le nombre d'occurrence de chaque monde pour chaque type d'exploitation. Le résultat est présenté dans le Tableau 23 page 179. Les données sont présentées en pourcentages du total pour chaque type d'exploitation pour plus de lisibilité.

3.2. Des situations problématiques : décrire en quoi les déséquilibres entre production et apports de BR et rapports au vivant sont des problèmes liés

Identifier les situations problématiques décrites dans chaque essai

J'ai cherché à identifier en quoi les problèmes de déséquilibres entre la production et les apports de BR (EI) et le rapport au vivant (EG) sont des problèmes liés. A cette fin, j'ai comparé et mis en discussion les situations problématiques décrites dans les deux essais, d'EI et d'EG.

Caractériser les cas où les problèmes de bouclage des flux et de rapport au vivant convergent, des cas où ils divergent

J'ai ensuite croisé ces deux types d'information. Cela m'a amené à distinguer les situations où les situations problématiques se renforcent mutuellement de celles où une situation vertueuse et non problématique du point de vue d'un des deux essais génère une situation problématique du point de vue de l'autre. Ce couplage donne lieu à un tableau bilan des situations, le Tableau 24 présenté page 182.

Dans un premier temps, je développe le cas des situations problématiques décrites dans l'essai d'EI qui s'avèrent être aussi des situations problématiques décrites dans l'essai d'EG, en m'appuyant sur des exemples issu de mes résultats : les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires et la difficulté à composer avec le reste du vivant se renforcent mutuellement. Dans un deuxième temps, je discute des situations où ça n'est pas le cas (des situations vertueuses du point de vue du bouclage des flux peuvent nuire à une bonne prise en compte du vivant, ou inversement, une certaine prise en compte du vivant peut générer un mauvais bouclage des flux).

Déduire des perspectives d'action grâce à des exemples

Enfin, ce couplage permet d'identifier des perspectives d'action. Les cas dans lesquels les situations problématiques du point de vue de l'EI et de l'EG se croisent participent à ouvrir de nouvelles perspectives d'actions en faveur de l'écologisation. On peut s'appuyer sur d'autres valeurs que l'optimisation pour faire du bouclage de flux, et à l'inverse, décrire des situations où une bonne prise en compte du vivant se traduit aussi par une bonne optimisation des flux. Je m'appuie sur des exemples pour décrire ces situations.

3.3. **Une approche relationnelle : la mise en dialogue dans la situation concrète d'un projet de compostage collectif**

Décrire une situation qui donne lieu à l'expression d'un programme de bouclage des flux ainsi qu'à l'expression des multiples prises en compte du vivant par les acteurs

Dans cette partie, j'adopte une approche relationnelle, pour penser ensemble les fins et les moyens. J'analyse une situation concrète dans laquelle les représentations d'EI et d'EG sont effectivement mises en dialogue. Parmi les différentes situations que j'ai pu identifier au travers de mes entretiens, je me focalise sur un cas en particulier : un projet de composteur collectif porté par l'association « Compost' et moi ».

Dans un premier temps, je décris le contexte de l'émergence du projet. Je montre comment il aboutit à la mise en place d'une démarche d'EI, portée par un bureau d'étude. Je développe en quoi cette démarche permet d'identifier des apports potentiels et des débouchés sur le territoire, et comment elle aboutit à la proposition de différentes options techniques.

Les comités de pilotage du projet, ainsi que l'assemblée générale de l'association, auxquels j'ai pu assister donnent l'opportunité aux acteurs de justifier leurs préférences, en vue d'un choix commun. J'analyse ces justifications au prisme du modèle de mondes.

Des représentations qui sont renégociées et quii aboutissent à des scénarios techniques (EI) ainsi qu'à des compromis entre mondes (EG) concurrents

Je montre ensuite comment les différentes options techniques sont discutées par les membres du comité de pilotage, ce qui aboutit à une transformation à la fois du projet de bouclage des flux porté par le bureau d'étude (EI), ainsi qu'une transformation des représentations des acteurs (EG).

Les échanges aboutissent à une stabilisation de deux scénarios techniques concurrents qui reposent sur deux compromis différents entre valeurs. Je décris chaque scénario technique ainsi que chaque compromis en m'appuyant sur le modèle des mondes.

Décrire la mise à l'épreuve des scénarios techniques et compromis concurrents au cours de l'assemblée générale

Je montre enfin en quoi l'assemblée générale est l'occasion d'une mise à l'épreuve des scénarios techniques ainsi que des compromis entre valeurs qui ont été négociés entre le comité de pilotage et le bureau d'étude.

Conclusion

Dans les parties précédentes, j'avais montré l'importance de la question du pluralisme dans la gestion des BR *(Partie 1)*. La question du pluralisme des voies d'écologisation a donné lieu au développement du cadre d'analyse que sont les réseaux métabolique *(Partie2)*, ainsi qu'à son application pour l'étude du pluralisme des représentations du métabolisme socio-économique dans la littérature *(Partie 3)*

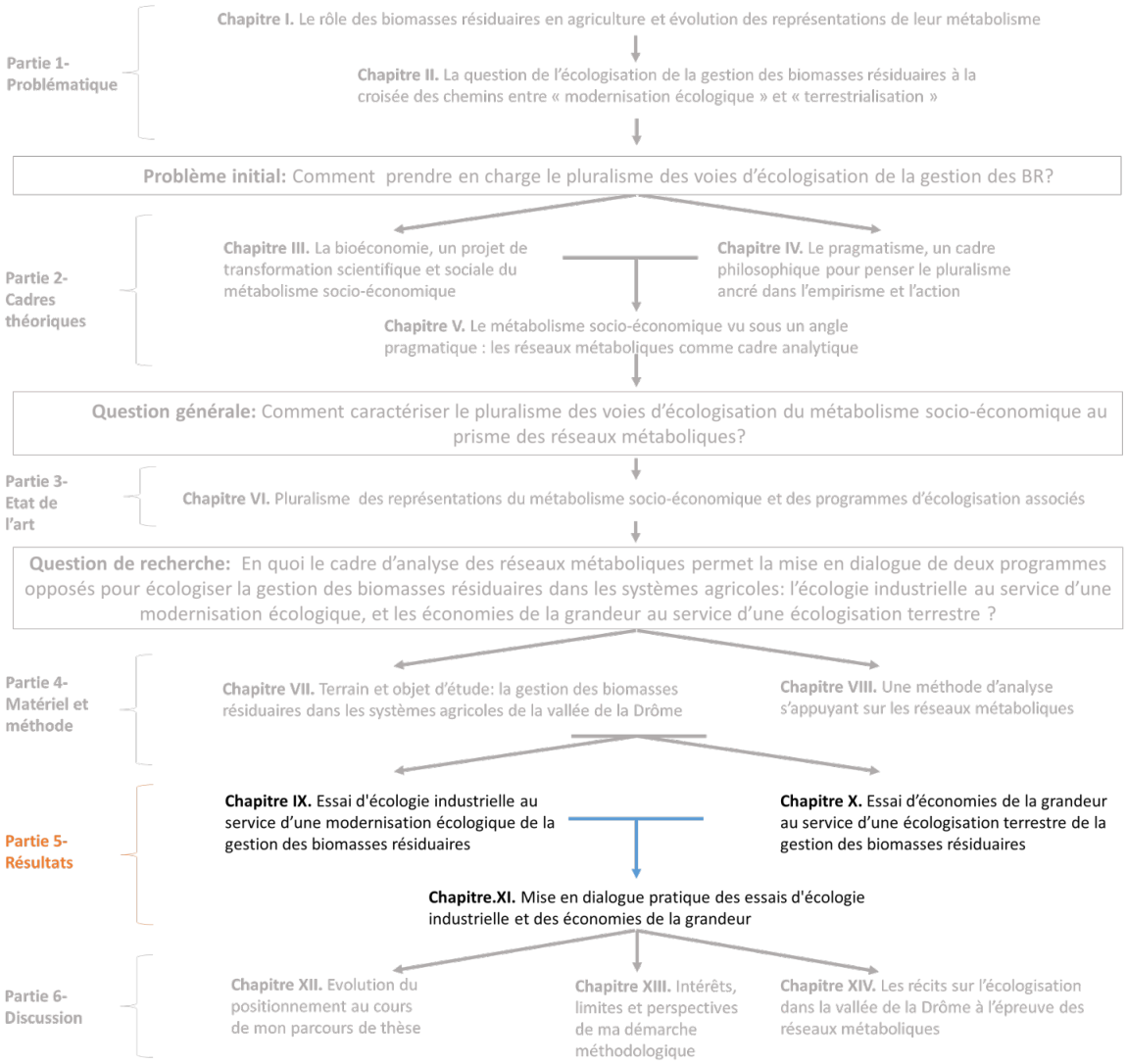
La partie 4 de ma thèse présente mon application de cette méthode au terrain d'étude qu'est la vallée de la Drôme. Ce territoire est porteur d'un métabolisme agricole diversifié et est l'objet de multiples projets, aussi des sources de données diversifiées ont pu être mobilisées pour cette analyse. J'ai ainsi eu l'opportunité de récupérer des données existantes, notamment de la littérature grise, en plus des bases de données nationale. Lors de mon travail d'enquête j'ai réalisé dix-huit entretiens auprès d'élus et d'experts et trente-deux autres auprès d'agriculteurs. Par ailleurs, j'ai réalisé le suivi rapproché d'un projet de plateforme de compostage collectif, porté par l'association Compost' Et Moi *(Chapitre VII).*

Ce cadre d'analyse m'a amené à développer deux écoles de pensée que sont l'écologie industrielle (EI) et les économies de la grandeur (EG), et à les mettre en dialogue suivants trois propriété propre aux réseaux métaboliques, que j'ai défini plus haut *(Chapitre III et IV)* et qui sont les suivante:

- <u>Une réalité, faite de flux et de fonds.</u> En EI, je caractérise les flux de BR à l'échelle du territoire. En EG, je caractérise les multiples représentations du métabolisme par les agriculteurs, au prisme du modèle des mondes de Boltanski et Thévenot. Les représentations des flux et fonds entre les deux essais sont ensuite comparées dans une mise en dialogue.
- <u>Des situations problématiques.</u> En EI, j'expose les déséquilibres entre production et apports de BR à l'échelle du territoire, ainsi que les éventuelles hétérogénéités spatiales. En EG, je décris en quoi les bouleversements du métabolisme révèlent les difficultés des acteurs à composer avec le reste du vivant. Dans la mise en dialogue, je montre ce en quoi les déséquilibres entre production et apports de BR et rapports au vivant sont des problèmes liés.
- <u>Une approche relationnelle.</u> En EI, je décris les circulations des BR parmi les acteurs économiques, sous l'angle de l'interdépendance et de la concurrence. En EG, je montre ce en quoi la gestion des BR s'inscrit dans des collectifs hybrides, faits d'entités humaines et non-humaines donnant lieu à une certaine prise en compte du vivant par les agriculteurs. La mise en dialogue de ces deux approches se fait ici par la description d'une situation concrète, celle de l'émergence d'un projet de compostage collectif.

PARTIE 5. RESULTATS

Les résultats sont présentés sous la forme de trois essais : un essai d'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique de la gestion des biomasses résiduaires, un essai d'économies de la grandeur au service d'une écologisation terrestre de la gestion des biomasses résiduaires, ainsi qu'un chapitre de mise en dialogue des deux essais.



Chapitre.IX. Essai d'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique de la gestion des biomasses résiduaires

Dans ce chapitre, je développe une analyse d'écologie industrielle au travers du prisme des réseaux métaboliques. Dans une perspective de modernisation écologique, je m'appuie sur de multiples sources de données quantitatives pour analyser le bouclage des flux à l'échelle du territoire.

La première partie aborde les réseaux métaboliques comme une réalité faite de flux et de fonds : la production des BR utilisées en agriculture est quantifiée dans les domaines agricoles, industriels et urbains, entre acteurs économiques ainsi qu'à l'échelle des communes. Dans une deuxième partie, je décris les situations problématiques qui découlent de l'étude des fonds et flux. Je caractérise des déséquilibres et inadéquations entre productions et apports de BR à l'échelle du territoire, ainsi que des inégalités dans leur répartition spatiale au sein de la Vallée de la Drôme (VDD). Enfin, dans une dernière partie, j'aborde les réseaux métaboliques comme une réalité relationnelle, en qualifiant les relations entre ces acteurs économiques et je décris les relations symbiotiques (interdépendance) ou antagonistes (concurrence) dans lesquelles ils s'inscrivent.

IX.1. Une réalité faite de flux et fonds : les biomasses résiduaires produites sur le territoire

La VDD présente une diversité de productions de biomasses résiduaires, à la fois dans le secteur agricole, mais aussi en dehors (industries, collectivités). Le Tableau 12 (page 114) présente les principaux chiffres concernant la production d'effluents animaux sur le territoire, le Tableau 13 (page 117) présente la production de résidus de cultures végétales et le Tableau 14 (page 119) présente la production de déchets industriels et urbains.

1.1. Des productions de biomasses résiduaires diversifiées

1.1.1. Les productions animales, principales pourvoyeuses de biomasses résiduaires azotées

Quantités totales produites par orientation d'élevage

En agriculture, les effluents animaux sont présents et diversifiés, malgré une décrue continue de l'élevage (RA, 2000, 2010). Les résultats agrégés concernant les principales productions d'effluents sont présentés dans le Tableau 12, à la page suivante. Si certaines filières (avicoles notamment) sont en croissance dans la VDD, ce n'est pas le cas des autres filières, et notamment des ruminants. Traditionnellement, l'élevage ovin viande s'appuie fortement sur le pâturage, valorisant les landes, sous-bois ou encore les alpages. L'élevage en bergerie, plus intensif, se développe, aussi bien en lait et en viande, notamment du fait de la présence de loups, car il facilite la protection du troupeau. Les élevages pratiquent une mise à l'herbe qui correspond en moyenne à 50% de l'année. La combinaison de ces éléments permet de calculer une production de 12 100 tonnes de fumiers ovin. L'élevage caprin produit quant à lui 5600 tonnes de fumier. L'élevage bovin est plutôt réduit sur le territoire, en 2010 il concerne 87 exploitations[53] (RA 2010), souvent constituées de petits troupeaux[54].

[53] Contre 218 exploitations pour l'élevage ovin, par exemple (RA 2010).

Les deux tiers des UGB[55] correspondent à des systèmes laitiers. Toutes les exploitations, hormis quelques rares exceptions, produisent du fumier. L'élevage bovin représente moins de 20% des effectifs de ruminants, mais il pèse pour plus de 40% des fumiers produits, notamment en raison de l'écart entre les bovins et autres ruminants en termes d'UGB. On peut les estimer à 14 500 tonnes de fumier bovin produit par an.

L'élevage avicole concerne près de 240 bâtiments (DATARA 2016). La production de fientes et de fumiers est de 21 000 tonnes. Il s'agit d'un effluent riche en azote, qui représente une ressource importante pour les agriculteurs. L'aviculture représente, en 2020, une filière dynamique dans la VDD. Le nombre de bâtiments est actuellement en augmentation. La filière se partage entre une filière conventionnelle et une filière dite « alternative », qui regroupe les élevages en agriculture biologique et en plein air, aux systèmes similaires. La filière alternative représente moins d'un tiers de la production, mais elle représente la grande majorité des nouveaux bâtiments construits. Ce développement de l'alternatif impacte la production de fumier, en limitant la quantité d'effluents disponibles. La production porcine est anecdotique, et se concentre sur quelques exploitations industrielles, à système lisier, représentant 7000 tonnes par an.

Type de biomasses	C/N	Tonnage (tonnes/an)		Unités d'azotes (kg N/an)	
		Total	Bio	Total	Bio
Lisier porcin	2.3	6597	420	13063	832
Fientes de volaille	7.8	3387	1813	74514	39891
Fumier de poulet*	9.3	11352	4472	137181	53976
Fumier caprin	10	4462	1263	5444	1541
Fumier ovin	11	12106	4004	16222	5366
Fumier bovin	14	13533	1039	17120	1314
TOTAL		**51437**	**13011**		

Tableau 12 - Présentation agrégée des principales productions d'effluents d'élevage à l'échelle de la VDD. Calculs personnels à partir de données hétérogènes (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise).

Une répartition spatiale hétérogène

Les effluents animaux sont produits partout sur le territoire (voir Figure 10, page 116). Cette apparente homogénéité spatiale du point de vue du tonnage global masque une grande hétérogénéité des BR, réparties inégalement sur le territoire en fonction de leur nature et du contexte pédoclimatique. L'élevage de ruminants est plus développé dans les parties montagneuses, à l'est de la Communauté de Communes du Val de Drôme (CCVD) et dans le Diois. Ces élevages montagnards concernent majoritairement des productions ovines. Les productions caprines sont quant à elles plus présentes dans la vallée, notamment sur le

[54] On compte 17 UGB Bovin par exploitation dans la VDD, contre 29 dans le reste de la Drôme (Source : BDNI 2016).

[55] Unités Gros Bovins (UGB) est une unité de référence permettant de calculer les besoins des ruminants de manière plus précise qu'en comptant le nombre d'animaux. Par construction, une vache laitière représente 1 UGB, alors qu'une vache allaitante 0,85, et un ovin 0,15, par exemple (source : agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/calcul_UGB.pdf).

territoire de la CCVD et de la Communauté de Communes du Crétois et Pays de Saillans (3CPS). Les bovins, concentrés dans un nombre réduit d'élevages, sont répartis sur l'ensemble du territoire.

La production de fumiers et de fientes de volaille se concentre principalement dans la partie basse de la vallée et reflète une dynamique plus large, à l'échelle de la Drôme. La majorité des exploitations avicoles drômoises se concentrent le long de l'axe Crest-Romans, parallèle au Rhône. Certaines communes présentent même une concentration particulièrement importante, comme par exemple celle d'Autichamp, liée à une présence d'installations anciennes. Depuis quelques années des nouveaux bâtiments voient le jour, et pas uniquement autour de Crest : des installations ou reconversions en élevage avicole ont lieu dans le Diois, notamment dans des communes assez éloignées de la vallée. Ces nouveaux acteurs mettent en circulation des quantités importantes de BR. Leur destination, et leur valorisation potentielle est une question importante, que nous aborderons notamment dans la dernière partie de ce chapitre. Les lisiers porcins sont sauf exceptions (rares élevages de taille modeste dans le Diois) produits dans la basse vallée de la Drôme.

La part de la production de BR en agriculture biologique varie en fonction des filières

La Figure 9 présente la production des principaux effluents, en agriculture biologique et conventionnelle. Si l'agriculture biologique est régulièrement citée comme structurante de l'identité de la VDD, sa place reste minoritaire relativement aux tonnages de BR produites. D'après mes calculs, elle ne représenterait que 25% du total. Moins de 8% des fumiers bovins sont produite en agriculture biologique, quand les fientes et fumiers de volaille et de poulet biologiques représentent 40% et occupent la première place en proportion.

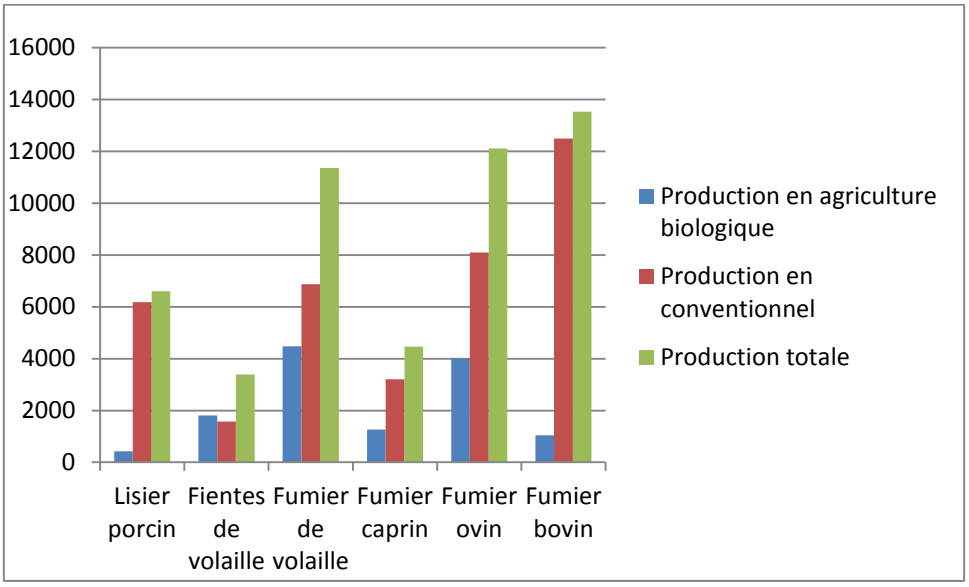


Figure 9 - Production d'effluents d'élevage en tonne par an, en agriculture conventionnelle et biologique, dans la VDD.

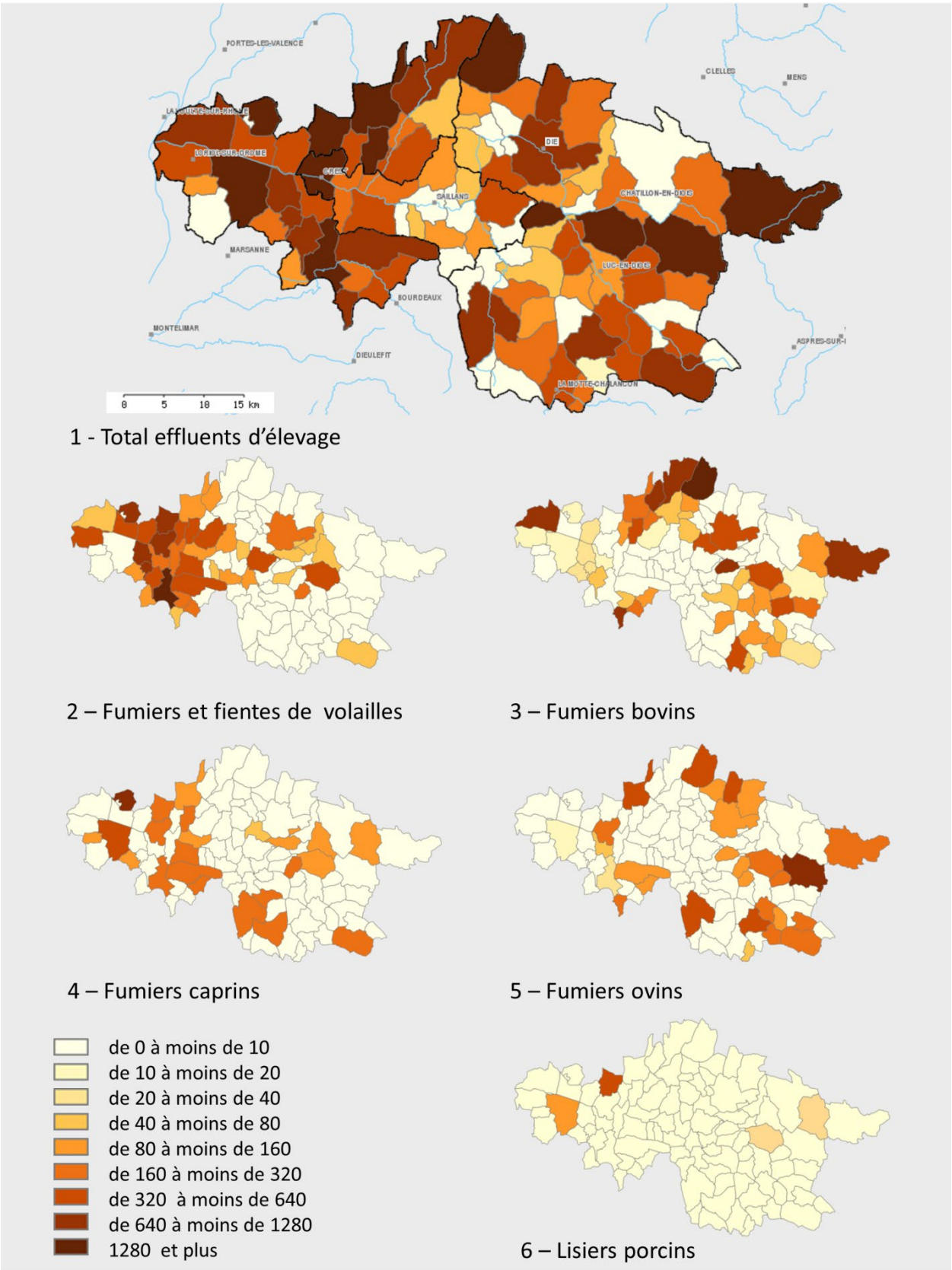


Figure 10 - Répartition de la production d'effluents d'élevage sur le territoire, en tonnes par an, à l'échelle des communes de la VDD (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT).

1.1.2. Les productions végétales, génératrices de biomasses résiduaires carbonées

Les résidus végétaux émanent des principales cultures végétales du territoire : les cultures céréalières, ainsi que l'arboriculture et la viticulture. En ce qui concerne les résidus de cultures de céréales, les pailles peuvent connaitre deux devenirs distincts : soit être exportées, soit être enfouies et restituées au sol. Concernant les cultures pérennes, il s'agit des déchets de taille en arboriculture, des sarments de vigne en viticulture, qui peuvent être exportés et vendus (par exemple comme alternative au charbon de bois pour le barbecue), ou brûlés à l'air libre (écobuage), bien que cette pratique soit désormais illégale. Ils peuvent également être laissés sur la parcelle. Ces BR présentent des rapports C/N (carbone/azote plus élevés (supérieur à 50) que les BR d'origine animale présentées plus haut (inférieur à 20). Le Tableau 13 présente les principales productions de BR issues des cultures végétales de la VDD.

Type de biomasse	C/N	Quantité produite (en tonnes/an)
Pailles de céréales	**67**	26261
⇨ **dont blé**		13776
⇨ **dont orge**		5783
⇨ **dont autres céréales**		6702
Déchets cultures pérennes	92	9786
⇨ **dont arboriculture**		6583
⇨ **dont viticulture**		3202

Tableau 13 - Production de résidus des cultures à l'échelle de la VDD (Données RPG et expertise).

La production de pailles de céréales se répartit le long de la rivière Drome. On observe deux pôles majeurs : l'un dans la basse vallée, entre les communes de Loriol et de Crest, puis le second plus haut dans la vallée, entre les communes de Die et de Luc-en-Diois. Les productions arboricoles se concentrent principalement dans la basse vallée de la Drôme, et concernent notamment des productions de fruits d'été (abricots, pêche, etc.). L'agriculture biologique représente une part négligeable de la production arboricole. La raison invoquée par l'élu à la Chambre d'Agriculture est la forte pression en ravageurs, et le manque d'alternatives biologiques aux insecticides chimiques. La viticulture, qui produit des résidus en quantité bien plus modeste, est concentrée dans le Diois. La clairette de Die, première production de vin du territoire, fait partie des AOC viticoles présentant la plus large proportion de vignobles convertis à l'agriculture biologique (20%) (Agence Bio 2018). Un deuxième pôle, dans le Diois, concentre des productions de noix de Grenoble (AOP)

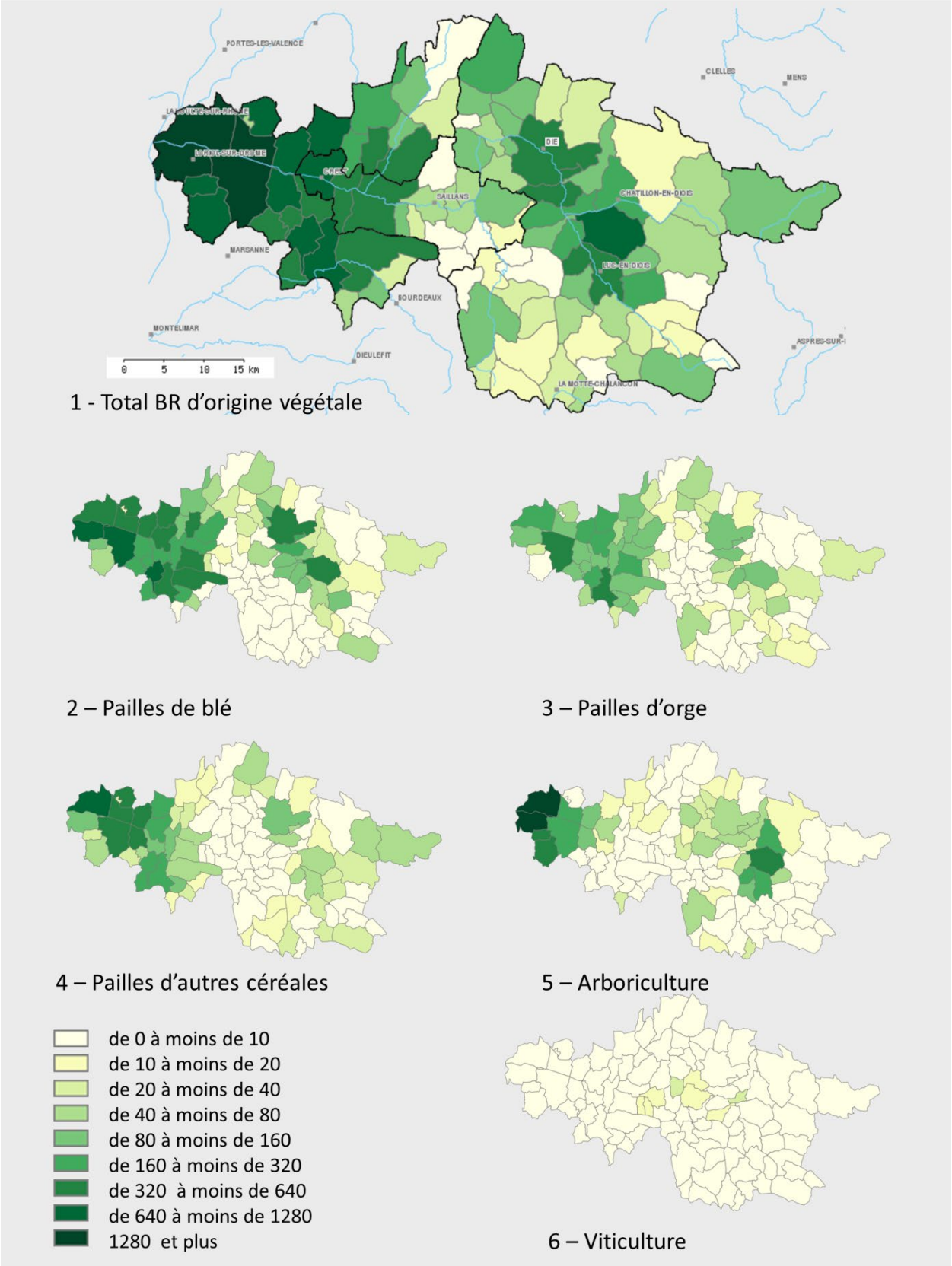


Figure 11 – Répartition de la production des résidus des cultures sur le territoire, en tonnes par an (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT).

1.1.3. **Des biomasses résiduaires d'origines industrielles et urbaines**

Les résidus qui peuvent être potentiellement valorisés en agriculture proviennent des industries agroalimentaires (IAA) ainsi que des collectivités présentes sur le territoire. Dans la VDD, un nombre réduit d'acteurs concentre la majorité des volumes de résidus industriels. Ces BR présentent des qualités extrêmement variables, dépendantes des processus de transformation dont elles sont issues. La variabilité concerne la composition, liée notamment à leur origine animale ou végétale, mais aussi également à d'autres facteurs comme par exemple, leur taux de matière sèche. Le Tableau 14 présente les principales productions de BR issues des déchets industriels et urbains.

Type de biomasse	Quantité produite (en tonnes/an)	Principaux acteurs économiques impliqués
Drèches	~2000	Jaillance, Charles et Alice, brasseries artisanales
Pailles	1250	Herbarom, Coop Distillation Vercheny
Abats	~10000	Royal Bernard, abattoir de Die
Boues et eaux	~130	Royal Bernard, abattoir de Die, Troupeou
Eaux de rinçage	~800	Charles et Alice
Autres	~900	Charles et Alice, Biotop, Eurial
Déchets verts	~6000	Communautés de communes : CCVD, 3CPS, Diois
Déchets ménagers	4350	
Boues de stations d'épuration	~7000	Communes de Crest, Allex, Livron, Loriol, Saillans, Montoison, Beaufort sur Gervanne, Puy Saint Martin, Saou, Die, Recoubeau

Tableau 14 - Production de déchets industriels et urbains à l'échelle de la VDD. (Données enquêtes, expertise et rapports)

Les BR d'origine animale, et notamment les abats sont principalement produits par l'entreprise Royal Bernard, producteur de volailles et de plats préparés. Près de 9000 tonnes d'abats y sont produits chaque année. L'abattoir de Die et Troupeou (un atelier de transformation des viandes) représentent en comparaison des ateliers extrêmement modestes relativement aux volumes produits.

En ce qui concerne les BR d'origine végétale, les sociétés Charles & Alice (producteur de préparations à base de fruits) et Jaillance (cave coopérative viticole, connue notamment pour sa production de Clairette de Die) représentent l'essentiel des volumes de drèches, cumulant 2480 tonnes de production par an. Des brasseries artisanales en produisent aussi, dans des proportions moindres. Enfin, la transformation de plantes à parfum aromatiques et médicinales (PPAM) représente un troisième secteur d'activité producteur de résidus industriels. Si certains producteurs de PPAM génèrent des résidus en quantité significatives (Herbarom produit 1100 tonnes de pailles par an), d'autres, comme l'Herbier du Diois, en produisent en quantité négligeable (l'activité de ce dernier se focalisant sur le négoce et le conditionnement, peu génératrices de déchets). Le tableau présentant les détails des producteurs de BR d'origine industrielle ainsi que les volumes associés figurent en annexe 2.3.

Les BR d'origine urbaine se rangent dans trois principales catégories : les déchets verts, les déchets ménagers, et les boues de stations d'épuration. Les déchets verts sont des déchets biodégradables issus des restes de végétaux provenant de la taille et de l'entretien des espaces verts publics et privés. Au sein de la VDD, ils sont gérés par les trois communautés de communes (CCVD, 3CPS et Pays Diois) et leur tonnage total dépasse les 600 tonnes par an.

Les déchets ménagers forment une deuxième catégorie de résidus, à hauteur de 3350 tonnes par an. Ils sont partiellement triés à la source et gérés en dehors du territoire au sein d'une station de compostage. Ils peuvent être valorisés en agriculture, en fonction de leurs caractéristiques, et notamment de leur valeur fertilisante ainsi que de leur taux de contamination en déchets inertes (métaux, plastiques, etc.).

Les boues de stations d'épuration représentent, elles, plus de 700 tonnes par an. Ces matières sont d'une grande hétérogénéité, notamment en raison de la présence inégale des industries sur le territoire, ainsi que de procédés de traitement différents. Les taux de matières sèches varient de 2,5% à 94%. Ces boues, non normées, peuvent dans certains cas connaître une valorisation agricole (notamment lorsque les boues n'incluent pas d'effluents industriels particulièrement polluants), ce qui est le cas pour la majorité des boues issues de communes de zones rurales. L'annexe 2.4 présente le détail des différentes sources de déchets urbains sur le territoire, ainsi que leur tonnage.

Les déchèteries et industries sont concentrées le long de la Drôme, majoritairement dans la partie basse de la vallée. Cette concentration se reflète dans la disponibilité des déchets verts et industriels. Les déchets verts sont rarement déplacés sur des distances supérieures à 10km, notamment en raison du transport qui représente une charge importante en matière de temps et d'argent. Ils sont majoritairement valorisés par les agriculteurs à proximité immédiate des plateformes de stockage ou déchèteries. La Figure 12 présente la répartition spatiale des productions de déchets urbains et industriels.

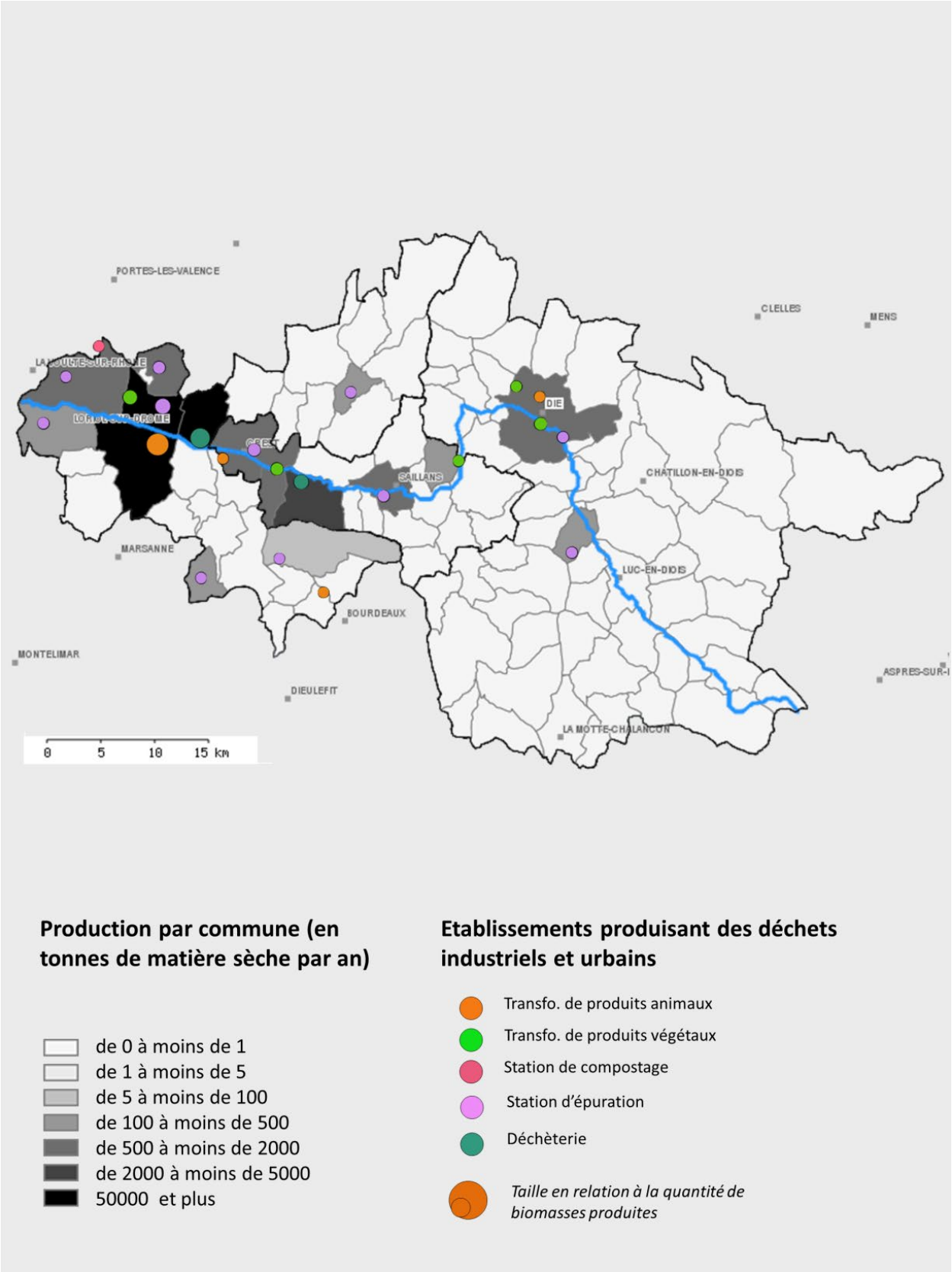


Figure 12 - Répartition de la production de déchets industriels et urbains sur le territoire (Données enquête, représentation SIDDT et Gephi).

1.2. Les apports en matières fertilisantes pour les productions végétales de la Vallée de la Drôme

1.2.1. Les cultures céréalières représentent les plus grands apports en matière de fertilisation azotée du territoire

Le travail d'enquête auprès des agriculteurs a permis de caractériser les apports moyens en matières fertilisante, par grands types de cultures. La Figure 13 présente les apports en matières fertilisantes, en unités d'azote/an, pour différents types de cultures. Les cultures qui présentent les plus hauts apports en matière de fertilisation sont les grandes cultures ainsi que les cultures légumières. Ce sont les BR fortement azotées (notamment les fumiers et fientes de volaille) qui sont principalement épandus sur les cultures céréalières, notamment sur les plus exigeantes (maïs, cultures semencières). Les PPAM, l'arboriculture et la viticulture représentent des apports de BR azotées négligeables en comparaison des cultures céréalières. En effet, ces cultures pérennes mobilisent plus facilement des BR moins chargées en azote (composts de déchets verts).

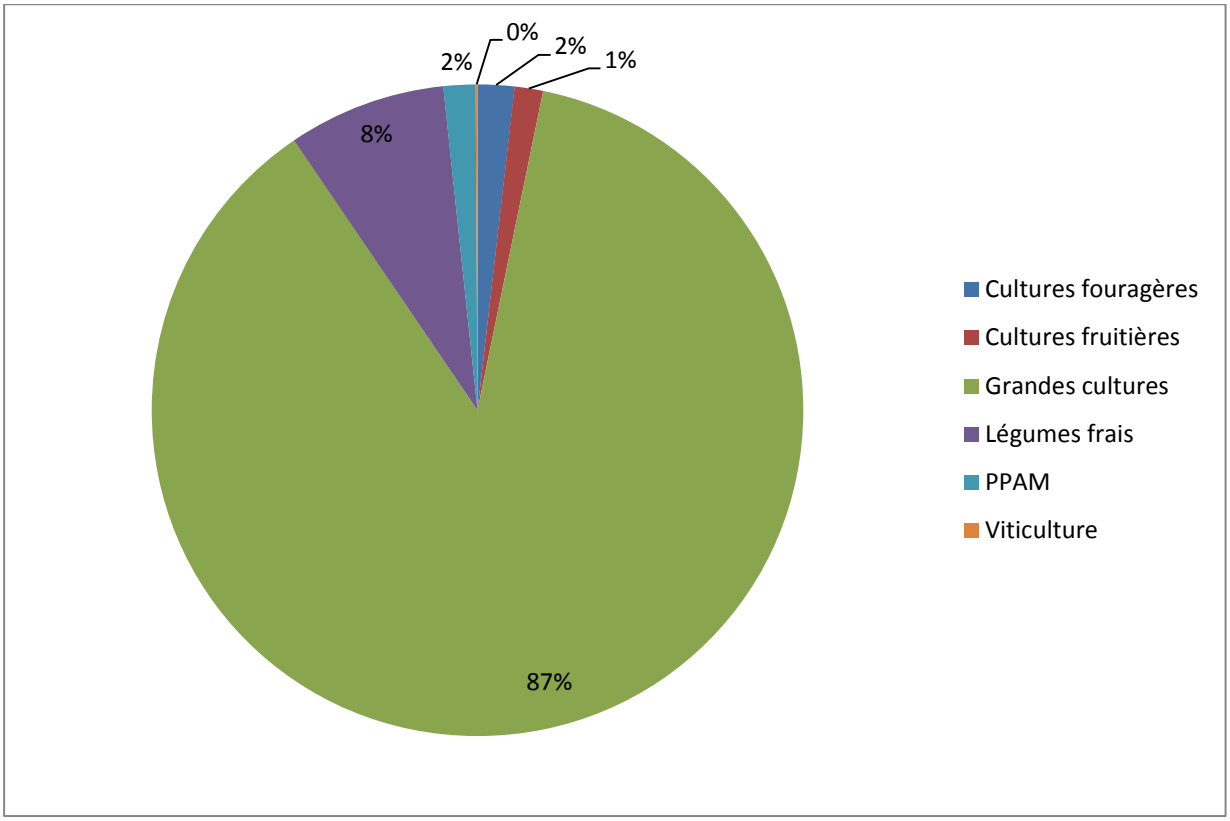


Figure 13 - Apports en matières fertilisantes en pourcentage sur la vallée de la Drôme (Données RPG et enquêtes).

1.2.2. Le territoire a une identité « bio » forte, mais conserve des besoins quantitatifs importants en agriculture conventionnelle

L'agriculture conventionnelle représente l'essentiel des apports azotés (80% du total). Les enquêtes de terrain nous enseignent qu'à l'échelle des exploitations, ceux-ci concernent majoritairement des engrais d'origine chimique. L'analyse de mes entretiens me montre que les agriculteurs « bio » sont les premiers consommateurs de BR, et en particulier des effluents d'élevage.

	Surfaces AB certifiée et en conversion en ha	Part de l'AB sur SAU	Apports moyens en BR en tonnes /ha/an	Apports moyens en BR en unités d'azote/ha /an	Apports de BR sur le territoire en tonnes/an	Apports de fertilisants en unités d'azote /an
TOUTES PV	16840	31%			**64604**	**529901**
Surfaces fourragères	12065	38%	1.05	10	**12668**	**120646**
Fruits	525	32%	2	20	**1050**	**10503**
Grandes cultures	2487	20%	15.2	135	**37806**	**335780**
Légumes frais	200	22%	34	170	**6796**	**33978**
PPAM	394	44%	8.4	50	**3309**	**19696**
Vigne	465	29%	6.4	20	**2975**	**9298**
Autres	704	33%				

Tableau 15 - Apports de BR en tonnage ainsi qu'en unités d'azote par an, par cultures et par surfaces, à l'échelle de la VDD (Données Agence bio 2018, entretiens, calculs BOAT).

Le Tableau 15 détaille la part de la surface agricole utile (SAU) en « bio », à l'échelle de la vallée de la Drôme, ainsi que les apports moyens de BR par cultures. L'agriculture biologique représente 31% de la SAU de la VDD. La part de l'agriculture biologique rapportée à la SAU s'échelonne de 20%, pour les grandes cultures, à 44%, pour les PPAM.

La Figure 14 présente la répartition spatiale des apports de BR sur les cultures bio, en tonnes par an par communes, sur la VDD. Du fait de l'hétérogénéité des besoins en fonction des cultures et de la spécialisation spatiale du territoire, les apports en fertilisation organique ne sont pas répartis de manière homogène : les secteurs ou la céréaliculture, ainsi que les cultures légumières sont majoritairement implantées, entre les communes de Crest et de Loriol, présentent les besoins les plus importants de toute la VDD.

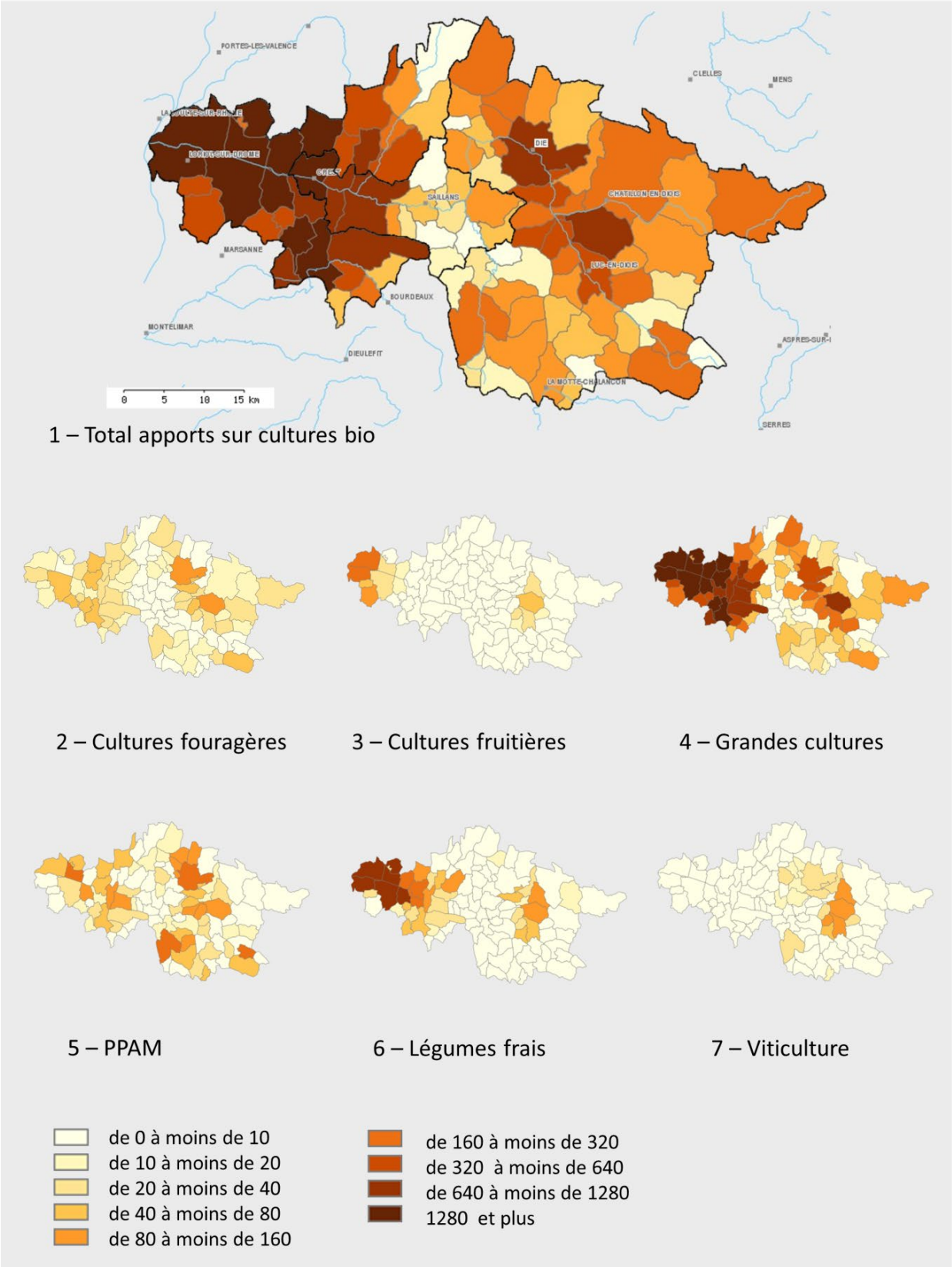


Figure 14 - Apports de BR sur les cultures bio en tonnes par an par communes, sur la VDD (Données Agence Bio et proxies calculés à partir de données d'enquête, représentation SIDDT).

IX.2. **Des situations problématiques : des déséquilibres entre productions et apports**

L'étude comparée des productions et apports de BR me permet de caractériser des déséquilibres entre productions et apports à l'échelle du territoire de la vallée de la Drôme, mais aussi des hétérogénéités au sein du territoire.

2.1. **Des déséquilibres à l'échelle du territoire**

2.1.1. **Les effluents d'élevage sont très loin de répondre aux apports sur cultures**

La Figure 15 présente la comparaison de la production d'effluents d'élevage et les apports sur les systèmes de cultures. En agriculture conventionnelle, seuls 10% des apports sur les cultures sont couverts par la production de BR des élevages locaux. En agriculture biologique, le chiffre est de 25%. Cela signifie que 75% des apports en azote, en agriculture biologique, proviennent d'autre chose que de l'élevage biologique du territoire : d'engrais commerciaux principalement. Le territoire de la vallée de la Drôme est de manière générale, en déficit d'azote, que cela soit en bio ou en conventionnel. En effet, l'ensemble de la production des BR des élevages (conventionnels et biologiques) si elle était épandue sur les parcelles bio, ne couvrirait que 62% des apports pour les cultures végétales en agriculture biologique. De plus, les BR disponibles ne sont pas les mêmes que celles qui sont recherchées par les agriculteurs : les BR à C/N élevé sont en excès, alors que les BR à C/N faible sont fortement recherchées.

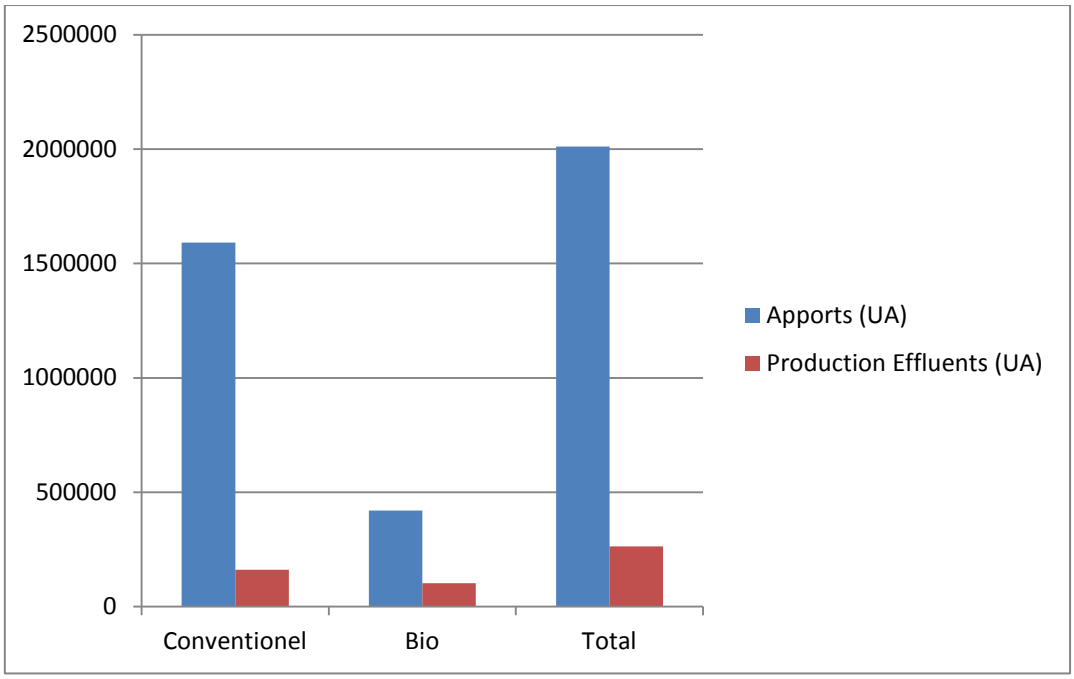


Figure 15 - Comparaison de la production d'effluents d'élevage et des apports sur cultures en unités d'azote, en conventionnel, en bio et au total, à l'échelle de la VDD (Données RA, BDNI, Agence Bio, Calculs personnels).

2.1.2. **Les effluents d'élevage ne suffisent même pas aux apports pour les cultures bio**

La comparaison « *en silos* » des systèmes bio et conventionnels ne reflète pas toute la

réalité. Les effluents d'élevages en agriculture biologique sont obligatoirement épandus sur des cultures elles-mêmes en agriculture biologique. En effet, la réglementation impose, depuis 2012, de valoriser les effluents issus de l'agriculture biologique sur des cultures bio, à chaque fois que cela est possible. Des agriculteurs peuvent ainsi être contraints par la règlementation à exporter leurs fumiers vers des exploitations en agriculture biologique, même s'ils souhaitent les épandre sur leurs propres parcelles en conventionnel.

Néanmoins, la réglementation autorise l'épandage d'effluents conventionnels sur les parcelles en agriculture biologique sous certaines conditions, notamment le compostage. A partir de 2021, les effluents issus d'élevages industriels sont prescrits, mais l'effet de cette mesure s'annonce plutôt faible[56].

2.2. **Des déséquilibres dans la répartition spatiale**

Les déséquilibres entre la production et les apports de BR présentent une hétérogénéité spatiale. Si celle-ci n'est pas un problème en soi, elle induit des échanges et des interdépendances entre territoires, qui peuvent poser des questions logistiques et économiques. J'appuie mes analyses sur deux figures :

- La Figure 16 présente la différence entre la quantité de BR produite et les apports sur cultures en unités d'azote/an.
- La Figure 17 présente la répartition de la quantité de BR produite par surfaces totale et en agriculture biologique en unités d'azote par hectare et par commune.

2.2.1. **La production de biomasses résiduaires et les apports en azote sont concentrés dans la basse vallée de la Drôme**

La basse vallée de la Drôme (entre les communes de Loriol et Crest) présente une plus forte concentration d'effluents d'élevage, aussi bien en conventionnel qu'en agriculture biologique et dont les élevages avicoles sont les principaux contributeurs. La Figure 16 nous montre que ce secteur est aussi, paradoxalement, le plus déficitaire en BR : les élevages intensifs de volaille, ainsi que les industries présentes ne suffisent pas à combler les besoins d'une agriculture biologique céréalière intensive.

Ces déséquilibres se traduisent par l'inclusion de certaines communes de ce secteur en zone dite « vulnérable » : le classement concerne des communes où la pollution des eaux par les nitrates menace à court terme la qualité des milieux aquatiques et plus particulièrement l'alimentation en eau potable[57].

[56] La notion d'élevage « industriel » a longtemps manqué de définition administrative. Le 30 octobre 2020, le Comité National de l'AB (CNAB) a apporté une clarification : sont exclus notamment les élevages en système caillebotis ou en cage. Les seuils restent très larges : 85 000 emplacements pour les poulets ; 60 000 emplacements pour les poules, ce qui limitera à coup sur la portée de ce règlement.

[57] Sont désignées comme zones vulnérables les zones où (1) Les eaux douces superficielles et souterraines, notamment celles destinées à l'alimentation en eau potable, qui risquent d'avoir une teneur en nitrates supérieure à 50mg/l ; (2) Les eaux douces superficielles qui ont subi ou montrent une tendance à l'eutrophisation susceptible d'être combattue de manière efficace par une réduction des apports en azote. Dans la Drôme, celles-ci sont délimitées par l'arrêté préfectoral de désignation n°17-055 du 21 février 2017, ainsi que l'arrêté préfectoral de

Pour le département de la Drôme, 131 communes sont classées en zone vulnérable aux nitrates, dont 10 communes dans la basse vallée de la Drôme. Cette classification administrative se traduit par des contraintes spécifiques, déclarations, restrictions sur les pratiques de fertilisation qui sont largement dénoncées comme problématiques par les agriculteurs.

Lors de mes entretiens, certains agriculteurs ont exprimé explicitement que cette situation pose des problèmes agronomiques pour leur exploitation, la présence d'élevages relativement intensifs quant au nombre d'animaux par hectare de SAU leur impose d'exporter leurs effluents. La composition des fientes de volailles fait qu'elles ne peuvent être complètement valorisées localement, sous peine de surcharger durablement les sols en potasse.

2.2.2. **Le Diois et le pays de Saillans : un certain équilibre**

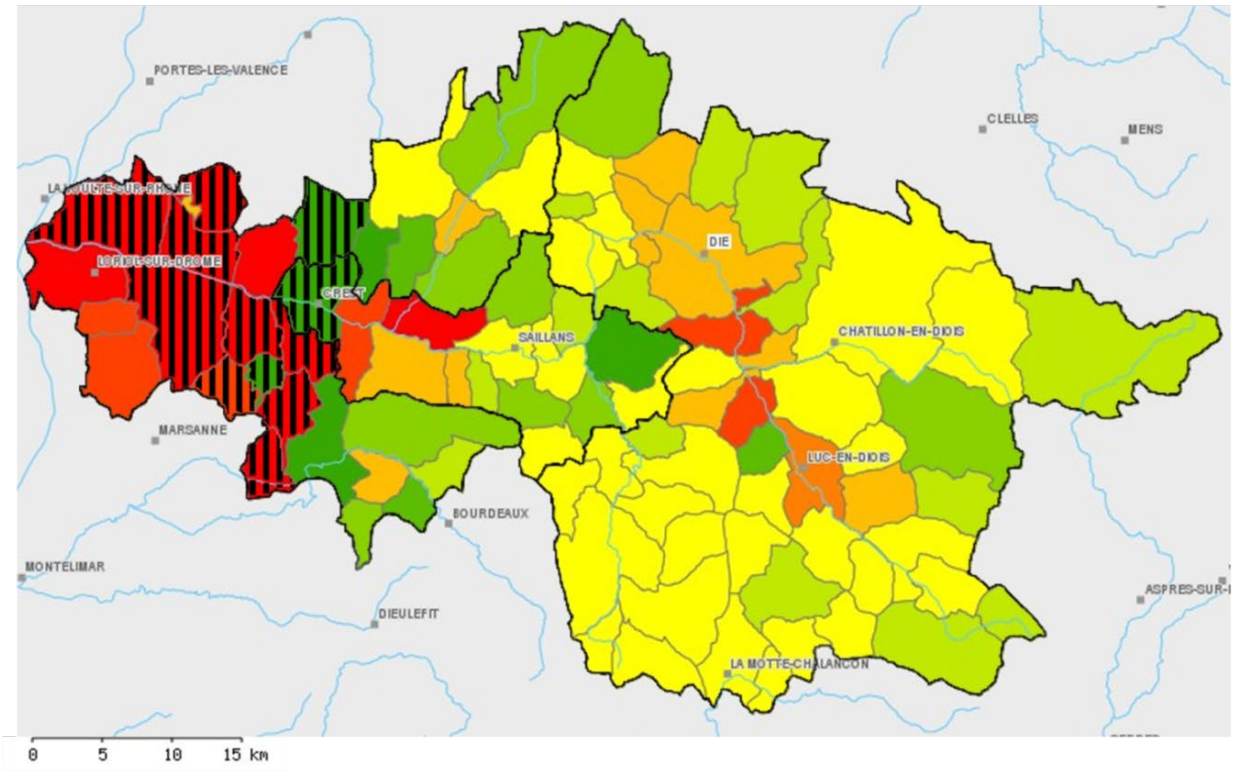
En comparaison, le Diois et le pays de Saillans semblent plus équilibrés. Ces territoires présentent bien un déficit de BR, mais il est moindre. En cause, la plus faible surface occupée par des cultures présentant des besoins importants, et en particulier les grandes cultures irriguées. A la place, on trouve des pâturages, des landes, en particulier dans le Diois, mais aussi des cultures aux besoins plus faibles telles que des PPAM ou des vignes.

Cet équilibre macroscopique masque des déséquilibres à des échelles plus fines. Dans la 3CPS, les communes de Mirabel-et-Blancons et d'Aouste-sur-Sye présentent un déficit marqué en termes d'unités d'azote (en rouge sur la Figure 16). Dans le Diois et notamment les communes le long de la rivière Drôme où se concentre la population, le déséquilibre est plus fort en particulier pour les communes de Molières-Glandaz, Aix-en-Diois, et Recoubeau-Jansac (en rouge ou orange) présentant un déficit important.

Ramenés à la SAU (Figure 17), les déséquilibres entre production et apports en unités d'azote révèlent une autre hétérogénéité : alors que dans le Diois, la majorité des communes présentent un chargement à l'hectare faible en unités d'azote d'effluents, la situation est différente dans la 3CPS puisqu'il s'agit d'un territoire plus habité, où l'on trouve une concentration importante d'élevages avicoles, mais aussi des élevages caprins. Parmi ces élevages, certaines exploitations ont la spécificité de ne pas disposer de terres pour épandre (ou alors très peu de terre, sans commune mesure avec la taille de l'élevage), et doivent donc exporter la grande majorité de leurs fumiers. En contraste avec ce qu'on observe dans la CCVD, les exploitations de la 3CPS avec un atelier avicole disposent moins souvent de grandes surfaces de terres cultivées en « grandes culture » pour épandre sur l'exploitation ou à proximité immédiate.

---

délimitation infracommunale n°17-236 du 24 mai 2017.



moins de -4000
de -4000 à moins de -3000
de -3000 à moins de -2000
de -2000 à moins de -1000
de -1000 à moins de 0
de 0 à moins de 1000
de 1000 à moins de 2000
de 2000 à moins de 3000
3000 et plus

Communes déclarées en zone vulnérable (2017)

Rivières

Préfecture
Sous-Préfecture
Chef-lieu de canton

Figure 16 – Ecart entre la production de BR élevage et les apports de biomasses résiduaires pour les cultures (en unités d'azote/an) (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT).

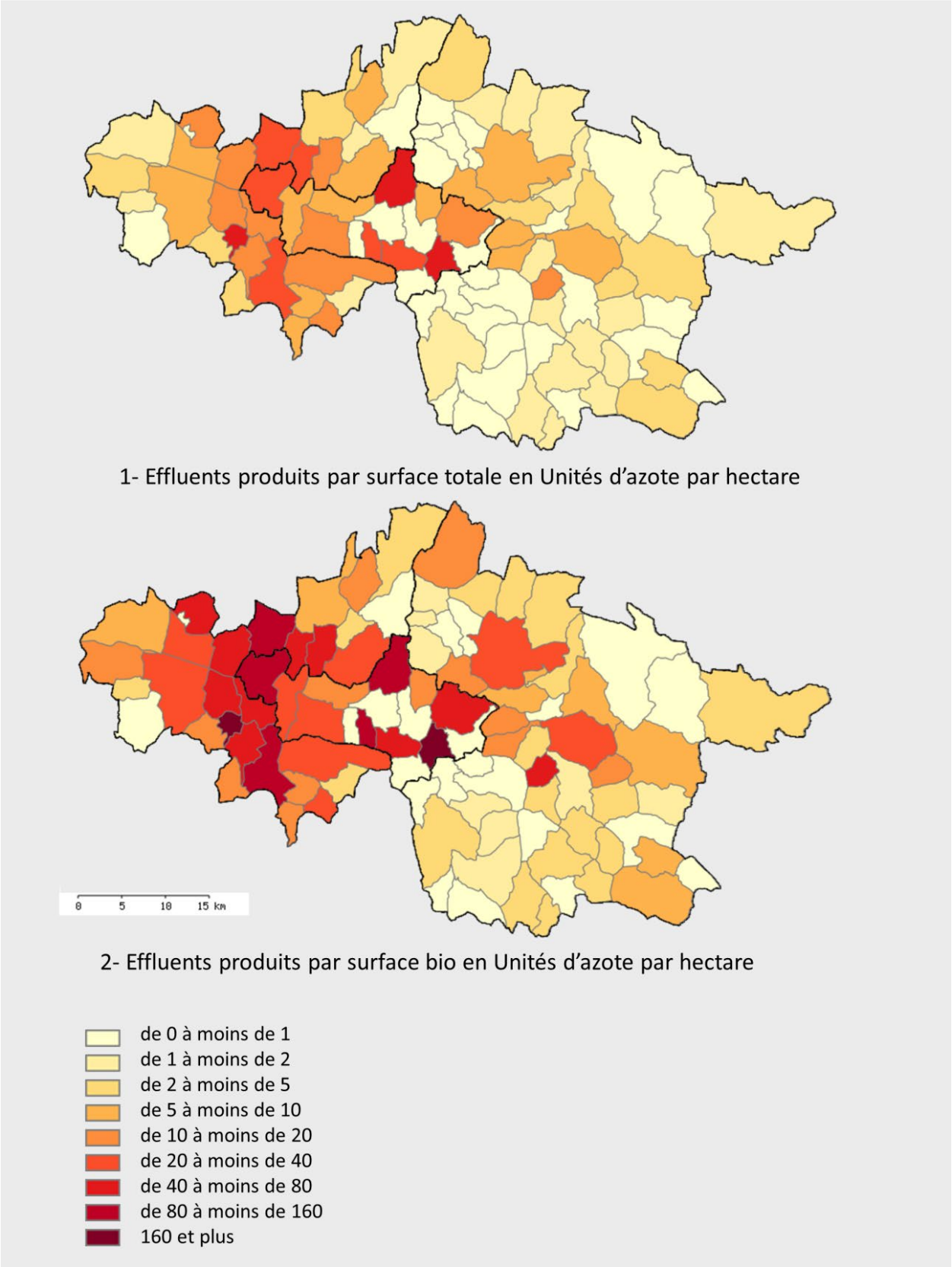


Figure 17 - Répartition de la quantité d'effluents produits par SAU en unités d'azote par hectare et par commune (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT).

IX.3. Une approche relationnelle : circulation des biomasses résiduaires parmi les acteurs économiques, entre interdépendance et concurrence

Les exploitations sur lesquelles j'ai enquêté sont hétérogènes dans leur production, leur utilisation et leur échange des biomasses résiduaires. Ce résultat n'est pas étonnant puisque le terrain de la vallée de la Drôme est réputé pour la diversité des systèmes de production agricoles. Cette hétérogénéité, qui prend notamment la forme de déséquilibres entre la production et les apports de diverses BR, se traduit par des échanges de BR et des achats d'engrais commerciaux.

3.1. Différents types d'exploitations agricoles selon leur participation à la circulation des biomasses résiduaires

3.1.1. Cinq types d'exploitations selon la production, l'utilisation et les échange de biomasses résiduaires

Afin de rendre lisible cette hétérogénéité, j'ai effectué un travail typologique, me permettant d'identifier cinq types d'exploitations agricoles (EA) qui se distinguent en fonction de leur dépendance aux engrais commerciaux et de leurs échanges de BR : substituants, importateurs nets, producteurs-échangeurs, hubs et quasi-autonomes. Le Tableau 16 (page 131) présente les types d'EA en fonction de trois indicateurs, ainsi qu'une description des systèmes de production associés et des BR les plus mobilisées.

Les substituants (7 cas)

Les « substituants » regroupent des exploitations qui ne mobilisent pas de BR comme source d'azote. Leur système de productions s'appuie sur une substitution des BR par une autre source d'azote : les engrais commerciaux. On retrouve dans cette catégorie des exploitations céréalières conventionnelles, de surfaces relativement élevées (François(Agri12), Didier(Agri31), Hervé(Agri13)) et qui donnent une place importante à la fertilisation chimique. Certaines exploitations en agriculture biologique entrent aussi dans cette catégorie, en dissociant la question de la gestion du carbone et de l'azote dans leur système de production. Le carbone est géré grâce à des BR à rapport C/N fort, comme des déchets verts ou des pailles, ainsi que des pratiques de conservation comme un travail du sol limité ou des rotations longues. L'apport en azote s'effectue exclusivement à l'aide d'engrais commerciaux. Dans mon échantillon, cela concerne une exploitation céréalière (Fréderic(Agri25)) ainsi qu'une exploitation arboricole et viticole (Etienne(Agri28)). On retrouve aussi deux exploitations avicoles, qui font le choix d'exporter leurs fientes et fumiers plutôt que de les utiliser, et d'acheter des engrais commerciaux à la place (Sophie(Agri27), Michael(Agri24)), notamment pour des raisons de simplification des itinéraires techniques et de manque de matériel.

N - circulaire	Type	Dépendance aux engrais commerciaux	C/N <25	C/N > 25	Nb EA	Systèmes d'exploitation typiques	Biomasses résiduaires aux tonnages les plus importants
1	Substituant	Haute	Pas d'échange Export		7	-Céréaliers conventionnels -Céréaliers Bio qui séparent apports de C et de N et qui s'appuient sur des engrais commerciaux -Agriculteurs qui exportent des effluents sans les valoriser et y substituent des engrais commerciaux	1. Déchets verts 2. Compost végétal 3. Fumiers avicoles
2	Importateur net	Faible	Import		10	-Exploitations en bio avec des cultures à haute valeur ajoutée (semences, maraîchage, viticulture)	1. Déchets verts 2. Compost mixte 3. Fumiers avicoles
3	Producteur -échangeur		Import ou Export	Export Import	7	-Polyculteurs-éleveurs de taille moyenne -Petites exploitations de polyculture	1. Fumiers ovins 2. Compost d'effluents d'élevage 3. Fumiers avicoles
4	Hub		Import et export		6	-Elevages bovin ou poly-élevages -Négociants en paille -Composteurs-revendeurs	1. Fumiers avicoles 2. Déchets industriels 3. Fumiers bovins
5	Quasi-autonome		Pas d'échange		2	-Petites exploitations polyculture-élevage	1. Fumiers ovins 2. Fumiers bovins 3. Compost d'effluents d'élevage
+ circulaire							

Tableau 16 - Typologie d'agriculteurs en fonction de leur dépendance aux engrais commerciaux et de leurs échanges de BR.

Les importateurs nets (10 cas)

Les « importateurs nets » sont dépendants des BR pour leur fertilisation azotée et leurs amendements. Ils importent aussi bien des biomasses riches en azote (fumiers, composts) que des biomasses fortement carbonées (déchets verts, etc.). La majorité représente des exploitations agricoles en agriculture biologique sans élevage, qui entretiennent la fertilité de leur sol par des apports de multiples BR. Elles produisent des cultures à haute valeur ajoutée, notamment les cultures légumières, semencières ainsi que la viticulture. Parmi les petites exploitations, on compte des exploitations en maraîchage biologique (Marc(Agri3), Jean(Agri2), Brigitte(Agri17)) ou en viticulture (Sylvie(Agri23)). On compte aussi des exploitations céréalières en bio, productrices de semences, et qui s'appuient majoritairement sur des fumiers et divers déchets verts venant de l'extérieur (Claude(Agri6), Bernard(Agri32), Luc(Agri7), Ivan(Agri8), Patrick(Agri19)). Les importateurs nets mobilisent principalement des déchets verts et des fumiers avicoles. Ils s'appuient régulièrement sur des composts mixtes (animal et végétal). Les importateurs nets, disposent de marges de main d'œuvre importantes, notamment du fait de cultures à haute valeur ajoutée. Ils sont en mesure d'importer des BR diverses : « *Il y a deux types de bio : ceux qui se contentent de ce qu'ils ont, et ceux qui complètent. Ça suppose des produits à haute valeur ajoutée, car ça coûte cher* » (Lina(expert11)).

Les producteurs-échangeurs (7 cas)

Les « producteurs-échangeurs » produisent et exportent au moins un type de BR. On distingue deux sous-types : les producteurs-échangeurs C (carbone) et les producteurs-échangeurs N (azote), selon que les exploitations se spécialisent dans l'élevage ou dans les cultures.

Les producteurs-échangeurs N exportent des BR à rapport C/N faible. Ce sont typiquement des éleveurs (chèvres, poules pondeuses), qui utilisent et exportent leurs surplus de fumiers (Sébastien(Agri29), Michel(Agri4), Jeanne(Agri5), Sylvain(Agri10)). Ils participent activement à la circulation des flux de C et de N, importent potentiellement des BR à C/N fort, notamment de la paille pour leurs élevages, et sont moyennement dépendants des engrais commerciaux.

Les producteurs-échangeurs C importent de l'azote, qui prend la forme de matières organiques, destinées à la fertilisation. Le carbone exporté concerne les pailles de céréales, vendues en ballots ou exportées sur pied. Il s'agit principalement de petites exploitations de polycultures, en bio ou en conversion bio (Gérard(Agri1), Kévin(Agri11), Patrice(Agri22)). Les principales BR mobilisées sont des fumiers ovins et avicoles, ainsi que des composts d'effluents d'élevage.

Les hubs (6 cas)

Les « hubs » regroupent des exploitations où se pratiquent l'import et l'export pour au moins un type de biomasse. Ce sont des exploitations qui vont être amenées à jouer le rôle de plaque-tournante, en centralisant des flux de BR pour d'autres agriculteurs. Dans cette catégorie, on trouve des exploitations spécialisées en élevage (bovins, caprins), qui exportent leurs fumiers et qui complètent cette activité par une gestion des fumiers d'autres agriculteurs (Arthur(Agri26), David(Agri21)). Dans la même catégorie, certaines exploitations sans élevage importent des BR diverses, compostent, et fournissent du compost à d'autres agriculteurs (Léo(Agri30), Eric(Agri16)). Le réseau joue un rôle important : « *Il y a beaucoup de vignerons qui me contactent [..] Je connais les éleveurs de la vallée et je connais les*

vignerons à Die. » (Arthur[(Agri26)]) Cette catégorie concerne aussi des exploitations de grandes cultures qui pratiquent le commerce de pailles (David[(Agri21)], Laurent[(Agri20)]). Les hubs mobilisent des fumiers animaux divers (notamment ovins et avicoles) mais aussi des déchets industriels (transformation de fruits, lavandes).

Les « quasi-autonomes » (2 cas)

Les « quasi-autonomes » regroupent des exploitations qui n'importent pas de BR à vocation fertilisante et qui sont faiblement dépendants aux engrais commerciaux, chimiques ou organiques. Il s'agit d'exploitations en polyculture-élevage, de petite taille, en agriculture biologique (Jean[(Agri18)]). La biomasse est entretenue dans le sol, notamment à l'aide de cultures de légumineuses et d'un travail du sol peu profond. Les BR les plus mobilisées sont les fumiers ovins et bovins. Si je parle de quasi-autonomes et non d'agriculteurs autonomes, c'est que, dans l'échantillon enquêté, l'autonomie réelle n'existait pas. Tous les agriculteurs étaient dépendants, au moins dans de faibles proportions, d'engrais commerciaux.

3.2. **Des exploitations qui entretiennent des relations d'interdépendance et de concurrence avec d'autres acteurs économiques au sein des réseaux métaboliques**

Les figures 18 et 19 présentent une vue des relations d'interdépendances en termes de flux de BR entre les types d'exploitation et les autres acteurs économiques. La Figure 18. offre une représentation agrégée, alors que la Figure 19 distingue les BR par types. Dans chaque schéma, les nœuds sont organisés en deux cercles concentriques. Le premier cercle, concerne le monde agricole et sept types d'agriculteurs y sont distingués : les cinq types d'agriculteurs identifiés (producteurs-échangeurs, hubs, importateurs nets, substituants et quasi-autonomes) auquel se rajoute une catégorie neutre d'agriculteurs non enquêtés du territoire et une autre d'agriculteurs non enquêté extérieurs au territoire. Un deuxième cercle concerne les acteurs non-agriculteurs : transformateurs, négoces, collectivités. La couleur de nœuds permet de distinguer les différents types d'acteurs.

La lecture des figures associée à l'analyse des enquêtes effectuées montrent comment les échanges entre acteurs économiques s'organisent, en fonction des BR, à trois échelles différentes :

1. La substitution des biomasses résiduaires par des engrais commerciaux est ancrée dans des réseaux globaux.
2. La gestion des BR d'origine agricole s'effectue à l'échelle locale, bien que cette gestion soit de plus en plus fragilisée.
3. La gestion des BR d'origine non agricole s'effectue majoritairement à l'échelle régionale et nationale, malgré des tentatives de relocalisation.

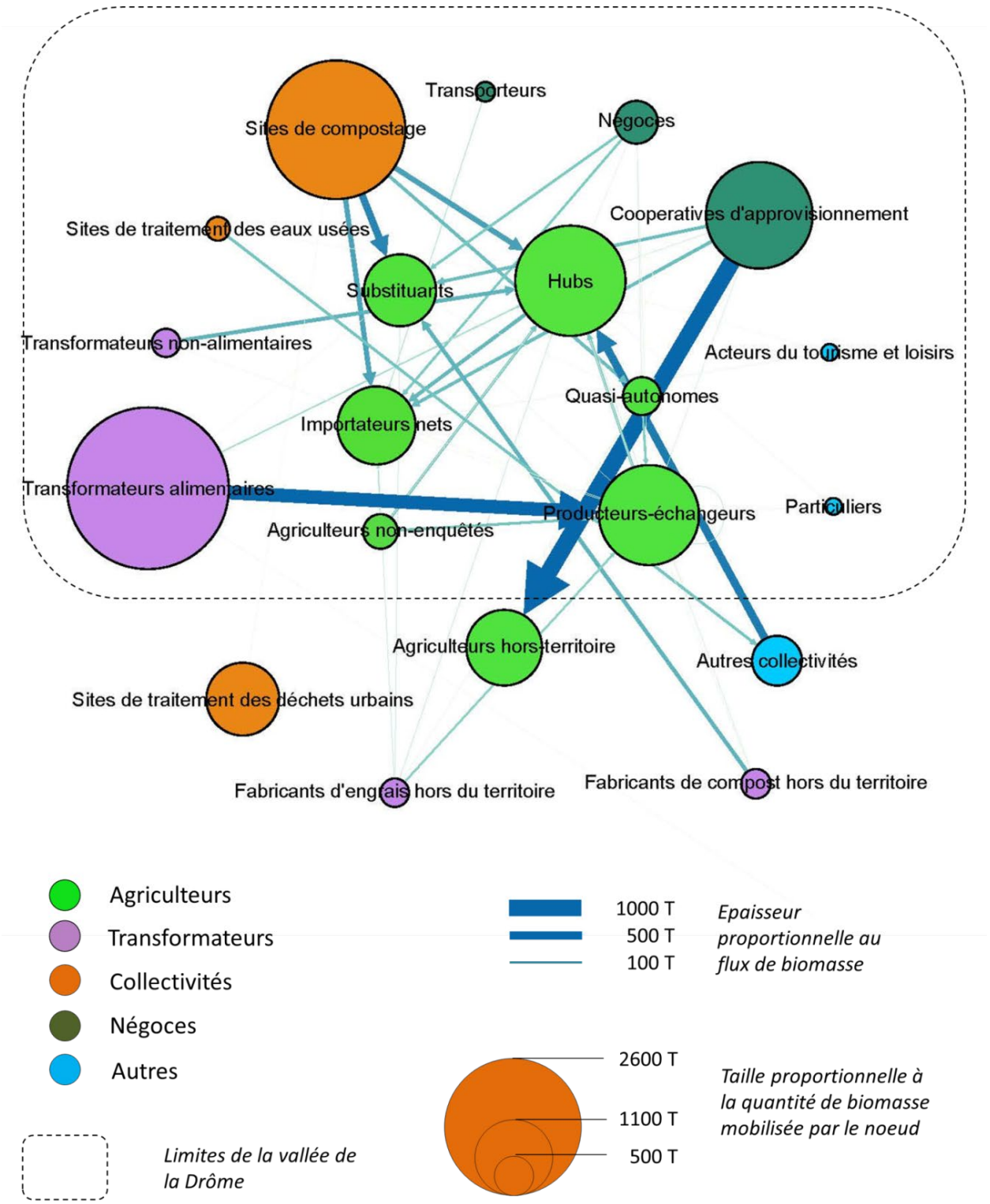


Figure 18 - Représentation des réseaux d'interdépendance entre acteurs économiques en termes de BR, totales, indifférenciées (Données d'enquêtes, représentation Gephi).

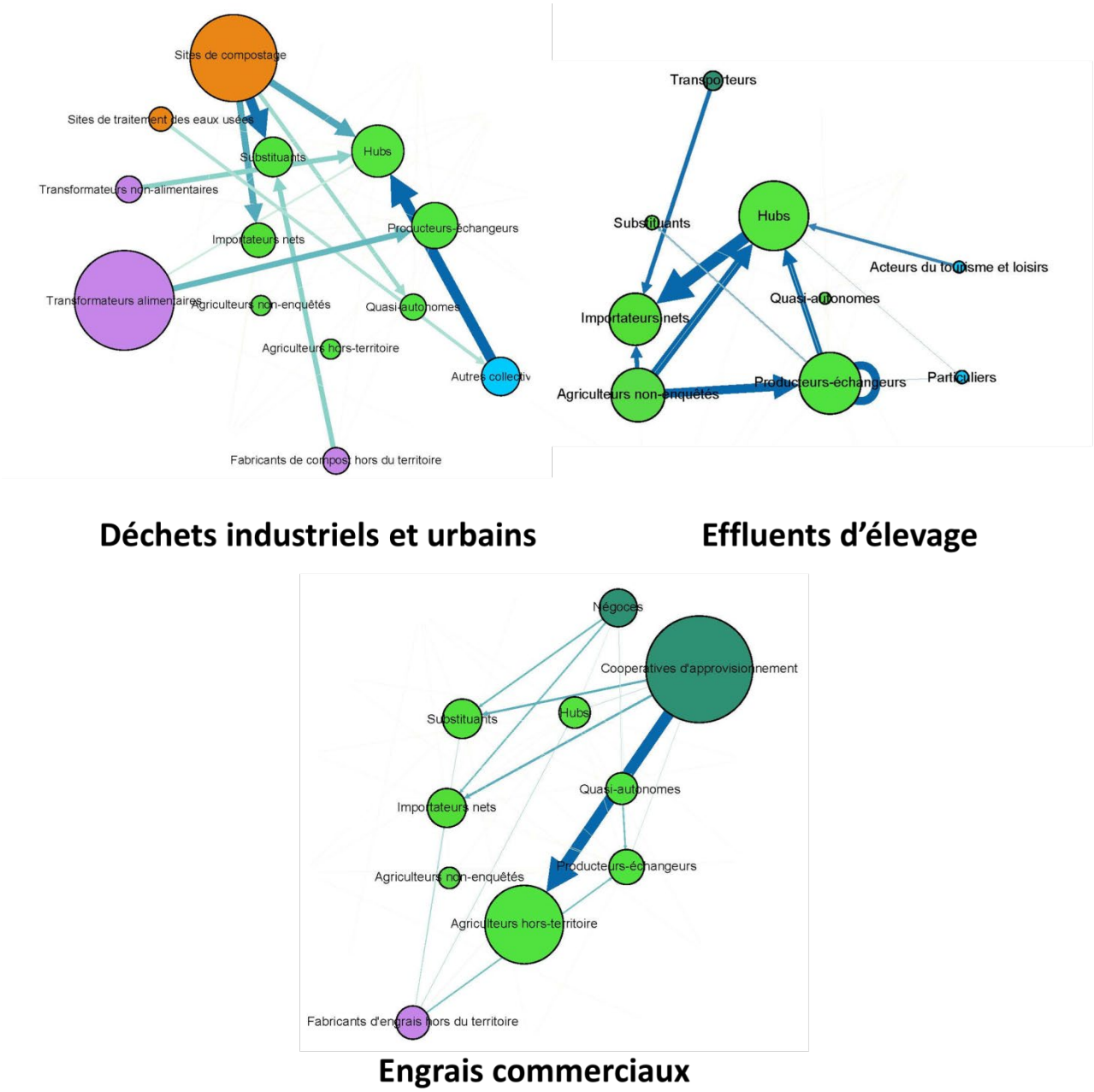


Figure 19 - Représentation des réseaux d'interdépendance entre acteurs économiques en matière de BR, distingués par types, ainsi que les engrais commerciaux (Données d'enquêtes, représentation Gephi).

3.2.1. **La substitution des biomasses résiduaires par des engrais commerciaux est ancrée dans des réseaux globaux**

Les agriculteurs « substituants » entretiennent des relations privilégiées avec les coopératives et négoces, en ce qui concerne leurs approvisionnements en engrais azotés. La substitution concerne, dans une moindre mesure, quasiment tous les agriculteurs : même les agriculteurs dits « quasi-autonomes » importent des engrais commerciaux, au travers de coopératives et négoces. La logique de substitution nous donne à voir des échanges qui échappent largement aux acteurs du territoire, et s'effectuent à des échelles plus larges.

Des fabricants d'engrais à l'extérieur du territoire

Il n'y a pas de fabricants d'engrais commerciaux sur le territoire, l'ensemble de ceux-ci provient de fournisseurs extérieurs. Sur les 4200 tonnes d'engrais organiques vendus par Valsoleil, 1500 tonnes représentent des Protéines Animales Transformées (PAT) et les 2700 tonnes restantes consistent en des fumiers de bergerie en bouchon, produits par Ovinalp et Frayssinet. L'approvisionnement agricole (notamment en engrais) est intimement lié à la filière céréales. La coopérative d'approvisionnement locale, Valsoleil, reste encore aujourd'hui fortement liée à la Drômoise des Céréales, coopérative céréalière, les deux entités partageant le même conseil d'administration. Si le siège de l'exploitation est proche de la vallée de la Drôme mais néanmoins extérieur (dans la commune de Montélier), le territoire de la coopérative dépasse largement celui de la vallée de la Drôme et donc la majorité des agriculteurs approvisionnés sont extérieurs à notre terrain d'étude. En 2018, Valsoleil occupe 50% du marché de l'agrofourniture sur le territoire (Lina[(expert11)]).. Les autres fournisseurs d'intrants sont des négoces privés, qui incluent des établissements dépendants d'autres coopératives, notamment la Dauphinoise. Certaines d'entre elles disposant de surfaces commerciales ou d'entrepôts sur le territoire. Les coopératives, acteurs historiques de l'approvisionnement, se retrouvent aujourd'hui en concurrence avec des entreprises sans ancrage physique sur celui-ci, et recrutant leur clientèle grâce à des commerciaux mobiles. Un troisième type d'acteurs que sont les entreprises étrangères (notamment italiennes et espagnoles) entrent aujourd'hui sur le marché de l'approvisionnement agricole, en proposant des produits à la livraison, à des prix compétitifs démarchant principalement sur internet. La dépendance vis-à-vis de ces négoces est difficile à quantifier, mais mes enquêtes auprès d'agriculteurs me font supposer qu'elle n'est pas négligeable.

Une filière de production globalisée : l'exemple des protéines animales transformées

La dépendance à l'extérieur du territoire est rendue plus visible en remontant la filière des engrais commerciaux. Les protéines animales transformées (PAT) regroupent, avec les poudres de viandes, une large diversité de matières provenant de la transformation de déchets d'abattoir et exclues, pour une raison ou pour une autre, de l'alimentation humaine. On compte par exemple des farines de plumes, d'os, d'ongles. Ces PAT sont la principale matière fertilisante achetée par Valsoleil. Il existe de nombreux abattoirs et de transformateurs finaux de ces produits, mais cette filière a la particularité de connaître un goulot d'étranglement à savoir que deux entreprises de « *sourcing »* dominent le marché en France : Saria, qui a son siège social en Allemagne, et 10 usines en France ainsi qu'Akiolis, basée au Mans, avec 11 usines sur le territoire national. Ce sont elles qui réalisent la première transformation des déchets. Ainsi, il n'y a pas de filière locale pour la transformation des déchets d'abattoirs en PAT, tout est centralisé par ces entreprises qui

opèrent à l'échelle continentale. Les PAT sont ensuite transformées en une diversité d'engrais commerciaux, adaptés aux multiples filières et systèmes de production. A l'image des engrais minéraux, ces produits sont principalement caractérisés par leur composition en N (azote), P (potassium) et K (phosphore) : 9-5-0, 10-2-2, etc. Dans notre panel d'agriculteurs enquêtés, les PAT vont principalement aux grandes cultures bios, notamment pour des raisons de coût. Les PAT ne sont pas valorisées uniquement en tant qu'engrais, mais aussi en tant que matières premières rentrant dans la composition d'aliments pour les animaux de compagnie (« *pet-food* »). La concurrence entre ces filières n'a pas lieu à l'échelle de la vallée de la Drôme, néanmoins, on peut y observer ses effets : la société Royal Bernard, abattoir et transformateur de viande de volaille, exporte 1250 tonnes par an d'abats à Diana, producteur de « pet-food » dans le Morbihan. Valsoleil, coopérative d'approvisionnement agricole, peine à capter certains produits : « *La plume est extrêmement recherchée pour tout ce qui est industrie du pet-food et l'aquaculture »* (Lina[(expert11)]). Elle est aussi un intrant de choix pour la préparation d'engrais azotés (sous la forme de « *jus de plumes* »). On observe ainsi une diversité de revendeurs de produits à base de PAT de plus en plus grande, mais qui, dans une certaine mesure, masque une faible diversité de sources d'approvisionnement. Cela participe à rendre l'approvisionnement agricole vulnérable à l'évolution des marchés européens sur une multitude de filières (production animale, pet-food, approvisionnement agricole), créant ainsi des tensions entre les acteurs mobilisant les BR.

3.2.2. **La gestion des biomasses résiduaires d'origine agricole s'effectue à l'échelle locale, bien que cette gestion soit de plus en plus fragilisée**

Des échanges entre agriculteurs

Les échanges des BR d'origine agricole s'inscrivent généralement dans des échanges entre agriculteurs, qui ont lieu majoritairement à l'échelle locale. Ils concernent principalement des agriculteurs du même type : les « producteurs-échangeurs ». Ces échanges traduisent une complémentarité bien connue du monde agricole qu'est la complémentarité culture-élevage, et dépassent parfois le cadre strict des échanges de matière en incluant des relations d'entraide entre agriculteurs. Cette relation de complémentarité concerne certains systèmes plus que d'autres. On observe ainsi des échanges soutenus entre aviculture et grandes cultures, en particulier dans la basse vallée de la Drôme, où ces deux systèmes coexistent. C'est ce que confirme un élu à la coopérative : « *Les aviculteurs sont aussi souvent des producteurs de grandes cultures, il y a une liaison assez facile* » (Jacques[(expert10)]). Dans la partie haute de la vallée, et notamment dans le Diois, ce sont plutôt des interdépendances entre éleveurs caprins ou ovins et des maraîchers qui sont observées, les premiers fournissant des fumiers aux seconds.

Les échanges entre cultures et élevages dépassent aussi parfois des limites du territoire. Les échanges les plus importants concernent des cultivateurs de la vallée et des éleveurs du Vercors. Ils sont souvent effectués par les agriculteurs eux-mêmes, échangeant des pailles ou des fourrages contre du fumier. D'autres échanges sont plus distants, notamment avec des zones de montagnes en Savoie : « *ça c'est un peu toujours pratiqué. Il se monte de la paille dans les Savoies, et on voit redescendre les semi-remorques de fumier, de bovin » (Jacques[(expert10)])*. Ces échanges distants font alors appel à des transporteurs privés : l'entreprise Dié transporte en moyenne 350 tonnes de pailles dans la vallée de la Drôme. Par ailleurs, certains éleveurs du territoire se retrouvent obligés d'exporter leur fumier à des fins de traitement de celui-ci, suite à l'identification d'une contamination à la salmonellose

sur leur élevage[58].

Une autre partie de cette complémentarité passe par des échanges structurés par des agriculteurs « hubs ». Ils organisent autour d'eux des réseaux hétérogènes d'agriculteurs : producteurs-échangeurs, importateurs-nets. Des éleveurs bovins « hubs » organisent autour d'eux des réseaux larges d'agriculteurs, notamment des maraîchers dépendants pour la fertilisation. Ils contribuent ainsi à donner une place importante à l'élevage bovin dans le métabolisme des BR de la VDD.

Des biomasses résiduaires exportées en dehors du monde agricole

Les BR sont parfois exportées vers des destinations non agricoles. Certaines de ces destinations peuvent être situées sur le territoire de la VDD comme c'est le cas pour les particuliers qui récupèrent parfois du fumier ou des composts chez des éleveurs, dans un cadre de relations de bon voisinage. Bien qu'il soit difficile de quantifier ces exports, mes enquêtes me poussent à croire qu'ils représentent des volumes négligeables.

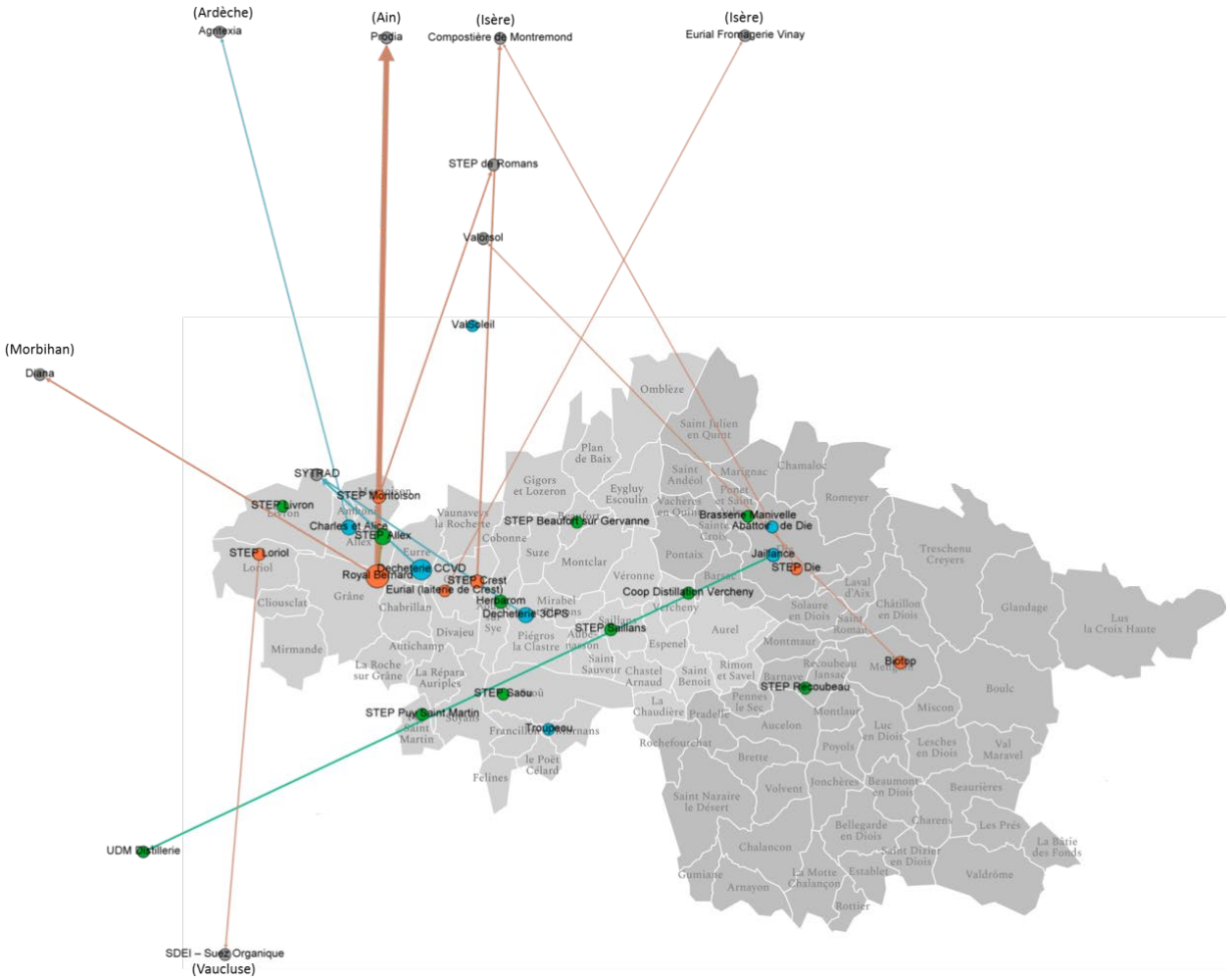
Les contaminations des élevages à la salmonellose peuvent aussi contribuer à générer des exports de BR. Pour les agriculteurs de la VDD, l'entreprise Jamonet (extérieure au territoire, près de Chatuzange-le-Goubet) est l'unique établissement agréé pour traiter les fumiers salmonellés. Les agriculteurs n'ont pas d'autre choix que d'y faire appel en cas de contamination.

Les BR peuvent aussi être exportées en vue d'usages énergétiques. Ainsi, pendant la sécheresse de 2018, l'export de pailles du territoire destinées à des méthaniseurs allemands a été signalé. Ces exports restent marginaux, mais ils restent à surveiller, étant donné qu'ils entrent en concurrence directe avec la valorisation locale de ces BR et les activités agricoles.

3.2.3. **La gestion des biomasses résiduaires d'origine non agricole en tension entre échelle locale et globale**

Les déchets industriels et urbains sont valorisés auprès d'agriculteurs à proximité immédiate, ou exportés en dehors du territoire. La Figure 20 présente la valorisation de chaque site de production de déchets industriels et urbains. Elle distingue les sites qui n'ont aucune valorisation agricole locale (avec épandage), ceux pour lesquels cette valorisation est partielle, et ceux pour lesquelles elle est totale. Dans les deux premiers cas, la destination des BR est indiquée. La valorisation locale et agricole des déchets industriels et urbains s'inscrit notamment dans le cadre de plans d'épandages. Ceux-ci s'inscrivent dans la durée, et traduisent un engagement, généralement sur plusieurs années, entre l'entreprise ou la collectivité et un ou plusieurs agriculteurs.

[58] La salmonelle est une bactérie, endémique dans les élevages. La contamination ne se traduit pas nécessairement par la maladie des animaux. Mais elle se traduit par de multiples contraintes techniques et réglementaires : si la conservation des fumiers contaminés était parfois tolérée, de plus en plus d'agriculteurs se voient contraints d'exporter leurs fumiers vers des centres agréés, réalisant un compostage à haute température.



Noeuds

- Sans valorisation agricole locale
- Valorisation agricole locale partielle
- Valorisation agricole locale complète

Taille en relation à la quantité de biomasses produites

Liens

Taille proportionnelle à la quantité de biomasses

Figure 20 - Valorisation des déchets industriels et urbains (Données d'enquête, représentation Gephi).

Des déchets industriels d'origine végétale valorisés à l'échelle régionale

Les principales industries du territoire (Jaillance, Charles & Alice, Royal Bernard) exportent tout ou partie de leurs déchets. Les drèches de vinification (1200 tonnes) de la coopérative viticole Jaillance sont exportées à la distillerie de Vallon Pont D'Arc (Ardèche, 51km[59]). Depuis 2018, la coopérative récupère une partie des drèches pour les restituer à ses adhérents. Le transformateur de fruits Charles & Alice exporte ses pulpes (400 tonnes) à Agritexia, à Eclassan (Ardèche, 45km). Les eaux de rinçage (800 tonnes) et les drèches (1200 tonnes) sont par contre valorisées localement, à moins de 10km (épandues et en alimentation porcine, respectivement). Ces BR d'origine végétale, si elles ne sont pas toutes valorisées en agriculture, ont vu certaines contraintes règlementaires se lever quant à leur valorisation locale dans d'autres secteurs. Ainsi, jusqu'en 2014, les résidus de vinifications devaient être obligatoirement valorisés en distillerie. Un décret du 18 août 2014 relatif à la valorisation des résidus de la vinification, met fin au quasi-monopole des distilleries. Désormais, les résidus vinicoles peuvent être valorisés par méthanisation, compostage, épandage ou par les distilleries.

Des déchets industriels d'origine animale intégrés dans des réseaux à l'échelle nationale

En comparaison, les BR d'origine animale sont intégrées à des filières plus longues. Royal Bernard, abatteur et transformateur de produits à base de viandes exporte plus de 8500 tonnes de viscères, sang et plumes à Prodia à Saint-Amour (Ain, 190km), ainsi que 1250 tonnes par an de carcasses de découpe, à Diana Pet Food à Elvan (Morbihan, 660km). Le petit lait d'Eurial (la laiterie de Crest) est valorisé de manière interne au groupe, sur le site de Vinay (Isère, 66km). Les valorisations locales sont plus rares : les boues de l'abattoir de Die sont exportées chez un agriculteur du voisinage, alors que chez Royal Bernard et Troupeou, elles finissent dans les stations d'épuration communales.

Des déchets verts et urbains qui ont vocation à être valorisés localement, malgré des difficultés opérationnelles

Les déchets verts des collectivités (CCVD, 3CPS, Diois) sont valorisés par les agriculteurs, et épandus sur leurs parcelles. Les déchets ménagers, quant à eux, sont intégralement exportés au SYTRAD (syndicat de traitement des déchets Ardèche Drôme) et notamment à son site, dans la commune d'Etoile-sur-Rhône, à proximité immédiate, mais néanmoins en dehors du territoire de la vallée de la Drôme. Contractuellement, il produit un compost normalisé NFU-44-051, valorisable par des agriculteurs locaux. Cette valorisation reste encore problématique : une première convention entre le SYTRAD et la Chambre d'Agriculture (CA), signé en 2006, a été interrompue en 2011 car la CA avait jugé le produit pas assez abouti, comportant trop de déchets inertes, plastiques et bouts de verre. Une nouvelle convention a été signée en 2015 relançant la valorisation agricole des composts. En 2017, 23% des ordures ménagères résiduelles entrantes étaient transformées en compost, le reste étant principalement enfoui (43%) ou brûlé (16%)[60]. Selon, Vincent[(expert7)]), un expert en gestion de résidus organiques le processus ne permet pas une valorisation optimale car la taille, trop importante, comme la conception de l'usine ne permettent pas

[59] Les distances entre le site de production de BR et sa destination sont données en kilomètres à vol d'oiseau.

[60] Données issues du rapport d'activité du SYTRAD (2017).

d'améliorer significativement la part des déchets compostables. Par ailleurs, le développement des stations du SYTRAD a impliqué des dépenses considérables pour les collectivités, ainsi qu'un engagement sur 30 ans empêchant un changement du système à court terme. A l'autre bout de la chaine, les agriculteurs sont réticents à utiliser ces biomasses, en raison notamment du risque de contamination pour leur sol : la norme NF 0 44-051 semble insuffisante pour satisfaire les attentes des agriculteurs en ce qui concerne la qualité.

Concernant les boues de stations d'épuration, deux situations coexistent : une partie des boues (4336 tonnes) est valorisée localement au travers d'un plan d'épandage (communes concernées : Allex, Livron, Saillans, Beaufort sur Gervanne, Puy Saint Martin, Saou) et une autre est exportée et compostée : les boues des communes de Crest et de Die (1216 tonnes) sont traitées à la Compostière de Montremond à Saint Barthelemy (Isère, 66km), celles de Loriol (300 tonnes) sont exportées dans le Vaucluse (100km) et celles de Montoison (1000 tonnes) sont exportées à Romans-sur-Isère (Isère, 30km). Les boues exportées cumulent 2666 tonnes. Les agriculteurs sont très sollicités pour épandre les boues des stations d'épurations et la concentration en substances contaminantes (métaux lourds, antibiotiques, etc.) est extrêmement variable d'un site à l'autre. Ces variations participent à expliquer le fait que certaines boues trouvent plus facilement des débouchés agricoles que d'autres. Par ailleurs, certains cahiers des charges participent à limiter la valorisation des boues : plusieurs agriculteurs rapportent que le cahier des charges de la centrale d'achat Carrefour exclut toute céréale issue d'une parcelle ayant déjà reçu des boues par le passé.

Le compostage agricole, une voie prometteuse pour la relocalisation des flux ?

Il semble que parmi les nouveaux opérateurs (transformateurs, distilleries, brasseries, etc.), certains connaissent une valorisation locale beaucoup plus importante de leurs produits : les transformateurs de plus petite taille tels qu'Herbarom, la coopérative de distillation de Vercheny, ainsi que les multiples brasseries artisanales valorisent leurs drèches et pailles par le compostage à la ferme.

Ces initiatives interrogent sur le rôle joué par le compostage à la ferme dans la gestion locale des BR d'origine non-agricole. Sur le territoire, la majorité des agriculteurs pratiquant le compostage font appel à la CUMA (Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole) de retourneur d'andain Terre Avenir (TA). La CUMA dispose de 38 adhérents en Ardèche et de 164 adhérents dans la Drôme (2018) et parmi ceux-là, 72 se trouvent sur le territoire de la VDD. Il s'agit de l'unique établissement proposant des prestations de retournement d'andain sur le territoire. En moyenne 188 tonnes sont compostées par agriculteur, soit 13 536 tonnes de matières brutes compostées grâce à la CUMA TA sur le territoire de la vallée de la Drôme. A la différence des acteurs industriels, les agriculteurs compostent en général des biomasses diversifiées, souvent mélangées. Les matières qui posent des questions sanitaires ou réglementaires (boues de stations, déchets industriels) sont très peu représentées. Ce sont majoritairement des BR d'origine agricole, mais aussi des déchets verts, qui sont traités.

Le Tableau 17 présente la masse de matières brutes compostées, par type de matières en entrée. Les composts comportant des BR d'origine urbaine ou industrielle représentent plus

de la moitié (54%) des masses compostées. Parmi eux, plus des trois quarts des masses représentent des composts mélangés, comportant à la fois des BR d'origine agricole, urbaine ou industrielle, compostées ensemble. La Figure 21 présente la répartition spatiale des agriculteurs composteurs membres de la CUMA TA. La taille du nœud est proportionnelle à la quantité de volume compostée : on observe qu'en termes de volume, les agriculteurs composteurs sont principalement concentrés dans la VDD.

Types de compost	**Masse de matières brutes** (en tonnes par an)	**Pourcentage**
Composts comportant des BR d'origine urbaine ou industrielle	7309	54%
dont mélange de BR d'origine agricole et non-agricole compostées ensemble	5685	42%
dont composts composés exclusivement de BR d'origine urbaine ou industrielle	1624	12%
Composts ne comportant que des BR d'origine agricoles	6227	46%
dont composts de fumiers de bovins	1895	14%
dont composts de fumiers de volaille	1624	12%
dont composts de fumiers ovins	1218	9%
- autres	1489	11%
TOTAL	**13 536**	100%

Tableau 17 - Répartition des tonnages de matières compostées par type de compost, par le biais de la CUMA TA, dans la vallée de la Drôme (Données de la CUMA, calculs personnels).

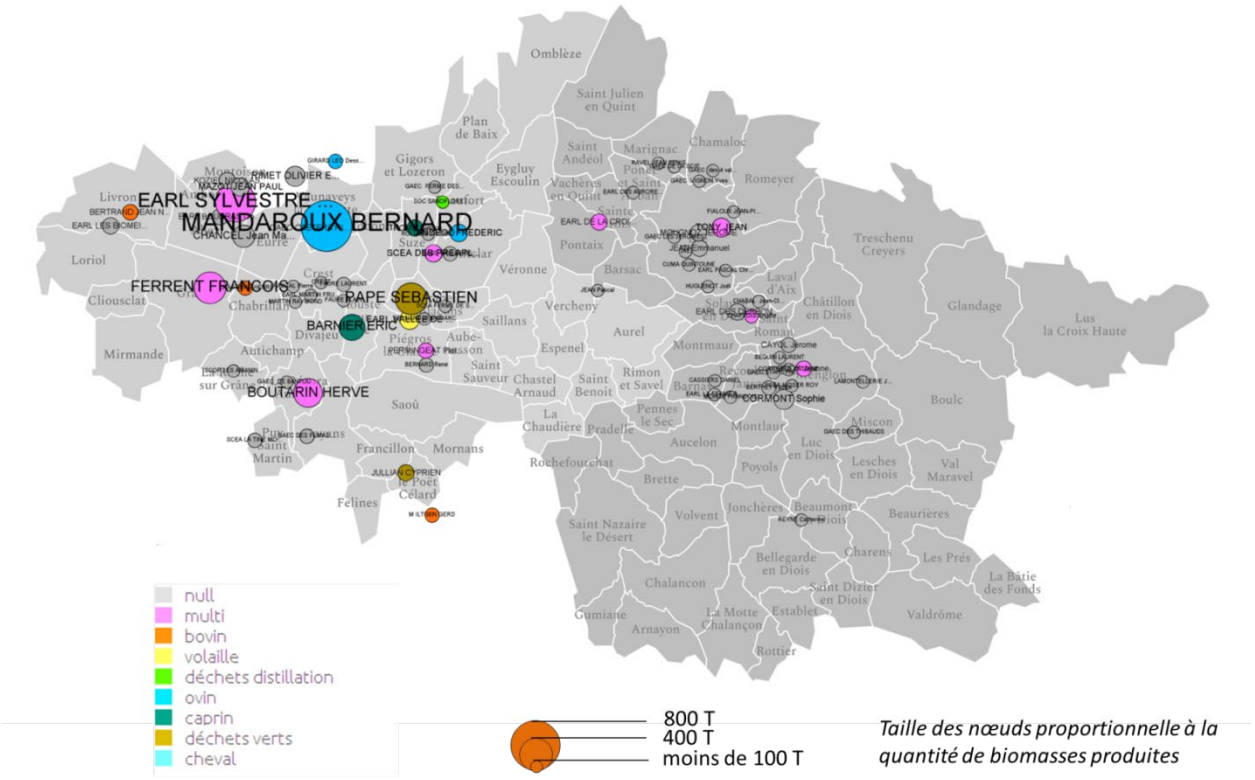


Figure 21 - Répartition spatiale des agriculteurs composteurs membres de la CUMA TA (Données CUMA TA, traitements et représentation Gephi).

Conclusion

Cet essai d'écologie industrielle appliqué m'a donné l'occasion d'interroger, sur le terrain de la vallée de la Drôme (VDD) le projet de modernisation écologique, basé sur le bouclage des flux.

La représentation des flux et des fonds a donné lieu à une cartographie des principales productions et apports de BR à l'échelle de la VDD. La production de BR azotée sur le territoire est principalement représentée par les filières avicoles, au côté de la filière bovine, qui joue elle aussi un rôle important malgré sa faible notoriété locale. Les grandes entreprises IAA (Industrie Agroalimentaire) du territoire (Charles & Alice, Jaillance notamment) sont les principales pourvoyeuses de BR non-agricoles, au côté des collectivités territoriales. En ce qui concerne les apports extérieurs, ils sont notamment liés aux besoins en fertilisation des cultures. La production biologique, très présente sur le territoire génère des apports importants en matière organique, notamment sur grandes cultures et cultures légumières.

L'étude des situations problématiques a permis d'identifier là où le bouclage des flux fait défaut. La cartographie dresse l'image de déséquilibres entre production et consommation, en contraste avec l'image homogène de durabilité parfois associée au territoire de la VDD. Les effluents d'élevage sont loin, en effet, de répondre aux besoins des cultures relativement à la fertilisation puisqu'ils ne suffisent même pas aux seuls besoin des cultures bio. Une forte hétérogénéité se fait jour, entre d'une part une basse vallée à la production intensive, très dépendante, et d'autre part Diois et un pays de Saillans, *a priori* plus équilibrés dans leurs rapports aux BR.

Enfin, l'approche relationnelle m'a permis de mettre en lumière la façon dont, pour faire face à ces déséquilibres à l'échelle individuelle, les agriculteurs s'inscrivent dans différentes logiques, dessinant autant de types d'exploitations (substituants, quasi-autonomes, producteurs-échangeurs, hubs et importateurs nets). Les agriculteurs s'ancrent dans des réseaux qui diffèrent autant par les acteurs concernés que par l'échelle spatiale, dressant ainsi des pistes d'action différentes, en fonction de ces réseaux. La substitution des biomasses résiduaires par des engrais commerciaux est ancrée dans des réseaux globaux, sur lesquels les acteurs du territoire ont peu de capacités d'agir, alors que la gestion des BR d'origine agricole s'effectue, elle, à l'échelle locale, dans le cadre d'interdépendances internes au monde agricole. Ce mode de gestion est de plus en plus fragilisé car la gestion des BR d'origine non agricole s'effectue majoritairement à l'échelle régionale et nationale, notamment pour des raisons opérationnelles, économiques et réglementaires, et ceci malgré des tentatives de relocalisation. Le développement du compostage, à la ferme ou en commun, semble offrir une piste pour une meilleure valorisation locale des BR, qui pourrait préfigurer un nouveau système de gestion territoriale des BR.

Chapitre.X. Essai d'économies de la grandeur au service d'une écologisation terrestre de la gestion des biomasses résiduaires

Dans ce chapitre, je développe une analyse d'économies de la grandeur. Je m'appuie sur les discours des agriculteurs pour analyser les multiples attachements qui lient les agriculteurs au reste du vivant. Le chapitre suit les trois axes de l'approche des réseaux métaboliques :

La première partie aborde les réseaux métaboliques comme une réalité faite de flux et de fonds. Je décris les multiples valeurs que les agriculteurs accordent au métabolisme des BR en m'appuyant sur le modèle des mondes, emprunté à Boltanski et Thévenot : comment qualifient-ils les flux de BR ? A quels fonds accordent-ils de la valeur et quelle place occupe le vivant parmi ceux-ci ?

La deuxième partie aborde les bouleversements du métabolisme, et en quoi elles donnent à voir des situations problématiques où le vivant n'est pas pris en compte dans ses rythmes et fonctionnements propres, ainsi que dans ses capacités d'agir.

La troisième partie de ce chapitre adopte une approche relationnelle. Je décris d'abord les compromis entre valeurs dans lesquelles se stabilise la gestion des BR, puis ensuite leurs recompositions sous l'effet des bouleversements du métabolisme.

X.1. Une réalité faite de flux et de fonds : comment l'agriculteur décrit-il le métabolisme des biomasses résiduaires, et quelle place y est accordée au vivant ?

Les témoignages d'agriculteurs que j'ai pu recueillir au travers des entretiens donnent à voir la manière dont les agriculteurs qualifient le métabolisme des BR, en termes de flux et de fonds, ainsi que les multiples valeurs qu'ils y accordent. Le Tableau 18 consiste en une première synthèse, sommaire, de ces représentations, au prisme du modèle des mondes.

Cette synthèse, développée dans la suite de cette partie, met l'accent sur deux choses :

- Les agriculteurs décrivent les flux de deux manières distinctes : ils sont soit quantifiés, dans les mondes industriels et marchands, soit qualifiés selon des normes sociales (qui peuvent être de l'ordre des mondes domestique, civique, mais aussi de ceux de l'opinion ou de l'inspiration).
- Les fonds, quant à eux, sont décrits de deux manières différentes : soit assimilés à des instruments au service du système de production avec un rôle utilitaire (majoritairement dans les mondes industriel et marchands), soit comme jouant un rôle plus large, irréductible à leur rôle utilitaire dans le système de production, et revêtant alors d'autres valeurs, patrimoniales, civiques ou inspirées (dans les mondes civiques, domestiques, inspiré et de l'opinion).

	Industriel	Marchand	Civique	Domestique	Opinion	Inspiré
Valeur de référence	Efficacité, science	Réussite en affaires, concurrence	Justice, équité	Tradition, hiérarchie	Réputation, renommée	Inspiration, merveilleux
Flux	**Des flux quantifiés en fonction de critères physico-chimiques et de leur valeur marchande**		**Des flux caractérisés selon leur conformité à des normes et des références sociales multiples, par des critères qualitatifs**			
Attributs valorisés Attributs dévalorisés	**Quantifiables** *(teneur en nutriments connue (Laurent[Agri20]),* **assimilables** *(bonne minéralisation de l'azote (Fréderic[Agri25])),* **pratiques** (facilité d'épandage (Etienne[Agri28])); **réguliers** ***Non quantifiables*** *(teneur inconnue en azote (Ivan[Agri8]),* ***irréguliers, aux propriétés physico-chimiques inconnues*** *(perte d'azote inconnue au compostage (Marc[Agri3]))*	**Monétisable** *(compost à vendre),* **BR à la valeur connue** (prix, coût), **rares et convoitées,** *(contrat, opportunités commerciales de récupérer des fumiers (Gérard[Agri1]),* **BR non désirée** *(des sciures de bois abandonnées (Hervé[Agri13]),* **sans valeur marchande, non échangeable** *(fumiers isolés, loin de tout acheteur potentiel (La Jean[Agri18]))*	**Conformes aux normes réglementaires** *(dates d'épandage (Kévin[Agri11]), compostage (Jean[Agri2]), zones vulnérables (Claude[Agri6])),* **labélisés, certifiés, objet de multiples intérêts collectifs** (décisions collégiales, délibérative), **soumis à la solidarité** *(solidarité entre agriculteurs, avec les éleveurs (François[Agri12]))* **Ne respecte pas la réglementation, ne tiennent pas compte des intérêts collectifs** **(export de paille vers des méthaniseurs allemands plutôt que pour des éleveurs locaux)**	**Conformes aux traditions** *(engrais d'origine locale (Marc[Agri3]),* **dans le cercle familial, don et contre-don** *(entraide entre agriculteurs (Marc[Agri3])),* **échanges de longue durée** **Produits nouveaux** *(activateurs de compostage (Etienne[Agri28])),* **d'origine étrangère, inconnus** *(compost espagnol (François[Agri12]))*	**Opinions** (Idées sur l'environnement, sur la bio (Jean[Agri2])) **BR approuvées par les autres, de bonne réputation** *(produit connu par les voisins),* **bouche à oreille** *avis du voisin sur la fertilité du sol (Gérard[Agri1])),* **Objets de mauvaise réputation** *(les déchets verts sont pleins de plastique (Gérard[Agri1]))*	**Non quantifiables, soumise à l'inspiration** *(fertilisation à l'intuition (Marc[Agri3]), compostage au pif (Claude[Agri6])),* **Flux connus, routinisés, faits par habitude** *(manque de remise en question (Ivan[Agri8])*
Fonds	**Des fonds comme instruments au service d'un processus de production**		**Des fonds dont la valeur n'est pas uniquement instrumentale**			
Attributs valorisés Attributs dévalorisés	**Outils techniques précis et fiables** *(logiciels de gestion de parcelles (Hervé[Agri13]), épandeur à pesée (Kévin[Agri11]), analyses de compost et du sol (Ivan[Agri8]),* **cultures efficaces** *(semences, ail (Kévin[Agri11]),* **formations et suivi technique***(CFPPA (Jean[Agri2]), ingénieur agronome (Michael[Agri24]), technicien de la chambre d'agriculture, d'agribiodrôme (Marc[Agri3]))* **des êtres vivants et milieux contrôlés** *(élevage avicole industriel (Sophie[Agri27]))* **Outils au comportement imprévisibles, défaillants, en panne, manque de précision** *(viel épandeur (Jean[Agri2]), analyses peu fiables (Ivan[Agri8]),* **compétences inadaptées** *(difficulté à calculer l'azote (Gérard[Agri1]), agriculteur qui ne fauche pas au bon moment (Gérard[Agri1])),* **des êtres vivants et milieux incontrôlés** *(contamination à la salmonellose (Sophie[Agri27]))*	**Acheteurs et vendeurs rationnels** *(fournisseurs compétitifs (Jean[Agri2]),* **entreprises qui facilitent les échanges** *(transporteurs de paille et fumiers (Marc[Agri3]), négoces)* **Marché corrompu, captif** *(manque de transparence (Hervé[Agri13]), Valsoleil qui s'engraisse sur les composts (Patrice[Agri22]),* **acteurs non compétitifs** *(négoces qui ne s'adaptent pas aux attentes des clients (Jean[Agri2]))*	**Réglementations, chartes et labels** *(Nature et Progrès, (Marc[Agri3]), Demeter,),* **collectivités** *(mairie, communautés de communes, déchèteries, stations d'épuration)* **organisations collectives** *(CUMA, retourneur d'andain collectif)* **Réglementation et institutions dénoncées comme arbitraire** *(Michel[Agri4]), obligation d'exporter les fumiers injuste (François[Agri12]), hypocrisie des contrôles (Fréderic[Agri25])*	**Les connaissances** *(La culture bio est connue des anciens (Gérard[Agri1]), reproduction des pratiques de l'ancien patron (Kévin[Agri11]) des habitudes du père (François[Agri12])),* **les traditions** *(l'épandage de fumiers est une pratique traditionnelle (Gérard[Agri1])),* **règles stables, le patrimoine entretenu** *(la fertilité du sol (Gérard[Agri1]), la terre est un patrimoine (Laurent[Agri20]))* **des partenaires fidèles Animaux et nature domestique** *(cheptel de l'exploitation (Jeanne[Agri5])* **amis, voisins** *(le camping dont il faut tenir compte avant d'épandre (Gérard[Agri1]),* **Des acteurs nouveaux** *(les néo-ruraux (Jeanne[Agri5])),* **manque de respect** *(Des agriculteurs industriels qui ne respectent pas la terre (François[Agri12]), des partenaires opportunistes et égoïstes)* **le patrimoine dilapidé** *(fertilité du sol détruite)*	**Les marques** *(de produits, de territoires : la Biovallée)* **Rumeurs, partenaires de mauvaise réputation** *(mauvaise réputation d'une collectivité(Ivan[Agri8])*	**rattachées aux aspirations intérieures, aux capacités d'observation de l'agriculteur croyances** (foi dans la valeur d'un fumier (Ivan[Agri8]), **nature sauvage, esprits de la nature, forces spirituelles** *(cornes de bouses, la lune, (Léo[Agri30]) la vie du sol (Michel[Agri4]), la vitalité des sols),* **Matériel technique, industriel** *Rejet des analyses de sol (Marc[Agri3])*

En noir : attributs valorisées
En rouge : attributs dévalorisés *En italique : exemples*

Tableau 18 - Synthèse des représentations des flux et fonds dans le discours des agriculteurs, par monde.

1.1. Des flux qualifiés de manière quantitative et qualitative (mondes industriel et marchand)

1.1.1. Des flux quantifiés en fonction de critères physico-chimiques et de leur valeur marchande

Les descriptions quantitatives occupent une place importante dans le discours des agriculteurs. Les flux y sont réduits à un nombre limité d'indicateurs et de métriques, en référence à deux valeurs de références : l'efficacité technique et la compétitivité.

L'efficacité technique (propre au monde industriel) fait figure de valeur de référence dans une grande diversité de pratiques et de situations. Par exemple, dans les pratiques d'épandage sur cultures céréalières, les BR sont décrites comme « *fonctionnants »*, ou comme « *assimilables »*. Pour caractériser cette efficacité, les flux sont décrits sur des critères physico-chimiques : ils sont quantifiés, notamment en fonction de leur composition en nutriments (N/P/K) et ainsi les BR titrant fortement en azote, telle la majorité des engrais commerciaux, les fientes et les fumiers de poules sont valorisés. Ces flux se doivent d'être dirigés vers des cultures elles-aussi qualifiées de « *productives* » et « *efficaces* », « *exigeantes* » ou « *techniques* », notamment les cultures semencières, ou légumières (le maïs semence, la culture d'ail, en particulier). Au contraire, les flux échappant à la quantification sont fortement dévalorisés et les BR peu performantes, sur ces critères quantitatifs, ou alors peu mesurables en pratique, sont considérées comme mauvaises.

La compétitivité (propre au monde marchand) est aussi largement invoquée, dans les pratiques d'échanges, bien sûr, mais aussi ailleurs puisque dans de nombreuses situations, les BR représentent pour les agriculteurs des biens rares et convoités. Les agriculteurs accordent une place importante à la connaissance de leur valeur marchande, et en particulier de leur prix. Dans mon panel d'agriculteurs, les fumiers de poules ou de chèvres se révèlent être de tels produits, de nombreux agriculteurs « *en cherche[nt], mais n'en trouvent pas* ». A l'inverse, les BR difficilement échangeables, par exemple du fait d'autres attachements (traditions, amitiés, etc.) sont dévalorisées car elles ne permettent pas le jeu de la concurrence.

1.1.2. Des flux caractérisés selon d'autres valeurs : les traditions, la justice, l'opinion ou l'inspiration

Les critères quantitatifs ne suffisent pourtant pas à épuiser la diversité des descriptions que les agriculteurs font des flux. Les agriculteurs accordent, dans certaines situations, des valeurs aux BR qui ne peuvent être exprimées que par des critères qualitatifs et non quantifiables. Ces valeurs sont notamment celles du respect des traditions et de la hiérarchie, de la justice et de l'équité, mais aussi de l'opinion ou de l'inspiration.

Le respect des traditions et de la hiérarchie (propre au monde domestique) est régulièrement mentionné par les agriculteurs. Par exemple, il arrive régulièrement dans les échanges entre agriculteurs que la confiance et les relations longues soient privilégiées, au détriment d'autres valeurs, notamment marchandes. Les pratiques agricoles qualifiées de traditionnelles sont valorisées. Par exemple, un agriculteur parlant de ses pratiques d'épandage de fumier, les considère comme bonnes car « *c'est comme ça qu'ont toujours*

fait les anciens ici. » (Gérard(Agri1)).

Les BR qui sont connues et notamment d'origine locale, sont particulièrement valorisées : « *J'achète toujours le même [engrais]. Mon père déjà le faisait. »* (François(Agri12)). Les échanges s'inscrivent volontiers dans l'entre-aide, le don/contre-don. Le fait de rendre service aux anciens est valorisé : « *Je fais faire des travaux, mais on ne s'échange jamais d'argent. »* Au contraire, les flux nouveaux, les BR étrangères sont souvent dévalorisées car elles ébranlent les traditions et impliquent de faire face à l'inconnu : « *on ne sait pas d'où vient le produit »,* les liens sont distendus « *Quand il y a un technicien qui vient avec des idées, on est réticent »* (Ivan(Agri8)).

Les valeurs de justice et d'équité (propres au monde civique) apparaissent aussi dans les discours. Les agriculteurs accordent de la valeur à un intérêt collectif dépassant leurs intérêts particuliers. Par exemple, Fréderic(Agri25) décrit l'intérêt de la collectivité comme occupant une place importante dans la justification de sa pratique de récupération de déchets verts : « *je le fais parce que ça rend service à la collectivité ».* Plus largement, quasiment toutes les étapes de la gestion des BR sont soumises à des règlementations et de nombreux agriculteurs décrivent les flux de BR par rapport à elles : ils qualifient des fumiers de « *bio* », distinguent les pratiques d'épandage en fonction des « *zones vulnérables* », etc. Si certains se soumettent volontairement à ces règles collectives, d'autres agriculteurs décrivent des échanges comme « *injustes* » ou inéquitables, en se référant là aussi aux valeurs du monde civique.

L'opinion des autres figure aussi parmi les valeurs invoquées : les agriculteurs décrivent également les BR en fonction de l'opinion qu'en ont leurs voisins. L'opinion est elle-même un flux qui accompagne et souvent devance les BR elles-mêmes. Lorsque l'opinion est positive, la BR fait l'objet de l'approbation collective et peut alors faire l'objet d'imitations : Kévin(Agri11), par exemple s'appuie sur l'opinion de ses voisins dans son choix d'engrais commerciaux. A l'inverse, les BR font aussi l'objet de rumeurs, parfois négatives, que les agriculteurs relaient entre eux pour qualifier la qualité des produits : par exemple, Gérard(Agri1) accorde beaucoup de crédit à l'opinion de ses voisins au sujet de la qualité des déchets verts des collectivités, pour justifier le fait de ne pas en récupérer.

Dans le monde inspiré, enfin, la qualification se fait via d'autres valeurs, qui ne correspondent ni à des critères quantitatifs, ni à des critères qualitatifs partagés mais également selon des critères plus lâches, moins sujets à la maîtrise : par exemple l'agriculteur dit qu'il « *travaille au feeling* » (Marc(Agri3)), ou revendique d'agir sous le coup de « *l'improvisation* » (Claude(Agri6)). Les biomasses sont qualifiées selon des critères propres au « *ressenti* ». Les valeurs propres à d'autres mondes et en particulier le monde industriel ou marchand sont rejetées car considérées comme inadaptées : « *Les analyses […] j'en ai fait, mais c'est difficile de calculer la rentabilité de [ces fumiers] [..] c'est la foi qui sauve. »* (Ivan(Agri8))

1.2. Les fonds sont pris en compte pour leur valeur instrumentale, mais pas seulement

1.2.1. Les fonds décrits comme instruments au service d'un processus de production (mondes industriel et marchand)

Dans les références aux mondes industriel et marchand, les fonds sont définis par leur valeur instrumentale dans le processus de production.

Dans le monde industriel, les outils et machines (tracteurs, bennes, tractopelle, etc.) forment des équipements stables et prévisibles, qui concourent à la maîtrise des flux. Ils sont caractérisés comme des facteurs durables, sur lesquels s'appuie l'activité agricole, permettant la réalisation effective du processus métabolique. Les humains et non-humains sont indistinctement qualifiés par leur fonction dans la production : le technicien de la chambre d'agriculture est ainsi décrit en fonction du service ou du conseil qu'il apporte, les animaux d'élevage ne sont perçus que sous l'angle de leur capacité à produire. Le sol est lui aussi décrit comme un agent actif de la transformation de la BR, notamment en « *minéralisant l'azote* ». Si les êtres vivants et milieux représentent bien des fonds en tant que tels, ils sont rendus visible grâce à une médiation technique. Par exemple, la fertilité du sol est décrite grâce à des analyses de sols et modélisée grâce à des logiciels de gestions de parcelles (Géofolia, MesParcelles).

Dans le monde marchand, le rôle des fonds est similaire, mais mis au service de la compétitivité. Les agriculteurs s'appuient sur leurs partenaires commerciaux, multiples et en concurrence (notamment les multiples négoces qui commercialisent des engrais dans la vallée de la Drôme). Dans ce monde, les agriculteurs voient le marché comme un fond stable et durable sur lequel ils peuvent s'appuyer, même si les acheteurs et vendeurs peuvent être multiples et interchangeables. Dans d'autres cas, les contrats commerciaux jouent un rôle important dans la stabilisation des échanges (notamment les contrats avec des fournisseurs de déchets verts, qui lorsqu'ils existent, permettent aux agriculteurs d'assurer la stabilité de leur système de production).

1.2.2. Le patrimoine, les institutions, les marques et les croyances : des fonds dont la valeur n'est pas uniquement instrumentale

Dans d'autres situations, les fonds sont décrits comme jouant un rôle différent : ils ne sont ni des outils ni des instruments, ni au service exclusif d'un processus de production, mais reflètent d'autres formes d'attachements que celles couramment décrits dans les mondes industriels et marchands.

On compte parmi ces fonds des entités propres au **monde civique**, telles les collectivités, les administrations et leurs réglementations, les associations et leurs chartes (charte Nature &Progrès, Demeter). Ces entités sont stables et durables et sont à l'origine de multiples services : si elles fournissent des services (conseils techniques, subventions à l'investissement dans une plateforme de compostage, aides d'urgence suite à un épisode de grêle ou à une contamination à la salmonellose, etc.), elles représentent aussi des contraintes (règlementaires, parfois mal vécues), mais sont aussi l'occasion d'interactions sociales (locales dans le cadre d'une collectivité territoriale, ou sectorielle dans le cadre

d'une association de producteurs). Par leurs multiples effets, ces entités contribuent à stabiliser un intérêt collectif. Leur action sur la gestion des BR est souvent indirecte, et implique un réseau de médiations important, qui participe activement à la perpétuation des pratiques. Dans certains cas, les agriculteurs établissent un lien direct comme par exemple Kévin(Agri11) qui reconnait que sans la réglementation imposant le compostage des effluents non-bio avant leur épandage sur des parcelles en agriculture biologique, il ne composterait pas.

Si l'**opinion** est intrinsèquement mouvante et changeante et est donc un flux, elle s'appuie régulièrement sur des fonds, entités stables et durables. Les marques et les labels sont autant de médiums sur lesquels s'appuie la réputation. Les marques contribuent à appuyer et à faire reconnaitre la capacité d'action d'un produit (l'effet d'un activateur du sol, ou d'un produit fertilisant par exemples). Si les marques évoluent régulièrement, elles présentent une certaine stabilité dans le temps, indispensable pour qu'elles soient largement reconnues. Les marques rendent un service aux agriculteurs, en leur permettant de se repérer dans la diversité des engrais commerciaux. Nombre d'entre elles sont reconnues et identifiées par les agriculteurs, et forment en partie le monde dans lequel ils évoluent. Elle leur permet de se comparer les uns aux autres. « *J'achète toujours le CSF [...] Ceux qui l'utilisent, je vous le garanti, ils en sont contents.* » (François(Agri12)).

Dans le cadre du **monde domestique**, c'est le patrimoine, les traditions, la famille qui forment des fonds, stables et durables. Ce patrimoine a une valeur qui dépasse son simple rôle utilitaire dans le processus de production. Les fumiers associés au sol, ou au cheptel de l'exploitation, participent à l'entretien du patrimoine et donnent de la valeur à l'exploitation en la rendant transmissible de génération en génération. Les « *anciens* », l'héritage familial, forment en eux-même des fonds sur lesquels s'appuient les agriculteurs : ils sont des ressources, transmettent des connaissances rares et respectées et ont une valeur en soi. Le territoire, ou comme l'exprime Jean(Agri18), « *le terroir exceptionnel du Diois* » représentent aussi des fonds à la forte valeur patrimoniale.

Dans chacun de ces cas, les fonds obéissent à des temporalités bien plus longues que celles rencontrées dans les mondes industriel et marchand : le temps du patrimoine, le temps des relations domestiques, est celui du temps long, et toute entité extérieure, nouvelle, qui ne s'inscrit pas dans cette continuité y trouve difficilement sa place et est jugée négativement. C'est notamment ce que je perçois dans le discours d'un agriculteur, qui refuse d'accorder sa confiance à des fournisseurs qu'il ne connait pas, qui sont extérieurs au territoire et avec lesquels il n'entretient pas des relations de longue durée : « *Je ne fais pas jouer la concurrence, car je n'ai pas confiance dans les autre.. Bio3g.. [un représentant d'un négoce qui vend des produits fertilisants à domicile] je ne le connaissais pas, il est venu, il ne faisait que parler, je n'ai pas eu confiance. Alors que la Coop, on les connait bien.* » (Etienne(Agri28)).

Dans le **monde inspiré**, les agriculteurs s'appuient sur des ressources intérieures, stables et durables : leur sensibilité, leur capacité d'observation, leurs croyances. Elles leur permettent d'interagir avec des forces ou les Esprits de la Nature. Léo(Agri30), par exemple, indique que c'est en étant sensible et par l'observation, qu'on peut prendre soin de ses cultures, en

suivant les multiples interactions entre les cultures, la terre et les forces de la lune. Les croyances se traduisent par une prolifération d'agents dotés d'une capacité d'agir comme par exemple lorsqu'il mentionne l'effet massif des « *cornes de bouse* » ou encore qu'il indique « *travailler avec la Lune* » :

« Si tu as tous les ans un champignon, dans un bouquin de biodynamie, ils diront que c'est dû à un excès de vie. Je vais chercher à limiter l'apport en azote. » Aux valeurs industrielles, qui sont dévalorisées, Léo(Agri30) oppose une observation et une sensibilité aux phénomènes naturels, qui permet de saisir l'instant présent : *« L'industrie chimique a fait perdre le bon sens paysan. Il est bien connu qu'en Lune descendante, il y a moins de sève. Moi, avant tout, je regarde, et [de ça] dépend de ce que je fais. Je sais que mieux vaut faire [quand on peut] que d'attendre le moment idéal. Quand je dis à mon parrain que je travaille avec la Lune, il rigole mais n'empêche, il va chercher les champignons quand la Lune est pleine ! » (Léo(Agri30))*

1.2.3. **Les êtres vivants sont dotés d'un fonctionnement et de rythmes qui leur sont propres et qui sont reconnus au travers de multiples valeurs**

Les représentations du métabolisme des agriculteurs donnent à voir les diverses manières dont les agriculteurs tiennent compte des êtres vivants, comme des entités dotées d'un fonctionnement et de leurs rythmes propres[61].

Prenons l'exemple de la vie du sol. Elle peut être approchée grâce à des analyses physico-chimiques ou biologiques, par exemple sous l'angle du taux de matières organiques ou de la concentration en vers de terre par mètre carré pouvant être gérés et améliorés au travers de choix techniques (dans le monde industriel). Elle peut aussi être vue au prisme des traditions, et perçue comme un patrimoine lié à l'exploitation, transmis et maintenu sur le temps long (dans le monde domestique). Elle peut aussi être jugée à l'aune de la justice et sera alors décrite comme un bien commun dépassant les intérêts individuels des agriculteurs, et protégé par des règles et des lois (dans le monde civique). Enfin, elle peut être approchée par le ressenti et l'inspiration, et perçue comme dépendante de forces naturelles ou surnaturelles, reliée aux énergies de la Terre ou de la Lune (dans le monde inspiré).

Ainsi, ce n'est pas au travers d'une valeur unique écologique, mais bien au travers d'une multiplicité de valeurs que les agriculteurs nourrissent des attachements envers le reste du vivant.

X.2. **Des situations problématiques : des bouleversements du métabolisme qui révèlent des difficultés à composer avec le reste du vivant**

La gestion des BR est affectée, sans cesse, par des bouleversements du métabolisme. Ces bouleversements peuvent se traduire par des variations de flux au sein de l'exploitation (par exemple une variation de la quantité de pailles produites d'une année sur l'autre), mais aussi des variations de flux et tensions avec les partenaires commerciaux (la perte d'un fournisseur de fumier pour un agriculteur). Les bouleversements du métabolisme peuvent

[61] Georgescu-Roegen considère les ressources naturelles comme un facteur premier des processus de production, dont il faut tenir compte du rythme de renouvellement. Il est donc important dans les analyses du réseau métabolique en tant que réalité faite de flux et de fonds, de voir comment les agriculteurs prennent en considération les ressources naturelles.

également concerner l'entrée de nouveaux fonds, inattendus, dans le processus. Le Tableau 19 résume les principaux types de bouleversements.

Ces situations problématiques et les bouleversements du métabolisme associées donnent à voir des situations où le vivant n'est pas pris en compte, dans ses rythmes et fonctionnements propres et dans ses capacités d'agir. Je les illustre au travers d'exemples de situations où les représentations du métabolisme sont sujettes à contestation et la façon dont cela amène les agriculteurs à reconsidérer ce qu'est un bon métabolisme

Types de bouleversements		***Exemples de situations problématiques***
Des flux soumis à des variations qui ne sont pas toujours prévisibles	Des variations de flux au sein de l'exploitation : exemple d'une mauvaise prise en compte de la vie du sol.	*Michael(Agri24) est confronté à une baisse de rendements et à la nécessité d'augmenter sa fertilisation chimique, en raison d'une mauvaise prise en compte du fonctionnement de son sol.*
	Des variations de flux échangés : exemple d'une mauvaise prise en compte de la capacité d'agir de ses partenaires commerciaux.	*Patrice(Agri22) est confronté à la perte d'un fournisseur de fumier, et rencontre des difficultés à en retrouver, ce qui révèle qu'il n'a pas suffisamment pris soin de son réseau, et ce qui met son exploitation en difficulté.*
L'entrée de nouveaux fonds, inattendus, dans le métabolisme	L'entrée de nouveaux êtres non-humains : exemple de la salmonellose.	*Jeanne(Agri5) voit son élevage contaminé par la salmonelle. La contamination se traduit par de multiples contraintes techniques et réglementaires, qui mettent à l'épreuve le fonctionnement de l'exploitation.*
	L'entrée de nouveaux êtres humains : exemple des tensions avec les voisins néo-ruraux.	*Sophie(Agri27) est confrontée à l'arrivée de voisins néo-ruraux, qui s'opposent aux pratiques d'épandage de fumiers.*

Tableau 19 - Présentation des principaux types de situations problématiques auxquelles sont confrontés les agriculteurs dans les bouleversements du métabolisme des BR

2.1. **Des flux soumis à des variations pas toujours prévisibles**

Dans l'exploitation agricole les flux de BR connaissent des variations constantes, aussi bien quantitatives que qualitatives. Les processus vivants recèlent une certaine indétermination qui fait qu'ils ne peuvent jamais être complètement connus et maitrisés. Les agriculteurs ne sont donc jamais à l'abri d'un débordement.

2.1.1. **Des variations de flux au sein de l'exploitation : exemple de la non prise en compte de la vie du sol**

Les flux internes à l'exploitation agricole sont soumis à des variations : les productions de paille et de fumiers sont affectées par des variations saisonnières, des évènements climatiques. Ces variations peuvent révéler la difficulté à prendre en charge les rythmes et le fonctionnement de certains fonds, mais aussi la faible résilience des systèmes de productions agricoles concernés face à des aléas non maitrisés comme des incidents climatiques (les sécheresses en particulier).

Par exemple, Michael(Agri24) est un aviculteur et céréalier. Il remarque que certaines de ses parcelles de blé présentent une baisse des rendements depuis plusieurs années, ce qui le contraint à augmenter régulièrement sa fertilisation : « *Pendant des années, j'étais à vingt quintaux, alors que les voisins étaient à quarante-cinq quintaux ».* Sur conseil de son technicien, il fait faire des analyses de sols. Celles-ci révèlent un sol pauvre en matières organiques et une forte pollution en potasse. Ses voisins, mais aussi le négoce où il se fournit lui conseillent de faire appel à un cabinet d'agronome, ce qu'il fait, en suivant « *un stage chez un agronome, à Soyans ».* Il me raconte que ce stage lui a permis de prendre conscience qu'il n'a pas fait suffisamment attention au sol jusqu'alors : « *J'ai fait des conneries ».* A posteriori, il reconnait que le sol représente un véritable fond dont il a négligé le fonctionnement propre : « *l'accumulation de la potasse […] le taux de matière organique aussi »,* autant de facteurs dont il n'avait pas mesuré l'importance. Cette non prise en compte du fonctionnement de son sol représente depuis un véritable enjeu de long terme pour l'exploitation agricole : selon l'agronome qui le conseille, le rétablissement prendra nécessairement « *plusieurs années »* et demandera des investissements répétés, notamment en amendements.

2.1.2. **Des variations de flux échangés : exemple d'une mauvaise prise en compte de la capacité d'agir de ses partenaires commerciaux**

Les variations concernent aussi des flux de BR entre l'exploitation et certains de ses partenaires. La qualité et la quantité des BR échangées (par exemple des fumiers, de déchets verts ou industriels) peuvent varier, ou être mise en doute par un agriculteur. Les agriculteurs peuvent être dépassés par la décision d'un de leurs partenaires de ne plus les fournir, de changer d'approvisionnement, ou d'arrêter la production. Toutes ces variations révèlent les multiples capacités d'agir des partenaires, que les agriculteurs peinent à prévoir et à prendre en compte.

Patrice(Agri22) est un céréalier, dépendant d'éleveurs pour se fournir en fumier. Il m'explique que l'année dernière, il a perdu son fournisseur de fumier, celui-ci ayant trouvé des terres, et s'est retrouvé en position de conserver son propre fumier, plutôt que de l'exporter. Patrice(Agri22) n'avait pas anticipé cette éventualité et s'est retrouvé dépassé par la capacité d'agir de son partenaire. L'arrêt de ce flux de fumier a mis l'exploitation en difficulté et a stoppé la conversion en bio qu'il avait entreprise. Alors qu'il avait prévu de convertir complètement son exploitation à l'agriculture biologique, il ne peut plus, en l'état, que convertir la moitié de sa surface, gardant le reste en conventionnel. La recherche de fumiers, indispensable à la poursuite de ses projets, s'avère plus difficile que prévu : « *On voudrait tout passer en bio. Mais pour ça il faudrait qu'on trouve de la matière […] on en cherche mais on n'en trouve pas ! ».* Dans cette démarche de recherche de matière organique, il se rend

compte qu'il n'a pas un réseau assez large autour de lui et qu'il a en face de lui des concurrents, qui disposent d'une plus grande capacité que lui à trouver des fumiers : « *Lui, [un voisin], il trouve facilement du fumier lui, il est élu à la chambre, alors dès qu'il y a un élevage qui s'ouvre, c'est le premier à être là.* » Ceux qui sont actifs, et ont la capacité de réagir, ce sont les autres agriculteurs : ceux qui ont « *du réseau* ». Patrice(Agri22), lui, se considère comme passif en comparaison : « *Nous, on est rien. On regarde ».*

2.2. **L'entrée de nouveaux fonds, inattendus, dans les réseaux métaboliques**

Dans d'autres cas, ce sont des entités nouvelles, des fonds qui étaient jusqu'à maintenant à l'arrière-plan du métabolisme qui s'immiscent dans la situation, et entrent en interaction avec un flux de BR.

2.2.1. **L'entrée de nouveaux êtres non-humains : exemple de la salmonellose**

La salmonelle représente un agent qui va par sa présence transformer fortement et durablement le fonctionnement des exploitations agricoles.

Jeanne(Agri5) a été confrontée à une contamination à la salmonelle sur son exploitation. Les salmonelles sont des bactéries responsables de maladies, notamment de la salmonellose, chez l'homme ou l'animal. Elles peuvent toucher tous les élevages, mais elles s'avèrent particulièrement problématiques pour les élevages avicoles dans la VDD. Lorsqu'elles sont détectées sur une exploitation, les salmonelles deviennent des agents actifs et durables dans les processus de production. Leur présence se traduit par de multiples contraintes technique et réglementaire : « *Les tests de salmonellose sont systématiques et obligatoires, pour chaque bande. En cas de contamination, il y a une obligation d'exporter les fumiers à une entreprise agréée, ou alors de l'épandre, avec un cahier des charges précis : avec désinfection de matériel, enfouissement immédiat, etc.* » (Bastien(expert12))

Pour les agriculteurs, il est très difficile de prévoir ces contaminations : elles peuvent venir d'autres élevages, de fournisseurs. La présence de salmonelle est souvent révélée par des tests, parfois des semaines après qu'a eu lieu la contamination, ce qui rend son traçage difficile. Souvent, les agriculteurs rencontrent de grandes difficultés à composer avec ces nouveaux êtres vivants, ainsi que les contraintes qui leur sont associées. L'évènement peut être vécu comme un véritable traumatisme « *c'est horrible, quand [les contrôleurs]" viennent sur la ferme.. ils regardent partout […] quand ça arrive sur une exploitation, c'est l'enfer ».* Jeanne(Agri5) réussit à s'en sortir sans trop de dommages : « *Il a fallu tout désinfecter. "mais ce n'était pas la méchante". ça n'a pas déclassé notre lot. L'impact était surtout financier : il fallait acheter plus de désinfectant. ».* Mais elle précise que pour d'autres, la situation est plus compliquée « *certains l'ont eu deux, trois fois […] ils ne s'en sortent pas ».*

2.2.2. **L'entrée de nouveaux êtres humains : exemple des tensions avec les voisins néo-ruraux**

Le voisinage représente une autre source de situations problématiques. De nombreux agriculteurs se plaignent que les voisins, mais aussi leurs propriétaires de terres dans les cas de fermages, s'opposent à l'épandage de BR, dans certaines situations.

Pour Sophie(Agri27), les voisins exercent une pression grandissante sur les pratiques d'épandage. « *on nous emmerde avec le fumier » : » « Les voisins disent que ça pue.. ça*

sent ! Ils ne supportent pas [..] Ils viennent nous voir [dès qu'on épand]». La contrainte exercée est parfois mal vécue : « *il faut speeder, il ne faut pas qu'il pleuve. On n'a pas le droit à l'erreur »*. Certains agriculteurs peuvent se retrouver en conflit ouvert avec leurs voisins : appels à la police, dépôts de plainte (monde civique). Sophie(Agri27) raconte ainsi qu'une fois, « *il y a 3 ans, il y a eu une plainte pour du fumier épandu. [La police est] venue directement chez moi, sans [vérifier] que ce n'était pas mes parcelles ».* Dans certains cas, ces nouvelles contraintes sont à même de remettre en cause la pérennité de l'exploitation : Sophie(Agri27) indique qu' « *il y en a qui ont dû fermer, à cause des bruits et odeurs »*. « *A un moment on disait qu'on allait mettre la clé sous la porte si ça continuait. »*

2.3. **Les représentations du métabolisme sont sujettes à contestation**

Ces situations problématiques révèlent des représentations différentes d'un même problème : tous les agriculteurs ne sont pas d'accord sur la valeur qu'il faut leur accorder, ni sur la manière de les représenter.

2.3.1. **Des représentations mutuellement irréductibles d'un même problème : l'exemple du conflit entre agriculteurs et habitants**

Prenons l'exemple des conflits entre des agriculteurs et leurs voisins. La manière de voir ces conflits est en elle-même sujette à débats, ce qui génère un degré de complexité supplémentaire. Pour Patrice(Agri22), la question des odeurs serait avant tout une question technique (monde industriel) : certains agriculteurs seraient « *propres* » et n'auraient en conséquences pas de problèmes avec leurs voisins, alors que d'autres « *travaille[raient] comme des cochons »*. Ces derniers seraient les seuls à être touchés par des problèmes de voisinage. Pour Laurent(Agri20), il s'agirait au contraire d'une question politique : ces conflits sont liés à la politique de développement touristique de la collectivité, qui se traduit par la prolifération de résidences secondaires et campings, qui ne s'accommoderait que d'une agriculture « *pour touristes* » et « *aseptisée* », et qui ne respecterait pas les contraintes liées aux pratiques agricoles traditionnelles (monde domestique), revendiquées comme « *saines* » mais « *qui parfois, sentent un peu et font du bruit »*. Enfin, cette nouvelle cohabitation est dénoncée comme injuste (monde civique), révélant des privilèges dont disposeraient les nouveaux venus : « *On n'est pas soutenu. Il y en a [des néoruraux] qui ont le bras long et qui réussissent à faire fermer les bâtiments [d'élevage]. »* (Jeanne(Agri5)).

2.3.2. **Des situations problématiques qui transforment la représentation de ce qu'est un « bon » métabolisme pour les agriculteurs**

Les bouleversements du métabolisme poussent certains agriculteurs à remettre en cause leurs critères de jugement de ce que représente une « *bonne »* BR, ou un « *bon* » flux : Par exemple, Marc(Agri3), associé dans une exploitation maraîchère en collectif, recherche un fumier de qualité et local. Ne réussissant pas à trouver de nouvelles sources locales selon ces critères, Marc(Agri3) a fini par trouver un compromis, en modifiant l'échelle qu'il considérait comme "*locale*" : "*Aujourd'hui, ça n'a plus de sens de réfléchir à petite échelle, d'échanges de voisins ». « Aujourd'hui, l'échelle, c'est la région [...] C'est vrai qu'on voudrait que ça soit à moins de cinquante kilomètres, mais bon, on n'en trouve pas »*. Plutôt que de nouer des relations avec ses voisins, il se retrouve dépendant de fumiers venant de Savoie pour sa fertilisation. Il ne connait pas l'origine exacte de ses fumiers et n'a affaire qu'à un intermédiaire : l'entreprise de transport Dié. Les fumiers qu'elle récupère présentent des

grandes variations, d'une livraison à l'autre, qui se traduisent par des fumiers plus ou moins humides, plus ou moins mélangés, et qui font preuve de capacités fertilisantes différentes une fois épandus. Ces variations sont liées aux pratiques de son fournisseur, qu'il ignore : « *le produit de base, le temps de stockage, les conditions de stockage. On ne sait jamais ce que l'on récupère »* (Marc[(Agri3)]).

X.3. **Une approche relationnelle : la gestion des biomasses résiduaires s'inscrit dans des collectifs hybrides différents selon le type de biomasse**

Dans cette partie, je décris les compromis entre valeurs sur lesquels s'appuie la gestion des BR. Je distingue trois types de BR, qui correspondent à autant de compromis différents :

1. Les fumiers de ruminants et les pailles, des ressources qui s'agencent au sein de pratiques d'échange traditionnelles entre agriculteurs.
2. Les engrais commerciaux et les fientes de volailles, des produits commerciaux et industriels qui incarnent une certaine idée de la modernité.
3. Les composts qui s'insèrent dans une hybridation large entre des mondes variés.

Chaque compromis se matérialise par des fonds et des flux reliés, qui forment des collectifs différents. Le Tableau 20 présente ces compromis et ces collectifs, que je développe par la suite.

	Types de BR	Compromis	Collectifs
Des BR qui s'agencent au sein de pratiques d'échange traditionnelles entre agriculteurs	- Fumiers de ruminants - Pailles	Un compromis entre efficacité technique et traditions, stabilisé par des habitudes et par un lien de confiance entre agriculteurs *(compromis industriel-domestique).*	Des collectifs associant agriculteurs et êtres vivants non-humains, au sein desquels les rythmes des cultures et des animaux sont pris en compte.
Des BR qui incarnent une certaine idée de la modernité	- Engrais commerciaux - Fientes d'élevages industriels	Un compromis entre efficacité technique et compétitivité, stabilisé par des produits standardisés et des cultures à haute valeur ajoutée *(compromis industriel-marchand).*	Des collectifs où les acteurs économiques occupent une place centrale, parfois au détriment des besoins des animaux et de la vie du sol.
Des BR qui s'insèrent dans des compromis hybrides	- Composts de ressources agricoles - Déchets industriels et urbains	Un compromis entre efficacité technique et intérêt collectif, stabilisé par des projets collectifs et associations *(compromis industriel-civique).* Un compromis ouvert à l'hybridation : prise en charge des multiples valeurs *(compromis avec les mondes civique, inspiré, marchand).*	Des collectifs qui s'organisent autour du compostage, et donnent une place importante au vivant, à la fois humain et non-humain : exemple de la CUMA Terre Avenir et d'un groupe biodynamique.

Tableau 20 - Présentation des collectifs, en fonction des compromis qui les stabilisent, ainsi que de la prise en compte du vivant en leur sein

3.1. **La gestion des biomasses résiduaires est stabilisée par des compromis entre mondes**

3.1.1. **Des fumiers et pailles qui s'agencent au sein de pratiques d'échange traditionnelles entre agriculteurs**

Un compromis entre efficacité technique et traditions, stabilisé par des habitudes et un lien de confiance entre agriculteurs

Les fumiers et pailles occupent une place centrale dans les systèmes agricoles traditionnels, associant cultures et élevages. Leur gestion s'inscrit dans un compromis entre les mondes

industriel et domestique. La mobilisation des fumiers et leur épandage s'inscrit dans une habitude et une confiance construite au fil des générations. La valorisation des pailles et fumiers se fait au sein du cadre domestique, sur l'exploitation familiale ou au sein d'échanges locaux, via des communautés rapprochées, des voisins, de la famille. Par exemple, les échanges prennent régulièrement la forme de troc. Christian(Agri9), polyculteur-éleveur est associé en GAEC avec son voisin : « *60% de la paille est achetée à un collègue [de l'associé dans le GAEC] et bien souvent on ne la paye pas.* » ou alors « *on rééquilibre à la fin de l'année* ». Ces échanges laissent peu de place à la concurrence. Sylvie(Agri23), viticultrice dans le Diois, confirme : « *Le fumier de vache est récupéré d'un collègue dans le haut-diois, en bio. Il me fournit depuis 2-3 ans, sous la forme d'un troc. Je travaille pour lui, et lui me fournit. C'est un ami d'enfance, je l'aide sur les chantiers.* » *(Sylvie(Agri23))*

Les outils et analyses techniques, propres au monde industriel, participent à stabiliser ce compromis et entrent en résonnance avec les pratiques traditionnelles. Par exemple, Claude(Agri6) justifie ses pratiques comme à la fois traditionnelles, et efficaces du point de vue physico-chimique du taux de matière organique : *« Je pars du principe que j'utilise des bonnes pratiques agricoles, et que forcément, mon taux de matière organique va augmenter ».* Il oppose ses pratiques à celles de ses voisins, qui ont abandonné ces pratiques traditionnelles : *« Quand je vois les voisins qui vendent le grain, ils vendent la paille, ils n'apportent jamais rien à part des engrais chimiques, forcément, mon taux de matière organique doit être meilleur. » (Claude(Agri6))*

Des collectifs associant agriculteurs et êtres vivants non-humains, au sein desquels les besoins des cultures et des animaux sont pris en compte

Mes entretiens m'ont permis d'identifier un certain nombre de collectifs stabilisés par ce compromis des mondes industriel-domestique, organisés autour de pailles et de fumiers de ruminants.

Un collectif s'organise autour de la gestion des pailles et fumiers, en lien avec l'élevage de chèvres de Jeanne(Agri5). Cette agricultrice poly-éleveuse décrit son atelier de caprin lait, qui laisse apparaitre les liens qu'elle tisse avec ses animaux domestiques, ses cultures et ses collègues, ainsi que les interdépendances dans lesquelles ils s'inscrivent. Son système de production, en bâtiment et avec parcours, plutôt extensif, a connu peu de changements depuis quinze ans. Il est représentatif de la production de caprin lait dans la vallée de la Drôme. Dans ce système, l'agricultrice ne peut pas s'abstraire des rythmes et fonctionnements propres des êtres vivants, et en particulier des animaux d'élevage. Ainsi, l'élevage représente un engagement important en matière de temps de travail et d'attention : « *Les chèvres, c'est tous les jours, pratiquement 4h, entre les deux traites.* ». Les rythmes des animaux imposent le fonctionnement de l'exploitation, qui s'organise autour des cycles de vêlage et de montées de lait : « *A la mise bas, c'est huit heures par jour* », sans compter le temps consacré aux cultures ou à son autre élevage, avicole.

Les rythmes des animaux, les variations saisonnières, se traduisent dans des fluctuations quant à la qualité et à la quantité des fumiers produits : « *Le [fumier] de brebis, c'est tellement variable : en fonction de ce qu'elles ont mangé, en fonction du temps, des conditions, du nombre d'agneaux.* » L'élevage fonctionne en lien avec les cultures : les fumiers de chèvres servent à la fertilisation des luzernes. En retour, l'élevage est dépendant

des cultures pour l'alimentation, à base d'orge, mais aussi en paille, pour les litières. Les processus vivants recèlent une certaine indétermination qui fait qu'ils ne peuvent jamais être complètement connus. L'agricultrice n'est jamais à l'abri d'un débordement. La production de pailles s'avère ainsi particulièrement instable d'une année sur l'autre. *« L'année dernière, on n'a quasiment pas produit ».* Jeanne(Agri5) porte une attention aux cultures, en lien avec les animaux : les deux sont reliés dans ses choix de pratiques. Même si elle n'est pas en bio, elle préfère ne pas traiter ses cultures : « *car on ne veut pas leur faire manger n'importe quoi […] on ne va pas mettre des insecticides dans leur ration »*. Ces variations sont liées au fonctionnement normal d'un processus ou de multiples êtres vivants sont impliqués : « *quand on travaille avec le vivant, on ne sait jamais* ». Au sein du collectif d'entités mobilisées dans la gestion des fumiers et des pailles, figurent aussi d'autres humains. Les fumiers sont gérés en lien avec un voisin, avec lequel ils entretiennent une relation proche depuis quinze ans : « *On vend trente tonnes de fumier chèvre à une personne sur Montclar-sur-Gervanne, qui fait des vignes et noyer. Il a fait son stage d'installation à la maison, il y a 15 ans [..] Avant, il étudiait avec ma fille ».*

Un deuxième exemple de collectif concerne les interdépendances entre Ivan(Agri8), un polyculteur en agriculture biologique et ses multiples fournisseurs de fumiers. Il illustre des situations dans lesquelles les agriculteurs sont attentifs aux attentes de ceux auxquels ils sont rattachés par des liens d'interdépendance. Pour Ivan(Agri8), le fumier joue un rôle essentiel dans le maintien de la vie du sol et de son développement. La vie du sol, représente pour lui un patrimoine, transmis, qu'il est quasiment impossible de recréer techniquement : *« Là où mon père a défriché il y a 50 ans on fait des cultures, mais il n'y a pas de sol ! 50 ans après ! C'est de la marne bleue. Ce n'est pas fertile. On le sent, le sol il n'est pas vivant ».* Pour maintenir et améliorer la vie du sol, cela passe nécessairement par de l'apport de BR : « *en tonnage de matières organiques, c'est impressionnant [les quantités qui sont nécessaires ».*

Ainsi, Ivan(Agri8) est dépendant d'autres éleveurs pour sa fertilisation. Un de ces partenaires est son frère : « *La luzerne, est récupérée par mon frère. Cette année, j'en ai donné moins à mon frère, pour échanger de la luzerne contre du fumier. Si je te donne sept hectares de luzerne, tu me donnes du fumier »* Cet échange est basé sur la confiance et la réciprocité : *« le contrat est très flou. C'est oral, mais je lui fais confiance ».* Les relations familiales ont déjà par le passé, représenté un enjeu pour Ivan(Agri8), dans sa gestion des BR. Il a longtemps travaillé avec son cousin, dans un GAEC associant cultures et élevage. La détérioration de leurs relations personnelles a mis fin progressivement à leur collaboration, laissant Ivan(Agri8) sans source de matière organique : « *J'ai commencé en bio en 1998 par les PPAM, par les chèvres. Le GAEC a été rompu et 2012, en raison de différents personnels. Je me suis retrouvé seul, sans chèvres [et sans fumier] ».*

Son deuxième fournisseur de fumier n'est pas un membre de sa famille. Ivan(Agri8) fait néanmoins attention à maintenir de bonnes relations, il prend soin de ne pas exprimer de critiques lors de ses échanges avec lui, même s'il le trouve un peu « *bizarre* » : « *c'est mon fournisseur de fumier, alors je ne vais pas le vexer »*. Ces liens de proximité se traduisent par une prise en compte mutuelle des contraintes de l'autre : « *Quand* [le fournisseur de fumier] *a un coup de bourre [..] dès qu'il m'*appelle, *je réagis, et j'y vais tout de suite. […] l'aider à vider son bâtiment »* (Ivan(Agri8)).

3.1.2. **Des produits commerciaux et industriels qui incarnent une certaine idée de la modernité**

Un compromis entre efficacité technique et compétitivité, stabilisé par des produits standardisés et des cultures à haute valeur ajoutée

Les fumiers et fientes de volaille ainsi que les engrais commerciaux s'inscrivent dans un compromis entre les mondes industriel et marchand, dans lequel les flux sont caractérisés par une recherche de produits à la fois efficaces techniquement et compétitifs en terme de prix, qu'un agriculteur résume par la formule « *l'azote au meilleur prix* » (Laurent(Agri20)). Cette recherche implique une connaissance des produits et de leurs flux, notamment par leurs propriétés physico-chimiques quantifiables (concentration en azote, phosphore, etc.), ainsi que de leur valeur marchande. En ce qui concerne les engrais commerciaux, la connaissance des propriétés physico-chimiques s'ancre souvent dans le recours à des produits standardisés et normés. Cette standardisation facilite la substituabilité des BR par des engrais commerciaux, mais aussi par des fumiers/ fientes de volaille, qui dans certaines situations jouent un rôle analogue. Ils sont régulièrement substitués l'un pour l'autre par les agriculteurs : Ivan(Agri8) décrit ainsi cette complémentarité : « *Sur les céréales, je vais en mettre que 7 tonnes. Si j'ai amené la farine de viande, j'en mets que 5 tonnes »* (Ivan(Agri8)). Les effluents de volaille partagent avec les engrais commerciaux une certaine facilité d'utilisation, que l'on ne retrouve pas avec les fumiers de ruminants : *« En termes de fumier, le plus facile, c'est le fumier de volaille. C'est le plus adapté. »* (Luc(Agri7)).

Les cultures à haute valeur ajoutée participent à la stabilisation de l'usage des effluents avicole et engrais commerciaux et représentent une autre facette de ce compromis industriel-marchand. Les engrais commerciaux sont chers et ne sont rentables que sur des cultures à haute valeur ajoutée qui rapportent bien, telles que les cultures semencières (maïs, tournesol semence) ou légumières (notamment l'ail semence). Ces cultures, qualifiées à la fois de « *techniques* » et « *à haute valeur ajoutée* » répondent à la fois aux exigences d'efficacité et de compétitivité. Claude(Agri6) réserve ainsi les engrais les plus azotés pour ses cultures à hautes valeurs ajoutées : « *le fumier [de volaille] label, il a plus d'azote, je le laisse en surface pour le [maïs] semence, la culture la plus exigeante en azote. Et pour le sorgho et le tournesol, je mets juste du fumier de cheval »* (Claude(Agri6)). La plante est caractérisée selon sa demande en azote et s'ancre dans la recherche d'efficacité et de compétitivité : « *La plante, c'est comme pour nous, si on a une morphologie, il faut la nourrir ! […] si on ne la nourrit pas, elle rentre en stress ! Et ça fait quoi ? Ça fait rien [en termes de rendement] ! »*

Des collectifs où les acteurs économiques occupent une place centrale, parfois au détriment des besoins des animaux et de la vie du sol

Mes entretiens m'ont permis d'identifier un certain nombre de collectifs organisés autour d'engrais commerciaux ou de fientes de volailles, stabilisés par ce compromis industriel-marchand.

Reprenons l'exemple de Jeanne(Agri5), l'agricultrice poly-éleveuse (chèvres, volailles), dont j'avais déjà décrit plus haut la participation à un collectif autour de fumiers de ruminants et de pailles. Elle participe aussi à un autre collectif, autour de fientes de volailles. Dans sa gestion des fumiers de volailles, elle se retrouve liée au groupe Duc, ainsi qu'à une race de poulet, la Ross. Ce collectif se distingue du précèdent à plusieurs égards : Alors que pour les chèvres,

Jeanne(Agri5) dispose d'une capacité d'agir importante dans ses choix de pratiques elle est ici contrainte par le groupe Duc dans tous ses choix. Le groupe Duc, un « *intégrateur »* prend en charge la majorité des problèmes techniques que rencontre l'éleveuse : aucune décision majeure concernant les pratiques d'élevage ne peut être prise sans lui. Il décide du temps que les animaux vont passer sur l'exploitation (la durée des bandes), il programme les dates d'entrée et de sortie. Jeanne(Agri5) n'est pas non plus libre du choix des races de poulets qui sont élevés sur son exploitation, son intégrateur, le groupe Duc, lui impose la race de poulet Ross, que l'agricultrice considère comme « *bas de gamme* », qui se traduisent par des cycles de production plus courts, avec des animaux à croissance rapide. Les animaux d'élevage jouent un rôle central dans ce collectif, mais ils sont peu pris en compte dans leurs rythmes propres. Les animaux dans ces conditions adoptent des comportements très éloignés de ce qu'elle considère comme « *normal* » : « *[le poulet Ross] c'est un poulet qui ne gratte pas, qui ne bouge pas […] ça n'a pas de forme ».* La qualité du fumier est aussi impactée par ce système : « *[normalement] c'est les poulets qui travaillent : qui retournent, ressortent la paille fraîche. Ça fait un fumier très fin. »* Ce n'est plus le cas dans le cadre d'une production « *bas de gamme* », ou le bâtiment devient « *humide* », le fumier se travaille plus difficilement. Pour Jeanne(Agri5), ce mode de production a un effet négatif sur son rapport aux animaux. En contraste avec des élevages de ruminants qui lui demandent un engagement important en temps au quotidien et une présence auprès des bêtes, l'élevage avicole demande « *uniquement de la surveillance [..] c'est tout automatique »* (Jeanne(Agri5)). Souvent, elle passe dans le bâtiment uniquement une fois par jour, parfois pas du tout. C'est son mari qui s'occupe d'ailleurs principalement des poulets.

Deuxième exemple d'agriculteur, celui d'Ivan(Agri8). Sa gestion des fientes s'inscrit dans un collectif au sein duquel il se retrouve lié à un éleveur de poules pondeuses, et, par son intermédiaire, à un intégrateur. Ivan(Agri8) se retrouve confronté à la capacité d'agir de l'intégrateur, dans ses choix de fertilisation. En effet, les fientes représentent une source majeure de fertilisation pour ses céréales, ainsi que pour ses cultures semencières : « *Dès février, elles sont épandues sur les céréales. C'est royal, on voit l'effet [sur le rendement] ».* Mais les besoins de ses cultures ne sont pas du tout pris en compte par l'intégrateur. Lorsque les dates de fin de bande (et donc le curage des bâtiments) et la récupération des fumiers) concordent avec les périodes d'épandage, les fientes suffisent à répondre aux besoins de fertilisation : « *L'année dernière, je n'ai pas acheté [de farines de viandes], car les fientes sont arrivées au bon moment. ».* Mais cette situation ne s'est pas reproduite cette année : « *Cette année, [mon fournisseur] a sorti 16 semaines plus tard son fumier. »* La date ne concordant pas avec les cycles des cultures, il a dû stocker les fientes en attendant. Les fientes ont perdu leur valeur fertilisante : « *Je l'avais stocké 6 mois ça ne valait plus rien je l'ai mis trop tard, au mois d'avril ».* En cause, les cycles de production, sur lesquels l'éleveur n'a pas la main : « *Le problème, c'est la concordance de la sortie des poulaillers et des besoins des cultures […] On ne peut pas demander à l'éleveur de décaler.. il est intégré.. ce n'est pas lui qui choisit ».* La situation se reproduit, d'une année sur l'autre : « *Les poulaillers fonctionnent sur des cycles de 14 mois. Ça se décale [chaque année], et on va se retrouver [encore] avec de l'azote volatil »* (Ivan(Agri8)). Plus généralement, en ce qui concerne le maintien de la fertilité des sols, Ivan(Agri8) reconnait que les fientes et engrais se révèlent moins efficaces que d'autres fumiers, notamment de ruminants sur le long terme : « *L'effet fertilisant des fientes, c'est flagrant [sur le moment] mais pas sur le long terme »* (Ivan(Agri8)).

3.1.3. **Des composts qui s'insèrent dans des compromis hybrides**

Des compromis entre efficacité technique et intérêt collectif, stabilisés par des projets collectifs et associations

La gestion des composts s'inscrit dans un compromis entre valeurs industrielles et intérêts collectifs (monde civique). La pratique du compostage contribue à une recherche d'efficacité (préserver les nutriments des effluents), ainsi qu'à la prise en compte des intérêts collectifs des autres humains et non-humains (qui incluent les intérêts locaux, de la collectivité, mais aussi du capital naturel, et qui passe par le respect de la règlementation). Ce compromis est stabilisé par des projets collectifs et des associations.

Par exemple, pour Ivan(Agri8), le compostage permet de fixer l'azote présent dans les effluents d'élevages ou dans les parcelles. « *L'idée du compost de broyats avec fientes, c'est pour essayer de fixer l'azote (quand les fientes n'arrivent pas au bon moment), car il est très volatil. Sinon j'en perds 70% »*. Les agriculteurs pratiquant le compostage s'inscrivent dans un compromis qui donne une place importante à la matière organique (MO) et à la vie du sol : « *L'idée c'est de produire de la biomasse sur ma parcelle, en plus de mes raisins, et d'augmenter la matière organique*. » Au sein de ce compromis, la recherche d'efficacité se conjugue avec un attachement aux collectivités : l'agriculteur fertilise ses cultures tout en participant à rendre service à la collectivité. *« J'ai signé une convention cette année avec la CCVD pour prendre des déchets organiques... pour maintenir la MO […] et j'aime bien l'idée que ça rend service à la collectivité* » (Ivan(Agri8)).

Un autre exemple de collectif, stabilisé par un compromis industriel-civique, s'organise autour du compostage à la ferme. Un retourneur d'andain partagé, mobilisé dans le cadre de la CUMA[62] Terre Avenir y joue un rôle important. La société coopérative met à disposition de ses adhérents un service de retournement d'andain. Un entrepreneur, payé par la coopérative, organise des tournées sur un territoire étendu, en Drôme et en Ardèche. Les agriculteurs recherchant dans la CUMA une plus grande efficacité dans leur travail quotidien (monde industriel) : Christian(Agri9), un polyculteur et adhérent précise : « *Le compostage [je l'ai] longtemps fait à l'épandeur. C'était un gros boulot. Aujourd'hui, avec la CUMA TA, et le retourneur d'andain, c'est top, [je suis] beaucoup plus efficace. »* (Christian(Agri9)). La CUMA repose aussi sur la solidarité entre membres (monde civique). Elle fonctionne sur une mise en commun des coûts, qui permet à des agriculteurs d'accéder à un service auquel ils ne pourraient pas souscrire d'une autre manière. Tous les agriculteurs payent le même prix, facturé à la minute de retournement ; et ceci quelle que soit l'adresse de l'exploitation et donc le temps de transport. Un agriculteur du « *fin fond du Diois »* accède donc au service au même prix qu'un agriculteur de la vallée du Rhône. Le fonctionnement de la CUMA repose aussi sur l'engagement des adhérents dans son fonctionnement, comme le précise Jean(Agri2), maraîcher et adhérents : La CUMA repose sur « *toutes ces personnes qui s'impliquent bénévolement pour faire fonctionner la CUMA »*, ainsi que « *l'entrepreneur, qui fait des tournées longues »*, parfois sur deux jours.

[62] Les coopératives d'utilisation de matériel agricole (CUMA) permettent de stabiliser ces collectifs. Elles permettent de disposer de matériel performant en s'inscrivant dans une démarche collective.

Un compromis ouvert à l'hybridation : prise en charge des multiples valeurs dans les collectifs

La gestion des composts peut également s'insérer dans un compromis ouvert à une diversité de mondes, autres que les mondes industriel et civique.

Cela peut s'inscrire dans un compromis avec le monde inspiré, où les agriculteurs accordent de l'importance à leur expérience et à leur ressenti personnel, la valeur qu'ils accordent à leur sol déborde des mondes industriel (des analyses physico-chimiques) ou civique (des normes règlementaires). C'est ce que m'indique Ivan(Agri8) : « *C'est dur d'évaluer la fertilité d'un sol.. Ce qui me manque, c'est l'analyse de la vie bactérienne. Il y a des analyses à 50€, mais pour une analyse sérieuse il faut 300€. »* Si les analyses « *confirment un aperçu* » (Ivan(Agri8)), c'est souvent par d'autres manières que les agriculteurs approchent la vie de leur sol ou de leur compost. L'observation, mais aussi l'expérience sensible, parfois couplés à des croyances, participent à enrichir le rapport au vivant.

Un autre exemple de collectif, basé à dans la commune de Crest consiste notamment en un groupe d'agriculteurs biodynamiques, et s'inscrit dans un compromis hybride, incluant les mondes industriel, civique, marchand et inspiré. Le groupe s'est formé pour produire ensemble des préparations biodynamiques, qui sont ensuite utilisées individuellement par les agriculteurs sur leurs fermes. Ce collectif répond à une volonté de mise en commun des moyens, dans une perspective d'efficacité (monde industriel) : « *Individuellement, ça prend beaucoup de temps de faire ces préparations. Alors les agriculteurs se regroupent. ».* Pour Léo(Agri30), un viticulteur qui y participe, ce collectif lui permet de rencontrer d'autres agriculteurs qui partagent les mêmes valeurs, qui donnent de l'importance à la vie du sol, et d'échanger des idées pour améliorer ses pratiques. Il représente un lieu de sociabilité et de partage : « *C'est un super moment d'échange : on parle avec des gens divers, du Gard, du Vaucluse. » (Léo(Agri30)).* Dans ce collectif, les agriculteurs interagissent avec des BR d'origine animale ou végétale, qui visent à améliorer la vie du sol : ces préparations peuvent être à base de produits végétaux « *à base de Valériane, d'Ecorce de chêne, de camomille. »,* d'autres préparations impliquent des produits animaux et notamment les bouses de cornes (de cornes de vaches, remplies de bouses de vaches, *« laissées enterrées, du solstice d'automne au solstice de printemps »,* qui sont ensuite dynamisées, et épandues sur les parcelles). Dans le cadre des croyances biodynamiques (monde inspiré), ces préparations participent à une meilleure dégradation de la matière organique : « *Le sol prend un peu ce compost comme un modèle, et donc les engrais verts, les plantes, les bois de taille, vont se décomposer de façon idéale »* (Léo(Agri30)). Récemment, l'Herbier du Diois, une entreprise de commercialisation d'herbes aromatiques, a pris une place importante dans le collectif : elle vise à développer un nouveau groupe, basé dans le Diois. Manquant d'agriculteurs pratiquant la biodynamie au vu de ses débouchés, l'Herbier du Diois y voit un moyen de soutenir les agriculteurs du territoire et d'être plus compétitive (monde marchand) : *« Le principal problème de la biodynamie, c'est qu'il faut du temps. Ce temps, c'est nous qui le prenons. C'est du temps salarié. Pour nous, l'objectif c'est d'avoir un outil d'échange qu'on pilote. Ça permet par exemple d'inviter un agriculteur intéressé au groupe. On aide ainsi les agriculteurs à se convertir.* » Voulant se rapprocher du monde agricole, dont elle « *se sent exclue »* l'entreprise dispose d'une exploitation agricole intégrée. Pour la responsable, Marie(Agri15), l'exploitation est un outil pour ancrer l'Herbier du Diois dans le territoire : Marie(Agri15) assume une charge administrative dans la CUMA de la commune. Cet engagement permet d'être plus proche des agriculteurs. « *On travaille avec les fournisseurs*

de proximité: on se fournit, mais aussi on les conseille. On connaît leurs problèmes, et on est en meilleure position pour discuter et négocier. » L'entreprise organise aussi la centralisation d'achat d'engrais commerciaux pour plusieurs agriculteurs, car elle dispose d'une plateforme qui permet de réceptionner.

3.2. **Des recompositions de collectifs dans les situations problématiques : exemple des collectifs autour des fumiers de ruminants et pailles**

Les bouleversements du métabolisme représentent des situations problématiques pour les agriculteurs qui peuvent aboutir à des recompositions des collectifs. Ces recompositions peuvent avoir lieu dans le cadre du compromis existant : maintien de l'usage de la BR, au prix de certaines adaptations. Par exemple, un épisode de sécheresse qui va avoir pour effet de limiter la quantité de paille échangée entre un agriculteur et un éleveur, sans pour autant remettre en cause leur relation. Ou au contraire, elles peuvent aboutir à l'abandon du compromis existant et à l'adoption d'un autre compromis, par exemple l'adoption de produits commerciaux, dans le cadre d'un compromis industriel-marchand.

Je prends ici l'exemple de collectifs qui s'organisent autour de fumiers de ruminants et de pailles et qui sont inscrits dans un compromis industriel-domestique. Je reprends les exemples de situations problématiques donnant lieu à des bouleversements du métabolisme (identifiée en *Chapitre X.2*). Le Tableau 21 (page suivante) résume les différents types de recompositions possibles qui sont développées ci-dessous.

3.2.1. **Des variations de flux au sein de l'exploitation : exemple d'une faible prise en compte de la vie du sol**

Les épisodes de sécheresse rompent l'équilibre entre maintien de la vie du sol et solidarité paysanne, au profit de valorisations marchandes des fumiers et pailles

Les collectifs organisés autour de pailles ou fumiers de ruminants et stabilisés par un compromis industriel-domestique sont sujets à des variations de flux au sein de l'exploitation, notamment du fait d'épisodes de sécheresses. La production de pailles, en particulier, est fortement impactée par ces épisodes, notamment pour les agriculteurs qui ne disposent pas de systèmes d'irrigation sur toutes leurs parcelles. Ces épisodes de sécheresses mettent à mal un compromis entre solidarité paysanne (monde domestique) et maintien de la fertilité du sol (monde industriel).

Par exemple, Kévin(Agri11), un polyculteur, est amené à devoir choisir entre aider ses collègues et garder ses pailles : « *A priori, j'essaye de ne pas les exporter. Mais si un éleveur me les demande, je la laisse, par solidarité. Tout en étant conscient que ce n'est pas le meilleur pour le sol. »* (Kévin(Agri11)). Dans ce cas, la solidarité est souvent privilégiée : « *J'exporte un peu des pailles, même si je voulais pas. Si personne ne le fait, les éleveurs n'en auraient pas non plus. On est bien obligés. »*. Christian(Agri9) préfère couper le lien entre ses cultures et son élevage : « *Je réfléchis à broyer et à enterrer les pailles, et à en acheter en dehors [pour les animaux]»* (Christian(Agri9))

Situations problématiques	Maintien du compromis précédent	Adoption de produits commerciaux dans le cadre d'un compromis industriel-marchand	Adoption de pratiques de compostage dans le cadre d'un compromis hybride
Des variations de flux au sein de l'exploitation : exemple d'une mauvaise prise en compte de la vie du sol	Les épisodes de sécheresse rompent l'équilibre entre maintien de la vie du sol et solidarité paysanne.		Le compostage comme réponse aux variations de flux sur l'exploitation, par l'amélioration de la vie du sol.
Des variations de flux échangés : exemple d'une mauvaise prise en compte de la capacité d'agir de ses partenaires commerciaux		Le développement de valorisations marchandes des fumiers et pailles fragilise les échanges de fumiers au profit d'engrais commerciaux.	Le compostage de déchets verts comme alternative aux fumiers.
L'entrée de nouveaux êtres non-humains : exemple de la salmonellose	Le contexte règlementaire et sanitaire contribue à rendre difficile la mobilisation des fumiers et met parfois les agriculteurs en porte-à-faux vis-à-vis de la loi.	- La contrainte règlementaire est régulièrement contournée grâce à des dispositifs techniques : l'exemple des logiciels de gestion de parcelles. - Les fumiers sont sous-traitées et exportés vers des opérateurs privés et deviennent des engrais commerciaux.	Le compostage pour composer avec la salmonellose, mais limitée par les contraintes règlementaires.
L'entrée de nouveaux êtres humains : exemple des tensions avec les voisins néo-ruraux		Des conflits qui reflètent l'affaiblissement de la place du monde domestique, et qui contribuent à limiter la mobilisation des fumiers au profit d'engrais commerciaux.	Le compostage comme facilitateur pour composer avec la contrainte des voisins.

Tableau 21 - Recompositions des collectifs organisés autour de fumiers de ruminants et pailles face à des bouleversements du métabolisme

Le compostage comme réponse aux variations de flux sur l'exploitation, par l'amélioration de la vie du sol

Laurent(Agri20) est un agriculteur céréalier, en agriculture biologique. Il est confronté à des variations de quantité et de qualité de fumiers, qu'il est amené à récupérer. Il est aussi particulièrement sujet à des épisodes de sécheresse, une partie importante de ses parcelles n'étant pas irrigables. Pour faire face à ces variations, il fait le choix d'adopter un système de culture plus résilient, qui tolère ces fluctuations : plutôt que de chercher l'irrigation à tout prix, il cherche à s'inscrire dans un collectif au sein duquel l'irrigation n'est pas essentielle.

Pour pouvoir stabiliser ce collectif, il doit absolument pouvoir compter sur la qualité de son sol, qu'il perçoit notamment au travers de sa quantité de matières organiques et de sa fertilité. Son sol est déjà bon, mais pour pouvoir rendre cette stratégie viable à long terme, l'amélioration de la qualité de son sol représente un passage obligé. L'adoption du

compostage représente pour lui un moyen d'améliorer la vie de son sol. Pour Laurent(Agri20), ce processus de compostage est donc pertinent, car il mime le fonctionnement naturel : « *on trouve des similitudes dans les processus d'humification et de compostage.* » Le compostage contribue aussi à lever d'autres contraintes biologiques, et notamment la présence d'adventices dans les effluents d'élevages ou dans le sol.

3.2.2. **Des variations de flux échangés : exemple d'une faible prise en compte de la capacité d'agir de ses partenaires commerciaux**

Le développement de valorisations marchandes des fumiers et pailles fragilise les échanges entre agriculteurs au profit de produits commerciaux

Les collectifs organisés autour des fumiers de ruminants et des pailles, stabilisés par un compromis industriel-domestique peuvent être parfois déstabilisés par l'entrée de considérations marchandes : les fumiers et pailles sont de plus en plus régulièrement vus comme des produits rares et recherchés (monde marchand). Hervé(Agri13), un céréalier conventionnel et entrepreneur agricole est ainsi perturbé par le comportement d'un agriculteur du voisinage et partenaire, auquel il fournit habituellement des pailles : *« cette année, il [m'] a demandé 10 hectares [d'orge], il disait qu'il en avait besoin. ».* Hervé(Agri13) est étonné par cette demande. Il connait l'autre agriculteur et son élevage : « *Je me suis dit c'est bizarre, car les éleveurs de chèvre n'aiment pas l'orge »*. Il a néanmoins accepté de fournir de la paille. Ce n'est que plus tard, lors de la récupération effective des pailles, qu'il comprend que la nature de l'échange a changé : « *C'est une [une autre personne] qui a acheté la paille qui est venu la ramasser ».* Hervé(Agri13) comprend alors qu' « *en fait, [l'acheteur] s'est lancé dans le négoce. »* Cette pratique nouvelle s'avère difficilement compatible avec le compromis industriel-domestique préexistant : il a l'impression de « *s'être fait avoir* ». La paille n'était pas pensée comme un bien marchand et cette nouvelle caractéristique vient mettre un doute sur la relation : « *Il n'a peut-être pas la sensation de m'avoir roulé... Il m'a bien dit "je cherche" [sans préciser si c'était pour lui ou quelqu'un d'autre], mais quand même… »* (Hervé(Agri13)). Vu sous l'angle de ce nouveau compromis industriel-marchand, l'échange perd son intérêt, notamment du point de vue de la fertilité du sol : « *Il l'a prise pour la revendre ! Non seulement ça gagne rien, mais ça a pourrit le terrain ! Mais aucun intérêt ! ».*

Pour les agriculteurs qui composent avec ces valeurs marchandes, la mobilisation des fumiers ne va plus de soi. Les fumiers souffrent la comparaison avec d'autres BR, et notamment des engrais commerciaux : Ils ne sont pas assez stables et leurs caractéristiques ne s'avèrent plus assez bien connues : « *avec l'ammonitrate, on est sûr que ça va passer, alors qu'avec le fumier, on ne sait jamais »* (Christian(Agri9)). Mieux vaut encore faire avec les contraintes du marché qu'avec celles propres au fumier domestique : « *Mieux vaut parfois mettre encore 100€ de plus, et acheter du Végéthumus de chez Falipou, ou de l'Ovinalp [des engrais organiques du commerce], [plutôt que des fumiers] vous en mettez une tonne par hectare, et vous êtes sur de la matière que vous épandez » (Laurent(Agri20)).* Dans la logique marchande, les fumiers représentent de plus « *un surcoût* » par rapport aux engrais commerciaux, auxquels ils sont comparés : « *Au niveau agronomique, [les fumiers] c'est intéressant, mais au niveau économique, non : car après, il faut l'épandre avec un épandeur [..] avec mon matériel, mon fioul […] C'est pour ça que face à un engrais minéral, ou a un coût disproportionné »* (Hervé(Agri13)).

Le compostage de déchets verts représente une alternative aux fumiers

Pour certains agriculteurs auprès desquels j'ai pu enquêter, la récupération et le compostage de déchets verts ont été vus comme des alternatives face à la difficulté de trouver des fumiers. L'insertion dans un compromis industriel-civique fait suite aux difficultés rencontrées dans le compromis industriel-domestique.

Par exemple, Claude(Agri6), un céréalier en agriculture biologique, récupérait depuis quinze ans du fumier de bovin auprès d'un éleveur Ardéchois. Ces fumiers représentaient la majorité de sa fertilisation. Depuis quelques années, il a été soumis à une baisse, puis à une disparition progressive de son approvisionnement en fumier : *« J'avais du fumier de bovin jusqu'en 2017 [...] Le gars qui m'en fournissait a arrêté car il a trouvé des terres et garde le fumier pour lui. »* Le compost de déchets verts, proposés par la collectivité, représentait pour lui une alternative : « *Quand je n'avais plus de fumier, il a fallu trouver une solution. Alors je suis allé voir pour des déchets verts ».* Le fait de diversifier ses sources d'approvisionnement, permet de limiter les risques liés à la fermeture des élevages : *« Avant, j'étais dépendant des éleveurs. Maintenant je le suis moins, car j'ai des déchets verts » (Claude(Agri6)).* Cette nouvelle relation régulière avec la collectivité (où il va chercher les déchets verts toutes les semaines) lui convient bien, il avance que c'est aussi un service qu'il rend à la collectivité, dans un esprit d'intérêt général (monde civique). Elle lui permet aussi de développer l'activité de compostage dans laquelle il trouve beaucoup d'intérêt et de satisfaction personnelle (monde inspiré). Il expérimente, essaye plusieurs procédés différents. Il se rend sensible aux produits qu'il manipule : l'odeur, la texture du compost, à différents stades de décomposition. Il tente aussi le compostage sous bâtiment, en faisant construire un hangar exprès pour ça, grâce à un contrat avec une entreprise installant des panneaux photovoltaïques. N'ayant pas eu à payer pour la construction du hangar, il considère avoir fait une excellente affaire (monde marchand). Cette transformation l'a aussi amené à investir et à se doter d'un camion ainsi que d'un tractopelle destinés à transporter et à manipuler le compost.

3.2.3. **L'entrée de nouveaux êtres non-humains**

Le contexte règlementaire et sanitaire contribue à rendre difficile la mobilisation des fumiers et met parfois les agriculteurs en porte-à-faux vis-à-vis de la loi

Pour des agriculteurs qui s'insèrent dans un compromis industriel-domestique, les cadres règlementaires représentent une contrainte lourde, qui remet en cause les pratiques traditionnelles.

Jeanne(Agri5), une agricultrice en polyculture-polyélevages, est ainsi amenée à devoir adapter ses pratiques : « *On est tellement emmerdé pour épandre [..] on a beaucoup plus de contraintes qu'avant dans l'agriculture […] on ne peut pas épandre quand on veut, où on veut. Par exemple s'il y a une source, on ne peut pas le faire [..] Et on nous dit pourtant que le fumier c'est naturel ! »* (Jeanne(Agri5)) Les fumiers sont interdits comme fertilisants sur des PPAM. « *Le problème, c'est notre fumier, on en fait quoi ? La DDT elle nous dit : "il faut garder votre fumier"! Eh, et vous voyez ce qu'on a comme contraintes ? On se fait taper sur les doigts de partout »* (Jeanne(Agri5)). Jeanne(Agri5) est amenée à composer avec ces changements légaux, en limitant ses épandages, malgré les difficultés cumulées des

contraintes techniques et réglementaires. Ces transformations se font au dépend de la place occupée par les fumiers dans le métabolisme : les surfaces sur lesquels ils sont épandus diminuent : là où l'épandage de fumiers n'est plus possible, elle préfère mettre des engrais chimiques.

Dans d'autres cas, le cadre règlementaire est dénoncé. Par exemple, Kévin(Agri11) le décrit comme une contrainte absurde d'un point de vue scientifique (monde industriel): « *On est obligé d'épandre tard, après on laboure tard, le gel n'agit plus ».* Selon lui, cette contrainte n'est pas légitime : « *il faudrait enlever les dates d'épandage et de labour, car c'est complètement débile. Limiter les zones non-épandables. Enlever les bandes enherbées en bio. »* Plutôt que de composer avec la contrainte, il préfère la contourner : « *On nous enlève tellement de surface, s'il y a un ruisseau, s'il y a une maison. […] C'est mal fait. C'est des gens dans des bureaux qui décident ça et sur le terrain, techniquement, on fait quoi ? […] Sur une parcelle de 2,2 ha, j'ai deux mille mètres carrés épandables ! [Donc] on fait quoi, on met juste une petite bande au milieu pour leur faire plaisir ? Et le reste on met pas de fumure ou pas d'engrais ? [Alors] on épand sur toute la parcelle quand même. Mais on ne peut pas le déclarer. »*

La contrainte règlementaire est régulièrement contournée grâce à des dispositifs techniques : l'exemple des logiciels de gestion de parcelles

Les logiciels de gestion de parcelles sont développés par des entreprises privées, coopératives ou par les chambres d'agriculture et proposées sous la forme d'un service technique et commercial aux agriculteurs. Ils s'inscrivent dans un compromis industriel-marchand et constituent une ressource importante pour les agriculteurs, leurs permettant de composer plus facilement avec les contraintes règlementaires.

Fréderic(Agri25), céréalier, utilise Opticoop, le logiciel proposé par sa coopérative. Le logiciel lui sert de prescripteur en matière de fertilisation : *« c'est le plan d'épandage qui décide de l'azote. Je mets ce que le logiciel me demande de mettre »*. Si le logiciel propose un conseil, il fournit aussi une justification des pratiques, selon des critères agronomiques. Le logiciel permet de faciliter les déclarations légales, et notamment les « *déclarations PAC* ». Mais pour Fréderic(Agri25), son rôle ne se limite pas à cela. Il permet de justifier, légalement, de la conformité de ses pratiques en cas de contrôles : « *vu qu'on est soumis à contrôle, il faut être plus cons qu'eux [les contrôleurs] »* (Fréderic(Agri25)). « *C'est pour ça que je fais appel à Opticoop. Même si ça ne me plaît pas […] sinon c'est trop compliqué [de faire les déclarations] »* (Fréderic(Agri25)).

Hervé(Agri13) utilise quant à lui MesParcelles, un service proposé par la chambre d'agriculture. Le logiciel lui permet d'augmenter sa fertilisation azotée, en jouant avec le rendement attendu de ses cultures : « *Avec une irrigation normale, je suis à 115 quintaux de moyenne. [Mais] je [déclare] que je vais faire 140 quintaux, pour qu'ils m'autorisent à mettre 220 unités d'azote. Car l'expérience me montre que si je ne mets pas les 220 unités d'azote, je n'ai pas les 115 quintaux. Mais si je mets [que je compte faire] 115 quintaux, il va me plafonner ma fumure à 115 unités d'azote, et là je ne passe pas »* (Hervé(Agri13)*).*

Les logiciels de gestion de parcelles offrent aux agriculteurs un outil puissant qui leur permet en même temps d'optimiser leurs apports et de répondre aux contraintes règlementaires. Dans certains cas, ils permettent de contourner la règlementation plus radicalement encore. Selon Vincent(expert7), le logiciel peut être utilisé pour frauder la PAC, en permettant à un agriculteur de créer plusieurs enregistrements distincts pour une même exploitation. « *Beaucoup font ça. Il y a deux enregistrements de l'exploitation [dans MesParcelles] : une pour la gestion de l'exploitation réelle, l'autre pour la [déclaration] PAC* » (Vincent(expert7)).

La salmonellose limite les échanges de fumiers entre agriculteurs au profit d'opérateurs privés

L'entrée de la salmonelle sur l'exploitation reconfigure les pratiques des agriculteurs et fragilise les collectifs dans lesquels ils s'insèrent. La salmonellose déséquilibre les collectifs organisés autour de fumiers, et stabilisés par un compromis industriel-domestique, en rompant la confiance locale entre agriculteurs. Les autres exploitations, les animaux du voisinage, le matériel tout devient une source de contamination potentielle. C'est ce qui arrive par exemple pour le collectif dans lequel s'insère Pascal pour la gestion de ses fumiers : face aux rumeurs concernant la contamination d'élevages dans son voisinage, il préfère refuser une opportunité de récupérer du fumier, qu'il considère pourtant comme agronomiquement intéressante : *« J'ai [un voisin] qui m'a demandé d'épandre du fumier de volaille, avec de la salmonellose... J'ai réfléchi... Mais je ne voulais pas l'utiliser... Je ne veux pas de ça dans mon élevage. ».* Il refuse toute interaction avec d'autres élevages, CUMA, ou partage de matériel, afin d'éviter tout risque de contamination. Pour satisfaire ses besoins en azote, pour ses cultures, il préfère se tourner vers sa coopérative, qui lui fournit des engrais commerciaux.

Pour les agriculteurs dont les élevages sont touchés par la salmonellose, les contraintes règlementaires poussent les agriculteurs à abandonner leurs fumiers. Selon Bastien(expert12), la règlementation impose un compostage des fumiers avec une montée en température contrôlée, des conditions qui s'avèrent difficiles à respecter sur une exploitation agricole. Pour y faire face, les agriculteurs sont souvent tentés de s'associer avec d'autres acteurs notamment des entreprises agréées pour le traitement des fumiers « salmonellés ». Jamonet est le seul à être agréé et connu des agriculteurs, bien qu'il se situe en dehors du territoire. En y faisant appel, les agriculteurs abandonnent des échanges dans lesquels ils sont liés, et sont contraints d'exporter leur fumier gratuitement. Les composts sont ensuite vendus comme des produits normés à une clientèle large à l'échelle régionale. Les fumiers quittent le compromis industriel-domestique dans lequel ils s'inséraient, au profit d'un compromis industriel-marchand.

Une composition avec la salmonellose grâce au compostage, mais limitée par les contraintes règlementaires

Confrontés à la salmonellose, certains agriculteurs envisagent le compostage comme une solution. En effet, le compostage permet de s'affranchir de certaines contraintes règlementaires, liées au signalement d'une contamination à la salmonellose sur une exploitation. Il permet d'assainir les fumiers, grâce à une montée suffisante en température. Mais cette montée en température exige une maîtrise technique difficile à mettre en place dans le cadre d'une exploitation agricole : les contraintes règlementaires imposent un contrôle de la montée en température, et un agrément très difficile à obtenir à l'échelle d'une

exploitation agricole[63].

3.2.4. **L'entrée de nouveaux êtres humains : exemple des tensions avec les voisins néo-ruraux**

Les conflits avec les voisins contribuent à limiter la mobilisation des fumiers au profit d'engrais commerciaux

Les conflits entre agriculteurs et leurs voisins néo-ruraux affaiblissent le compromis industriel-domestique dans lequel s'insère la gestion des fumiers.

Prenons l'exemple du collectif dans lequel s'insère Sophie(Agri27), une éleveuse et céréalière du Diois. Pour elle, les tensions avec ses voisins prennent la forme de plaintes et de visites de la police. L'agricultrice raconte ainsi qu'une fois, « *il y a 3 ans, il y a eu une plainte pour du fumier épandu. [La police est] venue directement chez moi, sans [vérifier] que c'était mes parcelles » (Sophie(Agri27)).* Il s'agissait de parcelles d'un autre agriculteur, n'habitant pas sur la commune. Cet évènement traduit un affaiblissement de la place du monde domestique : Il révèle la disparition de tout lien local « *entre voisins* », entre habitants d'un même village. Du point de vue du monde domestique, ces nouveaux habitants sont vus comme des étrangers : « *Le problème, c'est que c'est des gens qui viennent de l'extérieur […] c'est les gens de la ville qui sont arrivés. ».* Un point de vue que confirme Eric(Agri16) : *« ici, la moitié des maisons, ce sont des résidences secondaires ».* Leurs valeurs sont différentes : « *C'est la mentalité des gens qui a changé » (Jeanne(Agri5)).* Les habitudes, les us et coutumes du travail agricole ne sont pas reconnues par ces nouveaux habitants : « *Ils viennent à la campagne, et ils veulent être tranquilles. »* (Sophie(Agri27)). Ces nouveaux arrivants remettent en cause un monde domestique qui du point de vue des agriculteurs était déjà fortement fragilisé : « *Avant on était seuls dans le hameau. [L'arrivée des néoruraux] c'est la perte des agriculteurs […] Sur la commune, on n'est plus que trois chevriers. »* (Jeanne(Agri5)) « *A Blacons, ils ont laissé construire. On n'est plus que quatre ou cinq agriculteurs. C'est un vrai problème.* » (Laurent(Agri20)).

Pour se soulager de ce poids, certains agriculteurs préfèrent laisser leur fumier, plutôt que de le valoriser eux-mêmes. Cela se traduit par l'abandon du collectif organisé autour des fumiers, et donc des autres entités prises en charge : l'entretien de la vie du sol, les interdépendances entre cultures et élevage. Par exemple, Claude(Agri6) décrit un de ses partenaires, qui lui fournit son fumier et qui préfère l'exporter sur de grandes distances, plutôt que de l'épandre sur ses terres « *à chaque fois qu'il épand, il a son téléphone qui sonne [des voisins l'appellent pour se plaindre], alors il préfère exporter »* (Claude(Agri6)). C'est ainsi que du fumier du Vaucluse se retrouve dans la vallée de la Drôme. Il complète alors ses besoins par des engrais chimiques, qui ne génèrent pas de nuisances pour le voisinage.

[63] Théoriquement, le compostage permettrait de répondre à ces enjeux réglementaire et sanitaire, tout en répondant aux besoins des cultures. Je n'ai néanmoins pas observé de collectif stabilisé de ce type. Par contre, le projet Compost et' moi, représente une démarche dans ce sens, démarche que je développe dans le chapitre suivant, page 188.

Le développement du compostage participe à rendre plus facile la composition avec la contrainte des voisins

Le compostage ouvre des possibilités de compromis avec le voisinage. Il contribue à limiter les odeurs, limitant les réclamations. « *Le problème à Aouste, c'est que j'ai de nombreuses terres dans les lotissements... et l'intérêt, c'est que le compost de fumier de chèvre, ça sent rien. "Les gens dans les lotissements me disent qu'ils sont surpris que ça ne sente pas. »* (Pascal)

Dans certains cas, les agriculteurs réussissent à composer avec cette situation. C'est ce que fait Jeanne(Agri5), qui accepte de discuter ses pratiques avec ses voisins : « *On [va] les voir, on leur dit qu'on va épandre. On s'adapte ».* C'est ce que confirme Bastien(expert12) : « *Si en tant qu'agriculteur, vous leur dites "bien là je vais épandre" moi, personnellement, je n'ai jamais eu de soucis, pourtant je suis en péri-urbain »*. Les pratiques traditionnelles (monde domestique) permettent d'éviter les conflits : « *Si on a le bon sens paysan, c'est sûr qu'on va pas laisser notre fumier pendant quinze jours sur le sol [sans l'enfouir] ».* Dans le cas de tensions avec les voisins, Laurent(Agri20) tient à expliquer les contraintes de son activité :

« Quand ils viennent nous voir, on dit "écoutez, on est en bio, on est obligé de fertiliser au moins deux années sur trois. C'est un mauvais moment à passer, on fait du mieux qu'on peut, on n'en met pas sur la route, on fait quand c'est sec, de manière à pouvoir déchaumer derrière, ça va sentir pendant trois ou quatre jours à côté. Et si vous voulez, on repasse en conventionnel, on vient avec la sulfateuse, vous aurez des produits chimiques pleins la gueule, vous sentirez pas ça sera pas un problème » (Laurent(Agri20)).

Conclusion

Cet essai d'économies de la grandeur m'a permis de caractériser la manière dont les agriculteurs auprès desquels j'ai enquêtés dans la vallée de la Drôme décrivent eux-mêmes le métabolisme des BR dont ils sont partie prenante.

La caractérisation des représentations selon le modèle fonds/flux a mis en évidence certaines facettes de l'écologisation terrestre telle que la prise en compte du vivant au-delà d'une fonction utilitaire. Dans les discours des agriculteurs, les flux sont quantifiés en fonction de critères physico-chimiques et de leur valeur marchande, mais aussi selon des critères qualitatifs partagés : les traditions, la justice, l'opinion ou l'inspiration. De l'autre côté, les fonds ne sont pas non plus décrits uniquement comme des instruments au service d'un processus de production, mais également comme contribuant plus largement au milieu de vie, à l'environnement des agriculteurs : le patrimoine, les institutions, les marques et les croyances en font partie.

L'étude des situations problématiques m'a permis de décrire une autre caractéristique du terrestre : la capacité qu'on les humains à composer avec le reste du vivant et ses limites. Les agriculteurs sont sans cesse confrontés à des bouleversements du métabolisme : les flux sont soumis à des variations qui ne sont pas toujours prévisibles et de nouveaux fonds inattendus font régulièrement leur entrée dans les réseaux métaboliques. Ces bouleversements révèlent des situations problématiques, et notamment celles où le vivant n'est pas pris en compte dans ses rythmes et fonctionnements propres, ainsi que dans ses capacités d'agir. Chaque acteur du métabolisme en a sa propre représentation, sujette à des bouleversements et possiblement contestées par les autres acteurs.

Enfin, j'ai pu mettre en avant, par le prisme d'une approche relationnelle, les compromis de valeurs dans lesquels s'inscrit la gestion des BR. Du point de vue de la prise en compte du vivant, tous les compromis ne se valent pas. Le compromis industriel/marchand, dominant la gestion des produits commerciaux et industriels, peine à prendre en compte convenablement les fonds écologiques. Les compromis hybrides, dans lesquels s'organisent les pratiques de compostage, offrent, quant à eux, des pistes intéressantes pour une prise en compte riche et variée du vivant.

Chapitre.XI. Mise en dialogue pratique des essais d'écologie industrielle et des économies de la grandeur

Dans les deux chapitres précédents, j'ai développé deux visions contrastées de la gestion et de l'écologisation des biomasses résiduaires (BR) dans la vallée de la Drôme. Dans l'essai d'écologie industrielle (EI), c'est une représentation quantitative des flux, visant à une optimisation et un bouclage des flux à l'échelle du territoire qui a été développée, dans une perspective modernisatrice. Dans l'essai d'économies de la grandeur (EG) ce sont les multiples valeurs que les agriculteurs accordent au métabolisme qui ont été explorées, visant à cultiver des attachements avec le reste du vivant, dans une perspective d'écologisation terrestre. Au sein de ce chapitre, je cherche à mettre en dialogue ces deux essais de manière à saisir en quoi des voies d'écologisation, théoriquement divergentes, s'opposent ou se rejoignent dans des situations concrètes.

Je consacre la première partie de ce chapitre à la comparaison des représentations produites dans les deux essais (*Chapitre IX et X*). Les réseaux métaboliques permettent de croiser les deux modes de représentation : qu'apporte chacune des représentations que n'apporte pas l'autre sur la question de la gestion des BR ? Autrement dit, en quoi les représentations de l'EI débordent celles de l'EG, et inversement ? En pratique, je couple les résultats des deux essais en montrant en quoi les types d'exploitations agricoles, décrits en EI, se distinguent dans leur référence aux mondes décrite dans l'essai d'EG.

Dans une deuxième partie, je décris en quoi les problèmes de l'EI et de l'EG sont des problèmes liés : en quoi les déséquilibres entre production et apports (EI) et la difficulté à composer avec le reste du vivant (EG) se recoupent ou se renforcent, dans des situations concrètes ? Je développe ensuite en quoi des situations vertueuses du point de vue du bouclage des flux peuvent nuire à une bonne prise en compte du vivant, et réciproquement.

Enfin, dans une troisième partie, je montre en quoi le projet de composteur collectif porté par l'association Compost' et moi représente une situation de mise en dialogue concrète entre un programme de bouclage des flux (EI) et les multiples attachements des parties-prenantes au métabolisme (EG). Le dialogue constant entre une vision ingénieuriale de bouclage des flux et les multiples valeurs portées par les acteurs remodèlent à la fois les scénarios techniques et stabilisent différents compromis entre les mondes.

XI.1. Une réalité faite de flux et de fonds : des représentations contrastées du métabolisme

1.1. Convergences et divergences des représentations

Le Tableau 22 compare la représentation des flux et fonds dans l'essai d'EI au service d'une modernisation écologique, ainsi que sa traduction dans l'essai d'EG au service de l'écologisation terrestre.

	Représentation du métabolisme socio-économique dans l'essai d'écologie industrielle		**Représentation du métabolisme socio-économique dans l'essai d'économies de la grandeur**
	Divergences	Convergences	Divergences
Flux	-Flux quantifiés selon des critères physico-chimiques : tonnage, UA, rapport C/N. -Flux à l'échelle des filières (grandes cultures, viticulture, légumes frais, etc.) et du territoire.	-Un compromis industriel/marchand : flux quantifiés en fonction de critères physico-chimiques et de leur valeur marchande ; synergie entre bouclage des flux et intérêt économique. - Les agriculteurs décrivent des flux à de multiples échelles autres que celle de leur exploitation, et qui reflètent leurs multiples engagements au-delà de leur exploitation.	- Flux caractérisés selon des valeurs partagées ; Des caractérisations qui débordent du compromis industriel/marchand : des flux caractérisés selon des valeurs partagées : les traditions, la justice, l'opinion ou l'inspiration.
Fonds	- Focalisation sur les principales entités économiques gérant les BR (IAA, coopératives d'approvisionnement). - Focalisation sur les infrastructures techniques permettant de gérer les déchets verts et urbains : stations d'épuration, déchèteries, centres de traitement des déchets des ménages.	- Fonds considérés pour leur valeur instrumentale dans le système de production - Fonds valorisés dans le compromis industriel/marchand *Exemples : acteurs industriels et commerciaux ; des dispositifs techniques qui contribuent à la maîtrise des flux : des analyses d'engrais, de sols, épandeurs à pesée.*	- Prise en compte de l'ensemble des fonds et notamment de ceux dont la valeur n'est pas uniquement instrumentale (le patrimoine, les institutions, les marques, les croyances). - Importance accordée aux êtres vivants dotés d'un fonctionnement et de leurs rythmes propres, qui sont reconnus au travers de multiples valeurs.

Tableau 22 – La représentation du métabolisme socio-économique dans l'essai d'écologie industrielle et sa traduction dans l'essai d'économies de la grandeur

1.1.1. La synergie entre bouclage des flux et intérêts économiques de l'écologie industrielle s'insère dans le compromis industriel/marchand de l'économie de la grandeur

Au sein de l'essai d'EI les représentations du métabolisme sont construites autour de critères physico-chimiques et du réseau d'acteurs économiques, des caractéristiques auxquelles les agriculteurs accordent une grande importance. L'EI se manifeste par un compromis entre les mondes industriel et marchand, stabilisé par l'idée d'une synergie entre le bouclage des flux et l'intérêt économique individuel : les agriculteurs mettent sans cesse en rapport la caractérisation physico-chimique des BR avec leurs prix. Les flux de BR sont qualifiés sur des critères quantitatifs et l'importance que les agriculteurs accordent aux indicateurs physico-chimiques se manifeste notamment dans leur référence aux teneurs en nutriments (N, P et K) des engrais ainsi qu'à la teneur en carbone du sol ou du compost.

Les échelles des filières et du territoire, centrales en EI, apparaissent aussi dans l'essai d'EG. De nombreux agriculteurs connaissent les approvisionnements de leur coopérative, font référence au déséquilibre entre culture et élevage sur le territoire, ou décrivent des interdépendances entres différents espaces géographiques, autant de flux qui ont lieu au-delà de leur exploitation. Ces représentations traduisent les multiples engagements de certains des agriculteurs que j'ai interrogés, qui sont aussi pour certains des élus à la chambre d'agriculture, des maires ou des administrateurs de coopérative.

Dans l'essai d'EI, les principaux fonds représentés sont les acteurs économiques, notamment industriels, qui contrôlent les plus grands volumes de BR. Ces mêmes acteurs apparaissent dans les justifications des agriculteurs comme des partenaires commerciaux de première importance. Dans le discours, les fournisseurs de fumiers, les négoces, l'approvisionnement agricole sont largement représentés comme des fonds essentiels. Ainsi, le discours de l'EI n'est pas uniquement un discours scientifique, les agriculteurs aussi y accordent de la valeur, et s'approprient certaines de ses caractéristiques.

1.1.2. Les économies de la grandeur révèlent des valeurs multiples qui débordent des représentations de l'écologie industrielle

L'essai d'EG révèle que les représentations du métabolisme des agriculteurs débordent des représentations développées dans l'EI. Les agriculteurs font preuve d'un attachement à de multiples valeurs qui dépassent les valeurs industrielles et marchandes communément admises en EI. Dans la justification de leurs pratiques, les agriculteurs s'appuient sur des caractérisations de flux en termes physico-chimiques (concentration en NPK pour les engrais, les tonnages, le taux de carbone), mais ils multiplient les indicateurs et variables, d'une manière qui s'avère impossible à reproduire dans une représentation agrégée, comme on en produit en EI.

Alors que, dans l'essai d'EI, les fonds sont considérés uniquement pour leur valeur instrumentale dans le système de production, l'essai d'EG révèle que les agriculteurs y accordent aussi d'autres valeurs non-utilitaires. Les partenaires économiques s'avèrent aussi être des membres de la famille, des amis, des voisins, auxquels ils sont reliés par des liens multiples. En d'autres termes, les fonds ne sont pas uniquement constitués de facteurs de

production ou de partenaires commerciaux, mais révèlent toute la palette des entités agissantes avec lesquelles les agriculteurs sont amenés à interagir de manière durable : les animaux d'élevage ou, dans l'environnement de l'exploitation, les institutions et les traditions, par exemple.

1.1.3. **L'essai d'écologie industrielle offre des représentations générales et unifiées à l'échelle des territoires, et des filières qui débordent des représentations des agriculteurs**

À l'inverse, les représentations du métabolisme mises en avant dans l'essai d'EI débordent de celles de l'essai d'EG. Alors que les agriculteurs accordent une importance première aux flux qui s'effectuent à l'échelle de l'exploitation, l'EI ne s'intéresse pas tant aux flux au sein de chaque entreprise individuelle, qu'à des échelles supérieures, notamment celles des symbioses industrielles et du territoire. L'essai d'EI propose des représentations de flux quantitatifs, à l'échelle des territoires et des filières d'une manière beaucoup plus systématique que ce que j'ai pu décrire dans l'essai d'EG. Au prix d'un certain nombre de simplifications et de raccourci, il devient possible de produire une représentation « vue d'en haut », plus agrégée que celle portée par les agriculteurs enquêtés.

Par ailleurs, l'essai d'EI m'a donné l'opportunité de mobiliser des données multiples qui dépassent de celles obtenues au travers de mes entretiens. Ces multiples sources de données convergent dans l'importance qu'elles accordent à la quantification selon des critères biophysiques. Le couplage de ces différentes sources d'informations permet d'obtenir une vision unifiée, qu'il ne serait pas possible d'obtenir en tenant compte des multiples valeurs que les différents acteurs accordent au métabolisme.

1.2. Les types d'exploitations agricoles (EI) se distinguent dans leurs différentes références aux mondes (EG)

Types d'exploitation et références aux mondes

Dans l'essai d'EI, j'ai caractérisé différents types d'exploitations agricoles en fonction de leur participation au bouclage des flux de BR : les quasi-autonomes, les hubs, les importateurs nets, les producteurs-échangeurs ainsi que les substituants. Dans l'essai d'EG, j'ai caractérisé les mondes auxquels les agriculteurs associés à ces exploitations font référence dans leurs justifications du métabolisme de leurs BR. Je reporte ici le résultat du couplage de ces deux résultats. Le Tableau 23 présente pour chaque type d'EA, la proportion qu'occupe chaque monde dans les justifications du métabolisme des BR des agriculteurs.

+ circulaire

	Inspiré	Domestique	Opinion	Civique	Marchand	Industriel
Quasi-Autonome	14%	29%	1%	29%	0%	29%
Hub	6%	7%	1%	27%	17%	41%
Producteur-échangeur	3%	18%	3%	14%	18%	44%
Importateur net	8%	12%	2%	32%	10%	35%
Substituant	2%	14%	3%	9%	23%	49%

- circulaire

Tableau 23 – Mise en rapport de la référence aux différents mondes par type d'agriculteur

Le monde industriel est incontestablement le plus mobilisé par les agriculteurs dans la justification de leurs pratiques. Viennent ensuite les mondes civiques et domestiques. Les mondes marchand, de l'opinion et inspiré occupent une place relativement plus faible.

La valorisation des mondes industriel et marchand n'implique pas nécessairement un bouclage des flux

Les agriculteurs qui contribuent le plus au bouclage des flux ne sont pas nécessairement ceux qui font le plus référence aux mondes industriels et marchand, base du compromis de l'EI. Les agriculteurs quasi-autonomes, vertueux du point de vue du bouclage des flux font moins référence que les autres au monde industriel (29 %). Ils ne font aucune référence au monde marchand (0 %), ce qui s'explique aisément par le fait que les bouclages de flux ont lieu à l'échelle de l'exploitation agricole, et non dans le cadre d'échanges.

À l'inverse, les agriculteurs substituants font le plus référence aux mondes industriel (49 %) et marchand (23 %) dans leurs représentations du métabolisme. Les valeurs industrielles et marchandes sont mobilisées autour d'un autre objectif que celui du bouclage des flux. En cela, le cas des exploitations substituantes tend à confirmer la critique souvent faite à

l'économie circulaire d'une absence de corrélation entre bouclage des flux et intérêts économiques.

Un monde domestique largement partagé, et qui contribue à la valorisation d'une certaine idée des échanges locaux

Les agriculteurs qui contribuent le plus à la circularité font aussi plus souvent référence à des valeurs diversifiées, au-delà du compromis industriel/marchand. Le monde domestique occupe une place plus importante dans des exploitations vertueuses du point de vue du bouclage des flux, les quasi-autonomes et les producteurs-échangeurs en particulier. Pour ces agriculteurs, le respect des coutumes ainsi que la perpétuation d'une agriculture traditionnelle occupent une place importante dans leurs justifications et contribuent à légitimer une certaine idée des échanges locaux. Les échanges de BR, à l'échelle des exploitations ou entre voisins agriculteurs incarnent cette vision traditionnelle du local. A l'exception notable des hubs, peu versés dans le monde domestique, au profit du monde civique, tous les agriculteurs accordent une certaine importance à ce monde dans leurs justifications.

Des diverses formes d'engagements dans le monde civique qui ne se traduisent pas nécessairement par un bouclage des flux de BR

Le monde civique occupe une place importante chez les hubs, les quasi-autonomes ainsi que chez les importateurs nets. A l'inverse du monde domestique, le monde civique ouvre plus facilement les agriculteurs à des acteurs non-agricoles. Le local n'y représente plus une échelle limitée à la sphère agricole, mais une ouverture à d'autres acteurs du territoire, membres d'une même collectivité. Le bouclage des flux est dépendant d'autres formes d'attachements :

Les quasi-autonomes font régulièrement référence à des valeurs civiques pour justifier leurs pratiques agricoles. Les agriculteurs revendiquent une conscience environnementale ou politique pour « une autre agriculture », qui se traduit dans certains cas en un engagement associatif, par exemple dans une association comme Nature & Progrès ou un syndicat comme la Confédération Paysanne.

Chez les hubs, la référence au monde civique se traduit par un engagement collectif qui passe souvent par un engagement dans les CUMA. Les hubs revendiquent qu'ils contribuent à organiser la solidarité entre agriculteurs tout en favorisant les liens territoriaux, avec les collectivités et les acteurs économiques non-agricoles, contribuant devenir à un point de rencontre de divers acteurs du territoire.

Chez les importateurs-nets, le monde civique reflète une autre forme d'engagement, dans le cadre de la grande coopérative du territoire. Cet engagement civique ne valorise pas particulièrement les BR locales, au profit d'engrais organiques du commerce.

Les mondes de l'inspiration et de l'opinion sont présents, même marginalement dans tous les types d'exploitation

Les mondes inspiré et de l'opinion occupent une place marginale, relativement aux autres mondes abordés plus haut. Mais ils restent néanmoins présents chez tous les agriculteurs, quel que soit le type de leur exploitation. Ils peuvent concerner aussi bien des échanges d'effluents agricoles, de déchets verts ou de produits commerciaux, proches ou lointains, circulaires ou non, sans distinction.

En particulier, le monde inspiré occupe la place la plus importante chez les agriculteurs quasi-autonomes. Cela se traduit notamment par la valorisation d'un rapport sensible à la nature, ainsi que d'un socle de croyances, parfois présentées comme relevant de l'agriculture biodynamique, et qui fournissent des clés pour entretenir un rapport direct à diverses forces naturelles et composer avec elles. Les agriculteurs qui ne sont pas eux-mêmes d'origine agricole, et en particulier les néo-ruraux semblent accorder plus d'importance à l'inspiration dans leurs justifications.

XI.2. Des situations problématiques : les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires ainsi que le rapport au vivant sont des problèmes liés

Les essais d'EI et d'EG proposent des représentations du métabolisme porteuses d'objectifs normatifs différents : bouclage des flux de matières et de substances en EI, et attachement au vivant au travers d'une diversité de valeurs en EG. Les deux approches aboutissent à la caractérisation de situations problématiques différentes. En EI, les situations problématiques concernent des déséquilibres entre production et apports de BR. En EG, il s'agit de situations où les agriculteurs peinent à composer avec le reste du vivant. Dans cette partie, je montre que les problèmes de déséquilibres entre production et apports (EI) et la difficulté à composer avec le vivant (EG) sont des problèmes liés, ce que j'illustre par différents exemples de situations.

Dans le Tableau 24, je distingue les situations où les problèmes identifiés dans les deux essais se renforcent mutuellement (cellule en rouge), de celles où une situation vertueuse et non problématique du point de vue d'un des deux essais génère une situation problématique du point de vue de l'autre (cellules en orange).

		EG	
		Composition avec le reste du vivant	**Difficulté à composer avec le reste du vivant**
EI	Equilibre entre production et apports		La valorisation des déchets urbains est vertueux du point de vue du bouclage des flux, mais peut impliquer une faible prise en compte d'autres vivants : qualité du sol, relations de voisinage, par exemple.
	Déséquilibres entre production et apports	Une prise en compte de certains vivants peut impliquer un faible bouclage des flux (collectifs biodynamiques ; fermeture de l'élevage Drôme Cailles suite aux actions de l'association L214).	- Les effluents d'élevage sont loin de répondre aux besoins des cultures, ce qui se traduit par une substitution par des engrais organiques du commerce, et l'appauvrissement du rapport au vivant -L'appauvrissement du rapport au vivant et une vision utilitariste des ressources poussent les agriculteurs à abandonner des systèmes de polyculture-élevage traditionnels, plutôt vertueux du point de vue du bouclage des flux, au profit de cultures à hautes valeur ajoutées ou d'élevages avicoles, qui renforcent les déséquilibres entre production et apports de BR.

Tableau 24 - Croisement des situations problématiques dans les essais d'EI et EG

2.1. Les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires et la difficulté à composer avec le reste du vivant se renforcent mutuellement

2.1.1. Les effluents d'élevage sont loin de répondre aux apports sur les cultures, ce qui se traduit par une substitution par des engrais organiques du commerce, et l'appauvrissement du rapport au vivant

Dans l'essai d'EI, j'ai démontré qu'au sein de la vallée de la Drôme, on observe un déséquilibre important en matière de production et d'apports de BR. Les effluents d'élevage sont loin de répondre aux besoins des cultures et ne suffisent même pas aux seuls besoins des cultures en agriculture biologique. Pour faire face à leurs besoins, nombre d'agriculteurs s'inscrivent dans une logique de substitution, remplaçant ainsi fientes et fumiers par des engrais organiques du commerce, au détriment de la fertilité de leur sol. Par ailleurs, le déficit marqué du territoire en BR d'intérêts, et notamment de fumiers de ruminants, fait que ceux-ci sont très demandés et font l'objet d'une concurrence entre agriculteurs. Cette concurrence contribue à rendre plus problématiques les transformations du métabolisme. En effet, faute d'alternatives accessibles, la fermeture d'un élevage partenaire ou la perte d'une relation privilégiée se traduit souvent par une difficulté d'approvisionnement. Les agriculteurs peinent à composer avec ces bouleversements du métabolisme : ne trouvant pas d'alternatives dans le cadre du compromis existant, ils se tournent vers des engrais commerciaux, renforçant ainsi la logique de substitution.

Or dans l'essai d'EG nous avons montré que les collectifs dans lesquels s'inscrivent les engrais organiques du commerce laissent une place bien moins importante au vivant, que ceux qui, par exemple, concernent les fumiers et pailles de ruminants. Au sein de ces collectifs, les agriculteurs sont amenés à composer avec de multiples êtres vivants tels que la vie du sol et les animaux d'élevage. Ils y disposent d'équipements qui leur permettent d'éviter d'avoir à composer avec le vivant dans de nombreuses circonstances : fertilisation à la demande plutôt que de s'appuyer sur les processus naturels du sol par exemple. Les déséquilibres entre production et apports contribuent ainsi, dans une certaine mesure, à entretenir une faible prise en compte du vivant dans les pratiques de gestion de BR des agriculteurs.

2.1.2. Les difficultés que rencontrent les agriculteurs dans leur rapport au vivant les poussent à abandonner des systèmes de polyculture-élevage traditionnels, plutôt vertueux du point de vue du bouclage des flux, au profit de cultures à hautes valeurs ajoutées et d'élevages avicoles, qui renforcent les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires

J'avais montré dans l'essai d'EG que les agriculteurs rencontrent des difficultés face aux bouleversements du métabolisme liés à l'arrivée de nouveaux fonds (humains comme non-humains, tels que des changements règlementaires ou des voisins néo-ruraux). Paradoxalement, ce sont plutôt les collectifs concernant les fumiers de ruminants et paille et prenant bien en charge d'autres aspects du vivant (la vie du sol, les animaux domestiques), qui sont le plus déstabilisés par ces bouleversements du métabolisme, contrairement aux cultures végétales, et notamment celles à hautes valeurs ajoutées (ail, cultures semencières, PPAM) qui rencontrent moins de difficultés. L'élevage avicole impose moins aux agriculteurs de composer avec les contraintes du vivant, grâce à sa possible plus forte mécanisation et

standardisation, qui n'existe pas dans de telles proportions pour l'élevage de ruminants. Pour ces raisons, certains agriculteurs sont ainsi tentés d'abandonner les systèmes de polyculture-élevage de ruminants traditionnels au profit de cultures à hautes valeurs ajoutées ou d'élevages avicoles, quand ils ne pensent pas tout simplement à arrêter leur activité agricole.

Ces bouleversements contribuent à entretenir des déséquilibres métaboliques sur le territoire. Si les cultures à haute valeur ajoutée favorisent l'import d'engrais commerciaux onéreux, le développement des élevages avicoles a un effet plus ambigu car s'il contribue à limiter le déséquilibre entre productions et apports de BR à l'échelle du territoire, il renforce souvent la concentration d'élevages dans des zones à risques en ce qui concerne la pollution à l'azote. Par ailleurs, la concentration d'élevages avicoles contribue à générer un problème de contamination à la salmonellose, à l'échelle du territoire, ainsi que la génération de querelles de voisinage par la construction de nouveaux bâtiments donnant lieu à des oppositions locales de plus en plus importantes et contribuant à tendre la relation entre les agriculteurs et le reste de leur environnement.

2.2. **Des situations vertueuses du point de vue du bouclage des flux peuvent nuire à la prise en compte du vivant, et inversement**

2.2.1. **La valorisation des déchets urbains est vertueuse du point de vue du bouclage des flux, mais peut impliquer une faible prise en compte du vivant humain et non-humain**

D'autres situations s'avèrent plus ambiguës, en révélant une incompatibilité entre différents objectifs d'écologisation. Par exemple, la récupération des boues de stations d'épuration par les agriculteurs est vertueuse du point de vue de l'EI puisqu'elle contribue au bouclage des flux à l'échelle du territoire, et au recyclage des déchets, transformés en ressource, mais l'épandage des boues de stations d'épuration peut aussi se traduire par une mauvaise prise en compte d'autres êtres vivants.

Gérard(Agri1) céréalier bio et gestionnaire d'un camping, attenant à ses parcelles agricoles, a été approché par un technicien de la municipalité de Die, pour épandre des boues de stations. Mais pour lui, ces produits sont « *dégueulasses* » : « *on retrouve des capotes, des plastiques »,* des produits qu'il considère comme toxiques pour la vie du sol. Il s'est aussi vu proposer d'épandre sur ses parcelles les effluents de son camping, mais il a refusé, de peur que les odeurs ne perturbent son activité de tourisme : « *L'entreprise qui vient vider mes fosses septiques m'a proposé de l'épandre directement dans mes parcelles. [J'ai regardé] il n'y a pas que des déjections, il y a de la lessive aussi, qui fait une croute de plusieurs centimètres. Et moi j'en veux pas […] ça sentait fort, je m'inquiéterais pour le camping* » (Gérard(Agri1)). Dans ce cas, le bouclage des flux, vertueux du point de vue de l'EI, nécessite de laisser de côté certains vivants non-humains (le sol vivant), ou humains (les clients du camping et les voisins).

2.2.2. **Une prise en compte de certains vivants non-humains peut impliquer un faible bouclage des flux : exemples des collectifs biodynamiques ou du militantisme associatif « L214 »**

Les collectifs d'agriculteurs biodynamiques

Deux collectifs d'agriculteurs biodynamiques existent actuellement sur le territoire : un dans la vallée, et un dans le Diois. Si dans ces collectifs, une diversité de valeurs sont prises en compte dans les choix de pratiques, le vivant n'est jamais pris en compte dans son intégralité par les agriculteurs car, dans cette pratique, certains être vivants sont toujours pris en compte au détriment d'autres. Dans ces collectifs, les agriculteurs font preuve d'un grand attachement aux rythmes de la Lune ainsi qu'à la vie du sol. Cet attachement s'appuie notamment sur des valeurs propres au monde domestique ou au monde inspiré.

Par exemple, Léo(Agri30) refuse les fumiers de son voisin, car ils ne sont pas bio, au profit de fumiers venant d'un élevage plus lointain, mais dont l'exploitant partage plus ses valeurs pour ce qui est de la fertilisation. Le partage de certaines pratiques (bio, voire biodynamiques), sera ainsi préférée à une optimisation locale des flux de matières.

Autre exemple : pour Marie(Agri15), l'attachement à la biodynamie va être utilisé afin de justifier le recours à des biostimulants ou des activateurs biotiques[64], qui sont des intrants produits en dehors du territoire, peu vertueux du point de vue du bouclage des flux.

Exemple de la fermeture de l'élevage Drôme Cailles suite aux actions de l'association « L214 »

En 2019, Drôme Cailles, le plus grand élevage avicole du territoire est l'objet d'une action de l'association L214[65]. Des vidéos sur les conditions de vie des animaux en cage sont diffusées sur Internet et sont relayées à l'échelle nationale. Quatre mois après cette opération médiatique, l'entreprise Drôme Cailles est mise en liquidation judiciaire et l'élevage est fermé.

Cette fermeture n'est pas inconséquente en termes métaboliques. Du point de vue de l'EI, la fermeture de l'élevage représente un recul concernant le bouclage des flux puisqu'avec plus de 100 000 places, l'élevage produisait plus de 4200 tonnes de fientes par an, très riches en azote. Plusieurs agriculteurs étaient dépendants de Drôme Cailles pour leur fourniture en matières fertilisantes, comme Patrice(Agri22) pour qui la fermeture de l'élevage s'est traduite par un recours accru aux engrais commerciaux.

En termes d'EG, les discours des acteurs font apparaître la multiplicité des valeurs associées à cet élevage, et de fortes controverses sur la représentation du problème :

---

[64] Selon l'EBIC et l'AFAIA, « les biostimulants se définissent comme des substances et/ou des micro-organismes dont la fonction, lorsqu'appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est la stimulation des processus naturels qui favorisent/améliorent l'absorption ou l'utilisation des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, la qualité ou le rendement de la culture, indépendamment de la présence de nutriments. »

[65] L214, de son nom complet L214 éthique et animaux, est une association à but non lucratif française de défense des animaux, fondée en 2008. L214 se positionne régulièrement en tant que lanceur d'alerte en réalisant des enquêtes et diffusant des vidéos, souvent qualifiées de vidéos « chocs », sur les conditions de vie des animaux dans les élevages

- Pour les représentants de l'association, la fermeture de l'élevage constitue une victoire pour la prise en compte du bien-être des animaux.
- Pour Jacques(expert10), la fermeture de l'élevage se traduit aussi en une polarisation des habitants et un développement d'une campagne contre l'agri-bashing par la FDSEA et les Jeunes agriculteurs de la Drôme.
- Pour le maire de la commune, il s'agit d'une catastrophe, qui laisse 40 salariés sans emplois.

XI.3. **Une approche relationnelle : les programme d'EI et EG négociés dans un projet de compostage collectif, donnant lieu à différents compromis (l'exemple de l'association « Compost' et moi »)**

Le projet de composteur collectif porté par l'association Compost' et moi représente une situation de mise en dialogue concrète entre un programme d'écologie industrielle et les représentations du métabolisme par les acteurs, faisant émerger plusieurs compromis entre valeurs et ouvrant la voie à des collectifs différents.

3.1. **Le contexte et l'émergence du projet**

3.1.1. **Une convergence d'intérêts entre des éleveurs de volaille confrontés à un excès de fumiers et de fientes sur leurs exploitations et une collectivité peinant à trouver des débouchés pour ses déchets**

Le projet trouve son origine dans la découverte d'une convergence d'intérêts communs entre une coopérative d'éleveurs de volailles et une communauté de communes (la CCVD). Un groupe d'éleveurs avicoles membres d'une CUMA autour de la commune d'Allex présente un excédent de fumiers et de fientes de volaille qu'ils ne peuvent, pour des raisons réglementaires et agronomiques, épandre sur leurs parcelles.

Pour la CCVD la gestion des BR présente deux enjeux distincts : la collectivité rencontre des difficultés à gérer les déchets verts de son territoire, et elle dispose d'une capacité limitée pour le stockage. Par ailleurs, elle rencontre de grandes difficultés à trouver une valorisation agricole et locale pour ses boues de stations d'épuration, des produits dont les agriculteurs ne veulent pas et dont ils se méfient.

A l'occasion d'échanges, le développement d'une station de compostage apparait comme une piste de solution : le compostage offrirait un débouché pour les effluents d'élevage, ainsi que pour les déchets verts et urbains de la collectivité. De plus, il participerait aussi à donner une image « *verte* » du territoire : le développement du compostage entre en résonnance avec la démarche Biovallée, portée notamment par les collectivités : il est explicitement mentionné dans le dossier de candidature du TIGA Biovallée[66].

[66] Voir le Dossier de candidature de la Biovallée au TIGA (2019).

3.1.2. **La nécessité de mobiliser d'autres acteurs**

Des doutes sur les biomasses résiduaires et leur potentiel

Pour réussir, la collectivité et le petit groupe d'éleveurs de la CUMA doivent intéresser d'autres acteurs, car ils ne disposent pas d'expertise sur les ressources disponibles ou sur les techniques de compostage. En effet, la quantité et la qualité des matières qui pourraient être mobilisées sont inconnues. Pour la communauté de communes, le potentiel semble grand car de nombreuses IAA exportent actuellement des déchets loin du territoire, mais la qualité de ces produits et la manière dont ils réagiraient au compostage sont inconnues. Quel type de compost peut-on s'imaginer obtenir et quelles en seront les qualités, notamment concernant la fertilisation, pour les agriculteurs ?

Des doutes sur l'intérêt des agriculteurs

Un deuxième enjeu consiste à mobiliser des apporteurs de fumiers, c'est-à-dire des éleveurs, au-delà du cercle initial. Il apparaît que pour être efficace techniquement, le dispositif devra traiter une quantité de matière supérieure à celle que peuvent fournir les éleveurs initiaux et la collectivité. Il s'agit donc de s'assurer d'avoir suffisamment de biomasses résiduaires à mettre dans le composteur. Enfin, se pose la question des débouchés : quels sont les agriculteurs qui pourraient être intéressés par un tel compost ? Dans quelles conditions, et à quel prix ?

Réussir à mettre des acteurs peu enclins au dialogue autour de la table

Il est aussi important d'obtenir un soutien politique pour le projet, notamment dans la perspective d'obtenir des financements publics, et pour cela l'un des enjeux est de réussir à mettre autour de la table des acteurs institutionnels divergents : en premier lieu, la chambre d'agriculture (CA) et la CCVD. La chose n'est pas évidente, en effet, les deux acteurs présentent un historique d'opposition sur la politique agricole propre. La collectivité a été une des premières à développer une politique agricole, à rebours de la politique portée par la chambre et, si ces oppositions se sont estompées, elles réapparaissent néanmoins, à certaines occasions et notamment lors du salon agricole de la vallée de la Drôme en 2017, organisé par la CCVD, et durant lequel la chambre d'agriculture n'était pas présente.

3.1.3. **Convergence des acteurs autour d'une association commune**

De manière à formaliser le projet, une association de loi 1901, « Compost ' et moi », est créé en 2017. Elle est domiciliée chez un éleveur d'Allex, également élu président de l'association. Son objectif est de réunir toutes les personnes et entités intéressées par le projet, et ceci quel que soit leur rôle ou leurs attentes. L'un des premiers objectifs de l'association est de faire réaliser une analyse, par un bureau d'étude. Cette étude a pour mission d'objectiver la réalité, en proposant un panorama des enjeux techniques et des ressources. Son objectif est aussi de proposer différents scénarios, qui pourront, par la suite, être discutés, et faire l'objet de débats au sein de l'association.

Pour encadrer cette étude, un comité de pilotage est mis en place. Il associe des représentants des principaux acteurs engagés : des collectivités, de la chambre d'agriculture, des agriculteurs, des services déconcentrés de l'état, ainsi que des industries agroalimentaires.

3.2. **La démarche de l'écologie industrielle portée par un bureau d'étude**

3.2.1. **Une démarche d'écologie industrielle : identification des apports potentiels et des débouchés sur le territoire**

Le bureau d'étude propose un état des lieux des gisements de BR sur le territoire, ainsi que des débouchés potentiels d'un compost produit localement. Pour réaliser son enquête, il réalise des entretiens avec les principaux acteurs industriels du territoire, ainsi que des entretiens collectifs avec des adhérents de l'association, et avec les principaux partenaires. L'évaluation des potentiels économiques du projet fait partie de l'étude.

Des apports difficiles à garantir

L'état des lieux porte sur les gisements de déchets agricoles, de déchets des entreprises ainsi que sur les déchets des collectivités, et confirme l'importance des déjections de volaille représentant plus de 50 % du total des 4 800 tonnes d'effluents agricoles potentiels. Ces effluents sont, actuellement, majoritairement épandus sur les terres des exploitations elles-mêmes ou sur celles d'autres agriculteurs voisins. Mobiliser ces effluents s'avère essentiel dans la réussite du projet : en effet, ce sont des matières très concentrées en azote, et qui contribueront à garantir la valeur fertilisante du compost final. De plus leur production est répartie sur toute l'année, ce qui facilite la gestion du compostage. La majorité des gisements sont concentrés dans un rayon de 10 kilomètres autour de la commune de Crest. Dans la majorité des cas, la gestion de ces fumiers n'impose pas de coûts pour l'agriculteur qui, au contraire, y trouve souvent un bénéfice, en les vendant ou en les échangeant, notamment contre de la paille. Le compostage représenterait néanmoins une opportunité pour ces agriculteurs afin de se libérer de certaines contraintes, notamment celles liées à l'épandage, ou à la pression des riverains en raison des odeurs.

Concernant les déchets industriels, seule une petite partie (2700 tonnes) est disponible pour le projet : de nombreuses entreprises sont liées par des contrats les empêchant de réorienter librement leurs déchets vers le composteur. De plus, la plupart des entreprises réalise le traitement de leurs déchets à un coût nul, alors que les membres espéraient pouvoir facturer le traitement de certains produits.

Seuls les déchets verts produits par les collectivités (600 tonnes) sont accessibles pour le paiement du traitement. Ces ressources sont liées à des opportunités de marchés potentiels. Et il est probable que Jaillance ou Herbarom ne donnent pas tous leurs déchets, car ils ont déjà un coût zéro pour s'en débarrasser.

Des débouchés potentiels importants, mais confrontés à une concurrence

Les débouchés potentiels sont importants, du fait du développement de l'agriculture biologique sur le territoire. Le bureau d'étude évalue un débouché total de 10 000 tonnes de biomasses résiduaires, réparties dans les trois principales filières du territoire :

- Les grandes cultures : 4 000 tonnes.
- Les vignes : 1800 tonnes.
- Les vergers : 2100 tonnes.

Par ailleurs, l'étude révèle un enjeu de taille : il sera difficile d'être compétitif vis-à-vis de la concurrence puisque des acteurs comme Jamonet proposent des composts à des tarifs très avantageux pour leurs clients, tout en récupérant certains fumiers à coût zéro.

3.2.2. **La proposition de diverses options techniques**

Les représentations fournies par le bureau d'étude sont progressivement « *digérées* » par les membres du comité de pilotage. De même, le bureau d'étude se nourrit des points de vue exprimés par les acteurs pour enrichir sa proposition.

Cette itération transforme la représentation du métabolisme par le bureau d'étude, qui intègre les valeurs multiples des acteurs sous la forme d'options techniques. Différentes valeurs s'affrontent et sont révélées dans les discussions autour de trois options :

1. Le traitement des fumiers salmonellés.
2. La prise en charge des boues de stations.
3. La granulation.

Ces options sont confrontées au cours de comités de pilotages qui sont l'occasion d'une mise en dialogue entre la démarche d'écologie industrielle et les multiples valeurs portées par les acteurs présents (EG).

3.3. **Les comités de pilotages donnent lieu à des débats sur les options techniques sous tendant les valeurs portées par les acteurs**

3.3.1. **Prendre en charge les fumiers salmonellés ?**

L'option la plus discutée concerne la prise en charge des fumiers déclarés contaminés par la salmonellose, et donc soumis à des contraintes règlementaires spécifiques. La situation actuelle représente un enjeu réglementaire et financier pour les éleveurs, qui pose un problème d'équité (monde civique) : *« Aujourd'hui, les bio payent deux fois : une fois pour envoyer leurs fumiers, et une fois pour le récupérer ! »* (Pierre(expert16)).

Les agriculteurs présents veulent trouver un compromis entre ces considérations civiques avec les valeurs marchandes et industrielles, en stabilisant l'idée d'un service rendu aux agriculteurs. Le projet viserait ainsi à fournir un service d'hygiénisation, auquel les agriculteurs pourraient prétendre gratuitement. Ce service permettrait de répondre aussi aux enjeux techniques (monde industriel), mais aussi à la compétitivité du projet (monde marchand). Comme le résume Sylvain(expert20), un représentant des éleveurs, « *la salmonellose, c'est la première question que demandent les éleveurs. C'est un service qu'on leur rend, et ça permet de garantir un gisement ».* Pour Vincent(expert7), l'expert technique, la mobilisation des éleveurs avicoles permet de garantir la qualité agronomique du compost, qui est très dépendante de ces fientes et fumiers très riches en azote. Mais l'adoption de cette logique de « *service* » n'est pas neutre, du point de vue marchand, pour le bureau d'étude, car cette option se traduirait par un surcoût global de 5 euros par tonne.

3.3.2. **Accepter les boues de stations d'épuration ?**

Un deuxième point concerne la nature des déchets des collectivités qui seraient amenés à être pris en charge. Pour le représentant d'une collectivité Antoine(expert1), il est important que le projet contribue à répondre aux problèmes qu'elles rencontrent dans la gestion des déchets.

Mais la nature de ces biomasses fait l'objet de vifs débats car si l'inclusion des déchets verts est bien acceptée, les représentants des agriculteurs sont surpris de constater que les boues de stations d'épuration soient intégrées dans l'enquête, alors qu'il avait été décidé, en amont, qu'elles allaient être exclues. Interrogé, le bureau d'étude admet que les boues ont été rajoutées, après coup, à la demande expresse d'une des collectivités (Sylvie(expert18)). Pour, Christophe(expert21), le représentant des agriculteurs, cette situation est inacceptable, et il critique largement cette option sur des critères techniques (monde industriel) : il considère les boues comme la source de nombreux risques pour leurs fermes, liés aux éventuelles contaminations, qui sont mal mesurées. De plus, l'inclusion des boues nuirait à la désirabilité du produit (monde marchand). Pour un des agriculteurs présents, les boues doivent absolument être exclues du compost, sous peine de détourner de nombreux repreneurs potentiels, et en particulier les agriculteurs biologiques (Sylvain(expert20)).

Face à ces enjeux contradictoires, Sylvie(expert18), du bureau d'étude, propose une adaptation du dispositif technique : Il serait possible de créer deux filières séparées, une avec, et une sans boues. Mais cette solution fait naître de nouvelles difficultés aussi bien du point de vue technique, que de celui de l'équilibre financier. Et, en tout état de cause, cette option serait incompatible avec la précédente, concernant les fumiers salmonellés : avoir deux filières, plus une troisième filière de traitement des salmonelloses coûterait trop cher, et minerait la compétitivité du projet (monde marchand).

3.3.3. **La granulation, une option en contradiction avec l'image de durabilité écologique ?**

Une troisième option discutée consiste dans la mise en place d'une granulation. Cette option implique un dispositif industriel spécifique, qui permet de produire des granulés, à la place d'un compost humide. Pour Pierre(expert16), le granulé présente de nombreux avantages du point de vue technique et commercial : il s'agit d'un produit transformé, facile à travailler, réduisant le coût d'épandage et permettant d'éviter les problèmes de voisinage, en limitant les odeurs. Pour l'expert de la chambre d'agriculture, cette option présente également l'avantage de garantir une meilleure conservation du produit.

Mais, pour Brigitte(expert17), du bureau d'étude, la granulation pose des problèmes en terme économique car l'ensemble implique un investissement de plus d'un million d'euros et il n'est pas garanti que celui-ci se révèle viable sur le long terme. L'ingénieure du bureau d'étude précise que, dans les faits, les fabricants d'amendements abandonnent de plus en plus le séchage, trop coûteux, et préfèrent le mélange avec des produits séchant (poudres de sangs, plumes, etc.). La granulation semble passer de mode (monde de l'opinion), et il s'agirait de ne pas adopter une option « *du passé* ».

3.4. **Les débats font émerger plusieurs scénarios concurrents, qui dessinent des compromis présentés à l'assemblée générale**

Les échanges aboutissent à la définition de deux scénarios que se propose de synthétiser l'enquête du bureau d'étude.

Dans un premier scénario, le compostage se ferait sur un site unique, de taille modérée, sans boues de stations. La création de la plateforme obéirait à une procédure administrative allégée, dite « *à déclaration ».* L'objectif serait de rester dans un volume total inférieur au seuil de la procédure de « *l'autorisation »*, c'est-à-dire 18 000 tonnes. Le traitement du compost « *de base* » coûterait 30 euros par tonne, pour un investissement initial de 2 millions d'euros.

Dans un deuxième scénario, les boues des stations d'épuration seraient intégrées. Mais de manière à tenir compte des réticences d'une partie des agriculteurs, le traitement se ferait en deux unités indépendantes. Une unité produisant un compost sans boues, d'à peu près 15 000 tonnes par an, et l'autre avec, d'environ 7 000 tonnes par an. Avec de tels volumes annuels, le site ne pourrait pas rester dans les limites de la déclaration, et devrait subir une procédure plus lourde, en vue d'une autorisation administrative. Le traitement du compost reviendrait à 34 euros par tonne, pour un investissement initial de 3 millions d'euros.

3.4.1. **Scénario 1 : Un compost normé et professionnel tourné vers une clientèle large ? Un compromis entre valeurs industrielles et marchandes**

Un compromis stabilisé par un produit standardisé

Le premier scénario consiste à faire un produit normé, qui réponde aux besoins des clients recherchant un produit « *professionnel »,* sans variations saisonnières. Dans cette option, il s'agirait d'inscrire le projet de composteur dans un compromis simple entre des valeurs industrielles et marchandes.

L'abandon de l'ancrage territorial au profit d'une logique marchande

Les attentes techniques et commerciales des clients étant mises au premier plan, la question de l'attachement territorial importe peu : la clientèle peut se situer aussi bien dans le territoire ou en dehors. La forte valeur ajoutée du produit permettant d'envisager plus facilement un transport sur de grandes distances.

3.4.2. **Scénario 2 : un composteur au service des agriculteurs, des collectivités et des industriels. Un compromis entre valeurs civiques et de l'opinion**

Un compromis basé sur la notion de service

Dans le deuxième scénario, c'est un compromis large, stabilisé par la notion de service qui est privilégiée, comme l'énonce le président de l'association : « *Il faut revenir au départ : on était parti du constat qu'il y avait d'un côté des éleveurs, qui avaient du mal à valoriser leur fumier, et de l'autre des agriculteurs qui achètent du compost à l'autre bout de la France »*.

Pour Pierre(expert16), cette logique de service implique de sortir d'une logique de marché, en donnant un accès préférentiel au compost pour les agriculteurs qui jouent le jeu et apportent l'ensemble de leurs fumiers au composteur. Car, bien que les agriculteurs disposent de peu

de choix concernant leurs fumiers salmonellés, ils peuvent cependant se tourner vers de nombreux opérateurs concernant les fumiers sains : ce que confirme le conseiller à la chambre d'agriculture : « *Il ne faut pas faire payer tout le monde [qui apporte des fumiers]. Car moi si je suis bio, j'appelle Ovinalp, j'appelle Falipou-Freyssinet [des entreprises qui récupèrent gratuitement les fumiers chez les agriculteurs pour en faire des engrais organiques commerciaux]» (Vincent*(expert7)*).*

Par ailleurs, il s'agit aussi de répondre aux problèmes que rencontrent les collectivités et les industriels, notamment quant à la gestion de déchets végétaux. Pour Antoine(expert1), le technicien de la CCVD, il faut que la solution adoptée prenne en charge leurs déchets en « *ne coûtant pas plus cher aux collectivités* ».

Stabiliser le compromis grâce à l' « image écologique »

Ce compromis implique un dispositif industriel coûteux, notamment du fait du traitement de la salmonellose et des boues de stations. Pour réussir à le stabiliser, il s'avère indispensable d'intégrer la question de l'image écologique (monde de l'opinion), justifiant un engagement financier supérieur de la part des collectivités et des industriels. Pour Brigitte(expert17), l'ingénieure du bureau d'étude, ce projet contribuera à l'image de durabilité du territoire. Si les collectivités semblent plus porteuses de ces enjeux d'image écologique, l'ingénieure d'étude indique que les industries locales peuvent aussi être intéressées : Jaillance développe depuis plusieurs années une image de coopérative écoresponsable et le compostage lui offrirait l'occasion de donner corps à cette image, tout en lui permettant d'avoir du compost à apporter pour ses adhérents. Hugues(expert22), représentant Jaillance à la réunion, ne relève pas. Par ailleurs, cette question de l'image écologique implique aussi de refuser l'option de granulation, problématique du point de vue de l'image écologique, le séchage s'avérant très dépendant des énergies fossiles, selon Sylvie(expert18).

3.5. **L'assemblée générale révèle les limites des compromis**

L'assemblée générale du 6 mars 2018 est l'occasion d'un élargissement du débat à l'ensemble des adhérents de l'association. Pour asseoir la démarche du projet, faire connaître les résultats de l'étude et départager les choix techniques, des ateliers sont organisés par le bureau de l'association autour de trois thèmes différents : le choix des options, le coût du traitement (pour les collectivités locales et les industries), ainsi que le coût final du produit, en mettant en avant les deux scénarios. Ces échanges ont amené les agriculteurs à discuter de leurs propres pratiques de gestion des BR et à décrire ce qu'un bon composteur collectif serait pour eux.

3.5.1. **Une assemblée générale qui enrichit la représentation du métabolisme**

La standardisation, une perte de diversité de fumiers dommageable du point de vue technique ?

Le projet de compostage soulève des questions, voire des critiques du point de vue du monde industriel. Certains agriculteurs avancent qu'aujourd'hui, ils ont accès à une diversité de biomasses (fumier, fientes, déchets verts), chacune étant adaptée à un usage spécifique. Ils s'interrogent sur la disparition de ces diverses biomasses et leur remplacement par un seul produit standardisé, ainsi que sur les conséquences que cela pourrait représenter pour

leurs pratiques.

Les discussions révèlent des attentes très diverses entre les différents agriculteurs concernant la fertilisation qui débordent de l'idée initiale d'un compost « *standard »* tel qu'il était envisagé par le bureau d'étude. Certains agriculteurs, notamment céréaliers, s'avèrent intéressés par des composts bruts. Ils sont moins réticents que d'autres à l'idée des boues de stations. À l'inverse, ce sont plutôt des composts sans boues, et en granulés qui intéressent les viticulteurs. La démarche d'EI du bureau d'étude aurait réduit les qualités attendues par les agriculteurs à la simple question de l'azote et de la facilité d'épandage, sans tenir compte de la multiplicité de ces besoins et de la diversité de compost existants

Les petits agriculteurs dépendants d'éleveurs pour leur fertilisation dans le cadre d'échanges pailles/fumiers sont dans l'angle mort du projet

D'autres critiques émanent du monde marchand. Le projet de compostage n'aurait pas suffisamment pris en compte certains agriculteurs, interdépendants au travers d'échanges pailles/fumiers.

Par exemple, Eric(expert19) est agriculteur, et récupère du fumier d'un éleveur voisin, dans le cadre d'un échange pailles/fumiers. N'ayant pas d'élevage, il ne serait pas en mesure d'apporter des fumiers au composteur. Son partenaire, en revanche, est adhérent de l'association, et prévoit de participer au projet de compostage. Eric(expert19) s'interroge sur sa capacité d'acheter du compost, au vu du prix du compost annoncé par le bureau d'étude : *« à ces prix-là, ça va pas être possible ».* Il n'est pas le seul dans ce cas, d'autres agriculteurs sont intégrés dans des échanges locaux que l'installation du composteur risque de remettre en cause.

Cette intervention révèle une nouvelle partie du métabolisme des BR, constitué des petits récupérateurs de fumiers, qui figure dans un angle mort des enquêtes réalisées par le bureau d'étude, Celui-ci s'étant focalisé sur les apporteurs de matières ainsi que les clients potentiels, la disruption de réseaux préexistants n'a pas été l'objet d'une enquête spécifique.

3.5.2. **Des options encore non départagées**

Il ressort des discussions que les attentes des agriculteurs dépassent la recherche d'une viabilité économique avec un produit compétitif : l'étude des multiples contraintes techniques a révélé assez clairement qu'il est peu probable que le produit soit le moins cher du marché, et pourtant, l'ensemble des acteurs ont décidé de poursuivre la démarche du projet. Si le compromis industriel/marchand reste central dans le discours, il semblerait que le projet se dirige plus vers le 2e scénario, qui intègre la notion de service aux acteurs du territoire ainsi que la question de l'image écologique.

Actuellement, le projet est en attente de trouver un terrain susceptible de l'accueillir. Il n'est pas possible de savoir lequel des scénarios sera choisi, ni s'il sera amené à évoluer par la suite. Le projet est de nouveau mis en avant à l'occasion du TIGA, dont la Biovallée a été lauréate.

La démarche déroulée autour de l'association « Compost' et 'moi » montre la richesse de lectures par des représentations « débordant l'une sur l'autre » pour une meilleure compréhension des dynamiques pour l'action. Ces regards pourraient aider à expliciter des compromis pour des mises en œuvre aussi « optimales » que possibles par les acteurs des territoires.

Conclusion

Ce chapitre m'a donné l'opportunité de mettre en dialogue mes deux essais. En termes de représentation, j'ai mis en évidence une convergence, qui matérialise la synergie entre bouclage des flux et intérêts économiques dans un compromis entre mondes industriel et marchand. Cette convergence montre l'adhésion des agriculteurs aux représentations de l'EI. À l'inverse, l'essai d'EG révèle les multiples valeurs auxquelles tiennent les agriculteurs dans leurs pratiques de gestion de BR, et qui débordent des représentations de l'EI. L'essai d'écologie industrielle offre des représentations générales et unifiées à l'échelle des territoires, et des filières qui débordent des représentations des agriculteurs

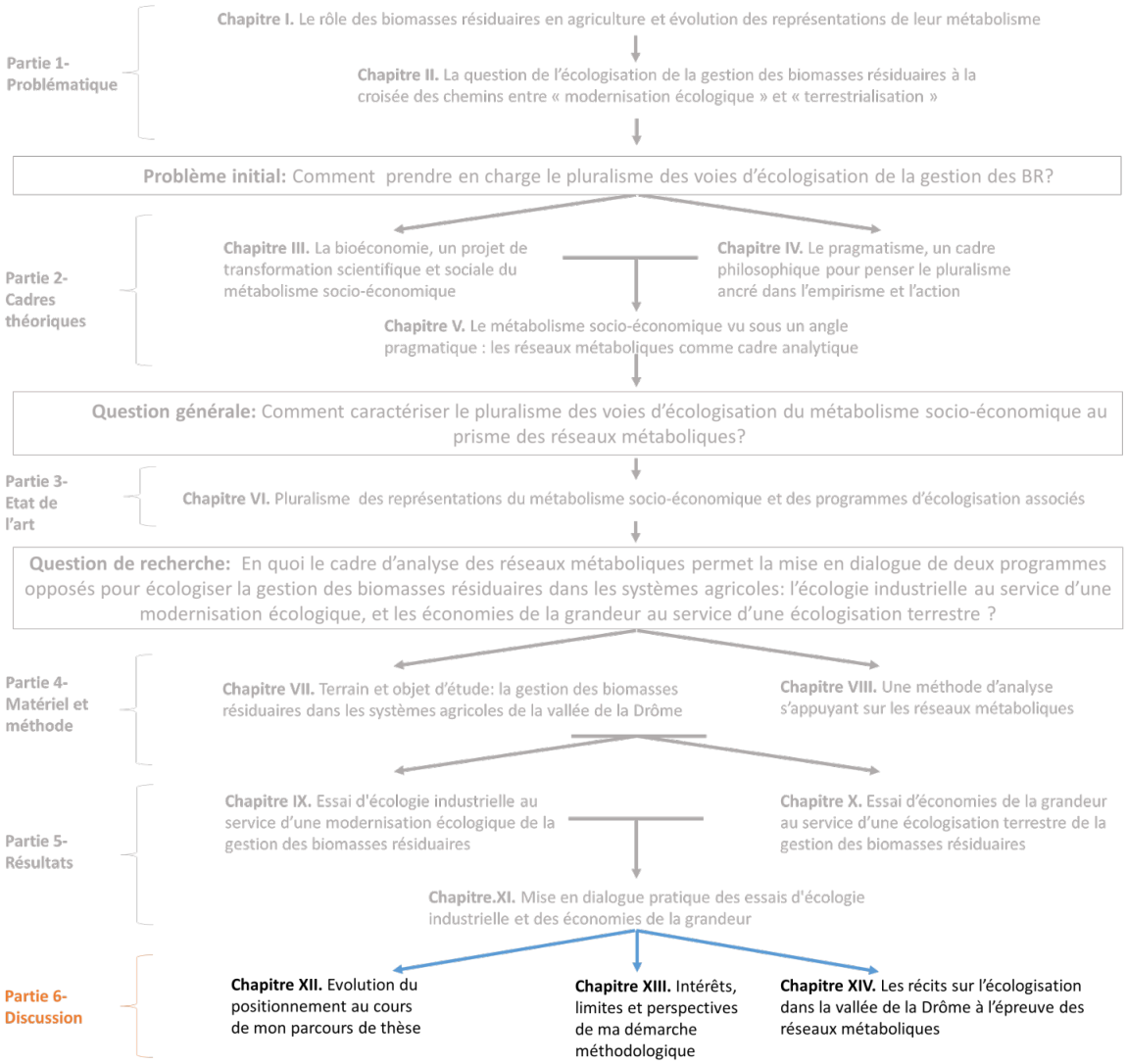
L'étude des situations problématiques révèle un croisement plus profond : des situations problématiques du point de vue du bouclage des flux ou de la prise en compte du vivant peuvent se renforcer mutuellement. Par exemple, les difficultés que rencontrent les agriculteurs dans leur rapport au vivant les poussent à abandonner des systèmes de polyculture-élevage traditionnels, plutôt vertueux du point de vue du bouclage des flux, au profit de cultures à hautes valeur ajoutées et d'élevages avicoles, qui renforcent les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires. Il apparaît également que des situations vertueuses du point de vue du bouclage des flux ne le soient pas quant à la prise en compte du vivant, ou inversement. Par exemple, la valorisation des déchets urbains est vertueuse du point de vue du bouclage des flux, mais peut impliquer une faible prise en compte du vivant humain et non-humain. Ces croisements ouvrent de nouvelles perspectives d'action. Alors que dans le cadre de programmes d'écologie industrielle, les valeurs d'optimisation et d'efficacité économique sont souvent mises en avant, les agriculteurs qui récupèrent les déchets verts des collectivités avancent qu'ils rendent un service à la collectivité. Ces valeurs civiques peuvent être largement mobilisées dans le cadre de programmes de recherche-action visant à favoriser ces échanges locaux de déchets verts. A l'inverse, les cas où l'on observe une divergence entre différents objectifs invitent à une explicitation des tensions et à une recherche de compromis, dans un cadre démocratique.

Le projet de compostage collectif Compost' et moi est l'occasion d'une mise en discussion pratique des deux programmes d'écologisation. Je montre comment, d'une vision d'écologie industrielle, mise en forme par un bureau d'étude, le projet est progressivement amendé, en tenant compte des multiples attachements des parties prenantes exprimés au cours de débats dans le cadre du comité de pilotage ainsi que des assemblées générales et des ateliers.

Ces discussions aboutissent à deux compromis alternatifs : un compost normé et professionnel tourné vers une clientèle large, dans un compromis entre valeurs industrielles et marchandes, ou un composteur au service des agriculteurs, des industriels, et de l'image du territoire, dans un compromis entre valeurs civiques et de l'opinion.

PARTIE 6. DISCUSSION

Ma discussion s'organise autour de trois axes : (1) L'évolution de mon positionnement au cours de mon parcours de thèse, entre interdisciplinarité, bioéconomie, agronomie et pragmatisme; (2) les intérêts, limites et perspectives de ma démarche méthodologique ; et (3) la mise en discussion des récits sur l'écologisation dans la vallée de la Drôme à l'aune des réseaux métaboliques.



Chapitre.XII. Evolution de mon positionnement au cours du parcours de thèse

XII.1. **La question de l'interdisciplinarité et du pluralisme**

Rétrospectivement, et au moment de rédiger cette discussion, je me rends compte que je ne suis pas très sûr du moment exact où a commencé mon entrée dans une démarche de recherche. J'ai effectué mon stage de fin d'étude d'ingénieur agronome en dehors du monde de la recherche stricto sensu, à l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole), avec un mémoire portant sur les interactions entre culture et élevage. Celui-ci représente à coup sûr un moment charnière dans mon rapport à la recherche, car, contrairement à ce que j'imaginais d'une telle immersion professionnelle, je me suis retrouvé à mener une étude autonome sans encadrement sur place, avec pour seule référence, un comité de pilotage distant, composé d'enseignants-chercheurs, avec lesquels j'allais être amené à échanger, une fois par mois. Le premier jour de mon stage, je me vis remettre une clé USB, contenant la bibliographie de thèse d'un ancien contractuel ayant travaillé sur le sujet. Au sein de l'ACTA, j'étais le seul stagiaire et personne, dans mon entourage immédiat ne travaillait sur un thème similaire ou n'effectuait une étude exploratoire. D'aucuns pourraient penser ma situation particulièrement inconfortable. Bien au contraire, le caractère baroque de ma position me convint bien : peu de contraintes, libre de lire, d'aller faire du terrain en toute autonomie, d'explorer et de découvrir un champ d'étude qui m'était inconnu jusqu'alors, je pris vite goût à ce travail.

1.1. **L'entrée dans une thèse interdisciplinaire encadrée par des agronomes**

Si je n'avais pas eu, jusqu'alors, pour projet de faire une thèse, ce travail a révélé mon intérêt pour le travail exploratoire. L'ACTA avait aussi un avantage, celui d'être un lieu de réseau. Aussi, malgré ma position de stagiaire, je ne passais pas complètement inaperçu, mon bureau étant stratégiquement placé dans la salle de la photocopieuse, je parlais, finalement à beaucoup de monde. C'est ainsi qu'à la fin du stage, j'ai pu rencontrer Philippe, qui m'a proposé de continuer à travailler sur une problématique similaire, dans le cadre d'une thèse, au sein d'un laboratoire de recherche, cette fois. Cette thèse représentait l'opportunité d'élargir le sujet en développant une approche plus méthodologique, axée vers l'opérationnel. Le sujet était « *Systèmes de gestion de la production agricole à l'échelle des territoires : quelle formalisation pour l'action ?* » Le titre préjugeait d'un travail très exploratoire, ce qui me convenait bien.

Si la thèse est encadrée par des agronomes (plus précisément en zootechnie), elle a, dès le départ présenté une forte composante interdisciplinaire. Le cadre théorique annoncé dans le résumé de projet de thèse était *farming system research*, une approche explicitement interdisciplinaire liant agronomie, économie, gestion et sociologie, dans une démarche diagnostique de la production agricole (Collinson, 2000).

1.1.1. **Des difficultés de l'interdisciplinarité dans un cadre intégrateur : mon expérience des premiers mois du projet BOAT et des cafés d'écologie territoriale**

Deux évènements ont participé à transformer fortement ma trajectoire de début de thèse, et

à intégrer la notion du « pluralisme » comme essentielle dans ma lecture du sujet de thèse. Le premier évènement était le début effectif du projet BOAT, porté par mes encadrants et dans lequel ma thèse s'inscrivait. Ce projet est venu me fournir plusieurs éléments d'approche de mon sujet d'étude : l'écologie industrielle et territoriale comme cadre théorique, la notion de « métabolisme » comme concept structurant, ainsi qu'un terrain d'étude, la vallée de la Drôme et enfin un collectif de travail situé à Grenoble, Paris et Troyes.

Dans les premiers mois de 2017, des réunions régulières ont commencé à être organisées. L'idée initiale du projet était de réunir l'ensemble des contributions disciplinaires, dans un cadre intégrateur, systémique et construit sur une représentation partagée du métabolisme des activités humaines en articulation avec les approches des filières[67]. Ces réunions révélèrent des difficultés inattendues : loin de faire l'objet d'un consensus, la notion de métabolisme et le cadre de l'écologie territoriale se sont révélés être l'objet d'intenses débats, et surtout d'incompréhensions mutuelles au sein du collectif. Pendant près d'un an, le projet BOAT a fait face à une incapacité collective à se mettre d'accord sur un objectif de travail, ainsi qu'un mode de fonctionnement commun. Le cadre de l'écologie territoriale, visiblement, ne permettait pas de faire tenir ensemble les différents regards portés sur l'objet métabolique.

L'émergence d'un groupe informel organisé à l'Irstea Grenoble, les « Cafés d'Ecologie Territoriale », constitue le deuxième évènement marquant dans mon positionnement de début de thèse. Des rencontres rassemblant initialement des doctorants de l'Université Grenoble Alpes (UGA), notamment de l'Institut d'urbanisme et de géographie alpine (IUGA), réunis autour de références communes et travaillant avec les mêmes encadrants à l'Université, ces « Cafés » ont progressivement intégré des chercheurs plus confirmés de toute l'agglomération grenobloise. Au cours des premiers mois de mon arrivée en thèse, les discussions bimensuelles ont commencé à osciller entre deux extrêmes : d'un côté, des discussions de plus en plus larges, débordant de l'écologie territoriale, nourries par une diversité de plus en plus grande de points de vue disciplinaires, très riches, mais qui, faute de cadre, tournaient souvent au « café du commerce ». De l'autre, un cadre plus formel a émergé, faisant des « Cafés » un espace de présentation des travaux doctoraux et d'échanges entre projets institutionnels, laissant de côté l'effervescence intellectuelle des discussions interdisciplinaires.

Ces deux évènements m'ont sensibilisé, dès la première année de thèse, à l'importance centrale du pluralisme dans mon positionnement en tant que chercheur, mais aussi aux difficultés de sa mise en pratique.

1.2. Le pluralisme des représentations : une question centrale dans mon travail de thèse

1.2.1. La rencontre de la pensée de Latour

Mon appréhension de la question du pluralisme est née de mes lectures, et notamment de

[67] Voir le dossier de demande subvention BOAT déposé à ADEME Graine (2016).

ma découverte de la pensée de Bruno Latour, via son ouvrage *Face à Gaïa* (2015), qui interroge les liens qu'entretiennent la science et la politique dans le cadre des problématiques environnementales et climatiques. Cette lecture a participé à éclairer la situation dans laquelle je me trouvais, en mettant des mots sur mes ressentis : l'auteur y exprime un scepticisme envers une vision scientiste de la nature. Chez Latour, « *la nature n'unifie pas »*, les représentations de la nature sont contestées et font l'objet de controverses. Cela me semblait décrire assez clairement ce que je vivais lors des réunions du projet BOAT et des « Cafés d'Ecologie Territoriale » car, de ce que j'en percevais, la notion de métabolisme n'unifiait pas. Chaque chercheur présentait la réalité métabolique sous un jour différent, et les représentations ne s'additionnaient pas pour former un tout cohérent, mais se trouvaient être mutuellement irréductibles et parfois incompatibles.

Pour moi, Bruno Latour rendait limpide l'idée que pour prendre en charge la question de l'écologie, il faut changer radicalement la représentation qu'on se fait du rapport qu'entretient la science avec le reste de la société. Ce que je ressentais intuitivement dans ses écrits, et qui me plaisait beaucoup, c'était l'idée que le scientifique n'est pas là pour être au service des institutions existantes ni pour administrer sa part de concepts, de projets ou de discipline, mais qu'il doit prendre sa place dans la société et aider à construire de nouvelles institutions, au sein desquelles le climat, la biodiversité et le vivant seraient entendus et pris en compte. Un scientifique qui ne se sentirait pas pour autant comme unique représentant légitime de ces êtres de nature mais qui participerait activement aux controverses, en ancrant les débats dans les faits, en aidant à assembler des multiples savoirs, scientifiques et non-scientifiques.

Une telle vision me semblait orthogonale avec ce que j'observais autour de moi. Une opinion, plusieurs fois exprimée dans le projet BOAT, consistait à chercher à se réunir autour d'une représentation minimale et neutre du métabolisme, qui pourrait ensuite être amendée, et à laquelle pourraient se greffer des analyses multiples. Il me semblait, au contraire que l'enjeu fondamental résidait dans la confrontation de ces différentes représentations et que l'intérêt scientifique n'était pas tant dans ce qui nous réunissait mais plutôt dans les multiples contradictions, oppositions et incompréhensions que l'on rencontrait et ce qu'elles disaient de notre vision de l'écologie.

1.2.2. **Le choix d'ancrer la question du pluralisme des voies d'écologisation du métabolisme dans ma thèse, et la difficulté à le faire en pratique**

Comment donner une place centrale au pluralisme dans mon travail ? J'étais confronté à un dilemme : je voulais éviter deux extrêmes qui me semblaient aussi dommageables l'un que l'autre. D'une part l'abandon du pluralisme, ce qui aurait signifiée dans ma thèse de revenir à des références strictement agronomiques, et ainsi m'ancrer dans une démarche ingénieuriale, en contribuant effectivement au développement d'une certaine idée pratique de l'écologie : l'écologie industrielle. Et d'autre part une vision intégratrice, riche de multiples apports et cadres disciplinaires comme l'est la proposition de l'écologie territoriale dans le cadre du projet BOAT mais qui, faute de prendre en charge la question des controverses, et esquivant la question de son rapport aux institutions, ne se donne pas les moyens de contribuer effectivement à une avancée de la cause écologique.

Pour essayer de trouver une voie du milieu, mon premier pas a été de réaliser un état de l'art pour ma thèse. A ce titre, j'ai décidé de dresser une première cartographie, sommaire, des différentes manières dont pouvait être décrit le métabolisme dans les systèmes agricoles, en étant attentif aussi bien aux choix théoriques qu'à leurs conséquences politiques, en termes d'objectif d'action ou de rapport aux acteurs. Ce travail s'est progressivement sédimenté en un article sur le pluralisme des voies d'écologisation du métabolisme, qui m'a suivi jusqu'à la fin de mon travail de thèse. S'il s'est vu couronné par un succès – une publication dans la revue *Ecological Economics*-[68], il m'aura également coûté en occupant près de deux ans de travail, et en diminuant le temps initialement consacré à mon travail de terrain.

Il m'a pourtant semblé évident que la question du pluralisme devait s'ancrer dans ce travail de terrain dans la vallée de la Drôme. En effet, je ne souhaitais pas voir mon travail comme détaché de tout acteur, ni au service d'une institution donnée.

C'est ainsi que l'idée a progressivement émergé de tenir, en même temps, deux cadres théoriques[69] a priori contradictoires, en cherchant à montrer en quoi ils se rejoignent ou s'opposent, une fois développés dans des situations concrètes.

XII.2. **A la recherche d'un positionnement : entre bioéconomie et pragmatisme pour un agronome**

Au fil de ma réflexion sur la question du pluralisme des voies d'écologisation, je me suis progressivement rendu compte de la nécessité de trouver un point de focale théorique qui permettrait de relier la diversité des approches. Quel cadre pour prendre en charge la question du pluralisme ? Il n'était pas raisonnable de développer des positions contradictoires, sans avoir un cadre permettant de les relier, autour de la notion de métabolisme.

2.1. **Se positionner par rapport à la bioéconomie scientifique**

2.1.1. **Les limites de l'écologie territoriale comme cadre commun**

Dans le cadre du projet BOAT, le rôle de cadre intégrateur devait être joué par l'écologie territoriale. Elle devait créer le dialogue entre différents chercheurs, disciplines et représentations du métabolisme. Mon expérience des premières réunions BOAT, ainsi que les « Cafés d'Ecologie Territoriale » m'ont fait douter de la capacité de l'écologie territoriale à jouer ce rôle : les échanges, riches mais désordonnés, peinaient à faire émerger une mise en dialogue fructueuse. Rétrospectivement, je pense que l'écologie territoriale[70] représente une thèse, mais pas nécessairement un cadre intégrateur ou une école de pensée structurée.

2.1.2. **L'opportunité de la bioéconomie de Georgescu-Roegen**

Pour la définition de ce cadre, il me semblait nécessaire de revenir à une référence plus fondamentale, à un ancrage théorique plus fort. Une piste a progressivement émergée : celle de la bioéconomie de Georgescu-Roegen. Cette mise en dialogue de savoirs précédemment

[68] La publication figure en page 289.
[69] En l'occurrence l'écologie industrielle et les économies de la grandeur.
[70] Voir la présentation de l'écologie territoriale dans l'état de l'art, page 74.

séparés représente un projet d'écologisation qui consiste à mieux intégrer le fonctionnement du vivant et la finitude des ressources en s'appuyant sur les avancées de la physique thermodynamique et de l'écologie évolutionniste.

Dans ce que je pouvais observer, la bioéconomie semblait faire la preuve de sa capacité à organiser le pluralisme : la pensée de Georgescu-Roegen joue un rôle important dans la structuration de la communauté scientifique d'*Ecological Economics*, et ceci dès sa fondation (Costanza et al., 2014) : une communauté que j'ai eu l'occasion de découvrir au cours d'un colloque organisé par la Société Européenne d'Economie Ecologique, à Turku, en Finlande, en juin 2019. Plus localement, des « Cafés d'Economie Ecologique » ont commencé à être organisés à l'Irstea de Grenoble, visant à construire des références communes entre chercheurs, prenant la suite des « Cafés d'Ecologie Territoriale » s'étant épuisés entre temps. Au fil du temps, le projet BOAT a lui aussi été progressivement amendé et repensé dans un cadre bioéconomique[71]. Ce chemin, de l'écologie territoriale à la bioéconomie, représente ainsi un cheminement collectif dans lequel je m'insère.

2.1.3. **Un positionnement qui a évolué au fil de l'avancée de mon travail**

Dans le cadre de ma thèse, la lecture bioéconomique des processus m'a permis de tenir compte en même temps des facteurs humains, matériels et idéels (Gabriel et al., 2020). Elle m'a aussi fourni un cadre analytique, à savoir le modèle fonds/ flux, qui a progressivement représenté pour moi un point de passage permettant de relier des savoirs différents.

Au fil de mon travail, j'ai été amené à faire évoluer le cadre initial et à apporter des modifications, des extensions, mais aussi des contradictions aux messages portés par Georgescu-Roegen. Je me suis éloigné des représentations arithmomorphiques au profit de représentations dialectiques[72] ; j'ai donné une place centrale à la question de la pluralité des fonds et à leurs rôles multiples, à la fois écologiques, économiques ou culturels[73]. *A posteriori*, je constate que ces élargissements et interprétations peuvent légitimement interroger le lecteur. Dans quelle mesure mon travail prolonge-t-il ou trahit-il la bioéconomie de Georgescu-Roegen, notamment par ses implications théoriques ?

Des résultats qui s'éloignent du message initial de Georgescu-Roegen

La thermodynamique représente un point d'ancrage central dans l'argumentation de Georgescu-Roegen. A mon sens, rendre centrale la loi de l'entropie dans la gestion des affaires humaines avait pour objet de fixer des limites. Des limites physiques indépassables dans leur activité économique, auxquelles les hommes doivent se conformer s'ils ne veulent

[71] Voir le rapport final BOAT (2020)

[72] Georgescu-Roegen exprime clairement la nécessité de ne pas se limiter à des représentations purement quantitatives et mathématisées (c'est-à-dire arithmomorphiques), et de les réintégrer dans un cadre plus large, qualitatif et analytique (c'est-à-dire dialectique). Voir le *Chapitre XIII* pour les détails.

[73] Ici, je me limite à présenter, succinctement, l'évolution des idées maîtresses qui nourrissent ma thèse, et des positions théoriques très générales. Je reviens sur des choix plus techniques dans le *Chapitre XIII*, qui traite plus spécifiquement de ma méthodologie des réseaux méthodologiques et de ses conséquences.

pas succomber à leur *hubris*[74], en détruisant la planète dont ils dépendent pour leurs ressources.

Or mes résultats font peu écho à cette base thermodynamique, développant des analyses éloignées de ces considérations physiques. Par exemple, ma lecture ouverte du modèle fonds/flux laisse sans cesse apparaître l'imprévu et des potentialités nouvelles. Mes résultats montrent que les représentations des agriculteurs sont sans cesse réinterrogées par les bouleversements du métabolisme puisque les flux sont soumis à des variations qui ne sont pas toujours prévisibles ; de nouveaux fonds, inattendus, font leur entrée dans les réseaux métabolique. Les agriculteurs peuvent s'appuyer sur de multiples fonds, sans que la question des limites ne soit jamais réellement posée.

Ce décalage entre le message entropique de Georgescu-Roegen et ce que j'en faisais m'a longtemps perturbé. Ce n'est que tardivement, en finalisant mon manuscrit, que j'ai identifié quelques pistes de réflexions permettant de me réancrer dans cet héritage, notamment en découvrant les travaux d'autres chercheurs (Prigonine et Stengers) s'interrogeant sur les conséquences de la thermodynamique pour notre société.

Donner de la place à l'imprévu : la résonnance avec une autre lecture de la thermodynamique, celle de Prigogine et Stengers

A quelques années d'écart avec Georgescu-Roegen, Ilya Prigogine, prix Nobel de chimie, et Isabelle Stengers, philosophe, proposent un livre traitant des implications de la thermodynamique pour les liens entre l'homme et la nature : *La Nouvelle Alliance* (1979) [75].

Les travaux de Prigogine et Stengers présentent des similitudes avec le positionnement de Georgescu-Roegen. Comme lui, ils accordent une place centrale à la physique et opposent sciences newtonienne et science thermodynamique, pour souligner la nouveauté radicale apportée par l'entrée de l'irréversibilité dans les phénomènes physiques.

Comme lui, ils considèrent les sociétés humaines comme des systèmes complexes qui dissipent de l'énergie pour se maintenir loin de l'équilibre thermodynamique[76]. Mais à la différence de Georgescu-Roegen, les deux auteurs mettent en avant un aspect particulier dans leur lecture de la thermodynamique : « *pour Prigogine et Stengers, il apparaît […] que de nombreux phénomènes, notamment les réactions chimiques, et en particulier les processus biochimiques, tels que ceux qui régissent le métabolisme des êtres vivants, se déroulent loin de tout équilibre thermodynamique.* » (Bertrand, 2017)

Cette spécificité a des conséquences importantes que Georgescu-Roegen n'aborde pas à

[74] L'*hubris* est une notion grecque qui se traduit le plus souvent par démesure (Source : Wikipedia). Le regard bioéconomique fait justement apparaitre la démesure des activités économiques par rapport à leurs bases biophysiques. A l'*hubris*, les Grecs opposaient la tempérance et la modération, qui est d'abord connaissance de soi et de ses limites. Le programme bioéconomique minimal est à bien des égards un programme de tempérance.

[75] N'ayant pas lu le livre moi-même, je me permets de citer extensivement et de paraphraser certains de ses commentateurs, et notablement Emanuel Bertrand (2017)

[76] Pour toute structure vivante, quel que soit l'échelle considérée (de la cellule à la société), l'équilibre thermodynamique se traduit par l'incapacité de maintenir une organisation propre, autrement dit la mort.

ma connaissance : « *sous l'impulsion des travaux théoriques de Prigogine et de ses collaborateurs, un consensus va émerger autour de l'idée que, loin de l'équilibre, il n'est pas toujours possible d'énoncer des lois générales permettant de définir des états stationnaires stables vers lesquels évolueraient les systèmes ».*

Les « processus irréversibles loin de l'équilibre » ont une propriété majeure, ils sont instables et toujours porteurs d'imprévu : *« lorsque les contraintes extérieures appliquées à un système matériel sont suffisamment grandes pour le maintenir loin de l'équilibre, ce système peut se révéler instable. » Ces « simples fluctuations moléculaires internes aléatoires – habituellement vouées, dans le cas de systèmes stables, à s'atténuer spontanément – peuvent alors s'amplifier, jusqu'à produire des effets à grande échelle, et entraîner ce système vers des régimes de fonctionnement singuliers, que l'on ne peut étudier qu'au cas par cas. »* Cette interprétation de la thermodynamique laisse ouverte la question du devenir : pour des processus irréversibles loin de l'équilibre, il est impossible de décrire à l'avance l'état d'un système. On est toujours confronté à l'imprévu, et seule l'étude au cas par cas permet de déterminer les trajectoires (Bertrand, 2017).

Cette caractéristique est essentielle pour expliquer les processus vivants. C'est aussi elle qui permet de penser une « *nouvelle alliance* » entre l'homme et la nature. Celle-ci passe par une alliance interdisciplinaire, entre les différentes sciences physiques, mais aussi entre sciences de la nature et sciences de l'homme, à savoir « *un milieu où puisse s'engager l'indispensable dialogue entre la démarche de modélisation mathématique et l'expérience conceptuelle et pratique de ceux, économistes, biologistes, sociologues, démographes, médecins, qui essaient de décrire la société humaine dans sa complexité* » (Prigogine et Stengers, 1979[77])

Cette interprétation est reprise par Giampietro & Funtowicz, (2020), pour lesquels les sociétés humaines doivent être considérées comme « *en devenir* », en permanence confrontées à des chocs extérieurs : « *dissipative systems, such as human societies, must be fast in learning and adapting to changes in boundary conditions to preserve their identity. They must be becoming (Prigogine, 1980) and anticipatory systems (Rosen, 1985) and be prepared for the tragedy of change »* (Funtowicz and Ravetz, 1994). Cette discussion, en dehors de mon champ de compétence, ancre néanmoins mon travail dans une certaine vision de la thermodynamique appliquée aux sociétés humaines.

Une piste pour une bioéconomie plus ouverte et ancrée dans l'action ?

La mise en discussion des travaux de Prigogine et Stengers participe aussi à une relecture de la bioéconomie, et contribue, peut-être, à répondre à certaines des limites qu'elle peut rencontrer. Interrogé sur les conséquences pratiques de la lecture bioéconomique, Georgescu-Roegen considérait qu'elle mettait l'homme face à une alternative, à savoir : soit l'homme réussissait à prendre en compte la dure réalité des limites placées par la physique, soit il était condamné à courte échéance à la disparition de son espèce (Georgescu-Roegen, 1979). Cette alternative, assez fermante, est problématique du point de vue politique, tant elle semble éloignée des idéaux d'auto-détermination, de démocratie et de délibération qui nourrissent nombre de nos conceptions politiques en Occident, ce qui participe à lui donner un fort handicap sur la scène politique (Charbonnier, 2020)[78]. Avec la lecture de Prigogine et Stengers, ce type de prédiction n'a plus vraiment lieu d'être car les conséquences

[77] Cité par Emanuel Bertrand (2018).
[78] Voir les développements à ce sujet dans le chapitre III., page 52.

dramatiques et imprévisibles de nos actions peuvent être discutées, au cas par cas, tout en écartant certains discours globalisants se revendiquant de la collapsologie ou d'un « *catastrophisme éclairé* » (Dupuy, 2009).

2.2. **Se positionner par rapport au champ de l'agronomie**

2.2.1. **La question du pluralisme m'a réinterrogé sur ma position d'agronome à l'Irstea**

Dans un premier temps, mon intérêt pour la question du pluralisme m'a éloigné des références agronomiques. Il m'a poussé à aller emprunter des livres de sociologie à la Bibliothèque de Science Sociales et à suivre des cours de philosophie des sciences auprès de l'Université Grenoble Alpes. Ce faisant, je m'éloignais de mon rôle de doctorant en agronomie, et rendait plus difficile le travail de mes encadrants, en multipliant les références qui leur étaient étrangères.

Mon retour dans une tradition agronomique eut lieu à l'occasion de « Journées Des Doctorants » organisées par le département SAD (Sciences pour l'Action et le Développement) de l'INRA. J'y compris que je m'inscrivais dans une certaine tradition de la recherche agronomique, en rupture avec le projet moderniste d'optimisation et progrès (Landais et al., 1988), notamment matérialisé par la prépondérance de la recherche du rendement : *« L'agriculture actuelle, de par sa dépendance de plus en plus forte à la sphère économique, a longtemps conduit chercheurs et agriculteurs [...] à raisonner l'augmentation de la production agricole comme une finalité impérative »* (Malézieux et al., 2001).

A l'inverse, les chercheurs engagés au sein du SAD tenaient à prendre en compte de multiples enjeux contradictoires comme les agriculteurs et leur point de vue, le développement territorial ou les enjeux environnementaux (Cornu, 2014). Ces multiples perspectives apparaissaient clairement au cours des journées des doctorants. Par ma volonté intégrative, par mon intérêt pour le pluralisme, par mes doutes épistémologiques et par ma formation agronomique, il me parut évident que mon parcours intellectuel s'inscrivait dans une certaine histoire, celle du SAD, bien plus que dans celle de l'unité DTM (Développement des Territoires Montagnards), à laquelle j'étais rattaché à l'Irstea[79].

La mise au centre de l'agriculteur et de ses représentations

Au-delà du SAD, mon travail entre en résonnance avec une certaine pratique de l'agronomie, « *l'agronomie systémique* », notamment du fait de mon intérêt pour les agriculteurs et leurs représentations. En agronomie systémique, l'agriculteur est un objet d'étude et un partenaire à part entière. L'objectif étant de s'intéresser aux motivations et aux modes de décision de l'agriculteur. Les agriculteurs sont « *pris au sérieux ».* Ils sont considérés comme rationnels :

[79] Cette opposition n'est plus d'actualité depuis la fusion de l'INRA et de l'IRSTEA, Mon équipe à Grenoble est, depuis, rattachée au département ACT Sciences pour l'action, les transitions, les territoires, au sein de l'INRAE. Cette fusion soulevait d'ailleurs l'inquiétude de certains intervenants aux journées des doctorants du SAD, s'interrogeant de la survie de l'identité du SAD et de la manière particulière d'y faire de la science, face à l'arrivée de nouveaux membres peu au fait de l'histoire du département.

« *ils ont de bonnes raisons de faire ce qu'il font »* (Sebillotte & Papy, 2010). L'intérêt se porte sur les analyses des individus eux-mêmes et « *la variété des conceptions des choses, qui fait l'objet central de la recherche ».* La rationalité des agriculteurs est mise en vis-à-vis avec celle des chercheurs : certains travaux s'appuient sur les apports de la sociologie et discutent de l'interaction entre concepts d'agriculteurs et modèles d'agronomes (Darré et al., 2007). Mon intérêt pour les représentations du métabolisme des agriculteurs au travers de leurs justifications, dans mon essai d'économies de la grandeur, s'inscrit largement dans cette tradition.

La prise en compte de l'échelle du territoire

Mon inscription dans l'agronomie systémique provient aussi de mon intérêt pour l'échelle du territoire. Si elle n'est pas nouvelle en agronomie (Benoît et al., 2006)[80], elle prend une place prépondérante dans l'approche systémique. Le territoire devient le lieu d'insertion de la « parcelle », objet traditionnel de l'agronomie, mais surtout le lieu de son implication dans les problèmes de développement, et qui devient un objet d'étude à part entière pour l'agronome, comme le raconte Sébillotte, en revenant sur son parcours académique : « *j'ai mis en place un programme national de recherche en partenariat « Pour et sur le développement régional » […] Cela m'a conduit à dégager justement le territoire comme objet transdisciplinaire, n'appartenant à aucune discipline, sachant que chaque discipline ne peut pas aborder l'ensemble des problèmes d'un projet de développement d'un territoire »* (Sebillotte & Papy, 2010*)*. En s'intéressant au métabolisme socio-économique à l'échelle du territoire et des collectifs d'acteurs, je m'inscris dans la continuité de cette agronomie « *au-delà de la parcelle »* et au-delà de l'exploitation agricole (Benoît et al., 2006).

2.2.2. **Un positionnement original vis-à-vis de la notion de « système » en agronomie**

Rétrospectivement, il me semble que mon positionnement par rapport à la systémique soit teinté d'une certaine ambiguïté. Ma référence à la bioéconomie ainsi que ma manière particulière de m'en saisir m'éloigne des références traditionnelles de l'agronomie. Par ailleurs, il est vrai que l'agronomie systémique telle qu'elle a été pratiquée en France depuis les années 1970, ne s'est pas révélée être un cadre unifié car de nombreux courants contradictoires ont émergés, « *Les objectifs se diversifient, se complètent, et parfois divergent, selon les acteurs considérés »* (Malézieux et al., 2001).

Au-delà d'un rapprochement de pratiques, la notion de « système » représente un point de convergence conceptuel particulièrement important dans la communauté des agronomes systémiques (Cornu, 2014). Or le sens donné à cette notion, et en particulier les propriétés qui lui sont attribuées, varient grandement d'un auteur à l'autre. Pour me positionner vis-à-vis de celle-ci, il me semble intéressant de revenir sur mon positionnement par rapport à la notion de « système », qui revêt des acceptions très différentes.

[80] Les approches géographiques en agronomie ont une histoire ancienne. Dès les années 1960, le couplage d'approches géographiques et agronomiques a donné lieu à la formalisation de l'agriculture comparée, et à l'analyse du développement de l'agriculture sous l'angle de systèmes agraires territorialisés.

Une référence originelle à la notion de « système » et à la cybernétique

Pour certains agronomes, le « système » de l'agronomie systémique trouve son origine conceptuelle dans la cybernétique, une science qui s'intéresse à l'autorégulation et au pilotage de systèmes complexes. Cette discipline vise à appréhender un objet d'étude complexe, en analysant les mécanismes de fonctionnement de ses différentes composantes (ou sous-systèmes), les liens entre les différents sous-systèmes, ainsi que les relations du système à son environnement (Le Moigne, 2002). Une pensée systémique vise en général à en circonscrire les limites et à hiérarchiser différents niveaux d'organisation. L'agronomie systémique s'est approprié cette idée, voyant dans chaque partie l'apport d'une discipline différente. La physique, la chimie, l'écologie, l'économie, la gestion, concourent toutes à une compréhension du système que forme une exploitation agricole.

Pour Cornu (2014), les agronomes systémiques ont une manière particulière d'intégrer ces différentes composantes. Dans la systémique agricole, toutes les disciplines et tous les acteurs ne sont pas au même niveau, l'agriculteur et l'agronome occupent une place prépondérante et il revient à l'ingénieur agronome d'intégrer ces différentes composantes, en plaçant l'homme (et notamment l'agriculteur) comme acteur principal dans ses représentations (Cornu, 2014). Par exemple, pour Landais et al. (1988), « *une plus grande attention est accordée aux pratiques des agriculteurs* [....] *en relation avec la position centrale de l'homme dans l'exploitation agricole vue comme un système complexe piloté »*.

A l'inverse, certains agronomes se revendiquant comme « systémiques » ont pris une distance importante avec la cybernétique. L'agronome s'éloigne d'objets aux frontières nettes et bien identifiées comme la parcelle agricole, le système de culture et le système d'exploitation vers des objets progressivement plus larges tels que le système agraire, le bassin versant et le territoire. Les frontières et les échelles devenant de plus en plus poreuses, il devient de plus en plus difficile de définir un « système » (Le Moigne, 2002). Le caractère « piloté », des systèmes agricoles, avec l'agriculteur comme acteur central est nuancé. De plus en plus d'éléments du système de production agricole sont amenés à être considérés comme des acteurs à part entière. Dans certains travaux contemporains, les animaux d'élevage, habituellement considérés comme de simples objets ou ressources, sont vus comme des travailleurs à part entière (Porcher & Schmitt, 2012), les outils techniques ne sont plus de simples objets au service de la production, mais de réels médiateurs qui transforment les hommes en retour (Barbier & Goulet, 2013). Les agronomes tenants de l'agroécologie ne voient plus l'homme comme un gestionnaire du milieu, mais comme une espèce en interaction avec d'autres de son milieu (Dalgaard et al., 2003).

Penser les systèmes métaboliques comme « sympoïétiques », plutôt qu' « autopoïétiques » ?

Assez clairement, ma thèse n'alimente pas une vision cybernétique des systèmes agricoles. Voulant éviter toute confusion avec celle-ci, j'ai dans les premiers temps de ma thèse évité la notion de « système », lui préférant celle de « réseau ». Néanmoins, au fil de ma thèse, cette notion s'est avérée utile pour poser certaines limites à mon objet d'étude. Mais faute d'un cadre cybernétique, ma compréhension du système, si elle est plus nuancée, est aussi plus floue et pour la préciser, il me semble que l'opposition « autopoïèse/sympoïèse » peut être utile : la notion d' « autopoïèse » décrit la propriété d'un système capable de se produire lui-même, en permanence et en interaction avec son environnement, et ainsi de maintenir son

organisation interne. Dans le cadre de ma thèse, je me suis appuyé spécifiquement sur le paradigme du « métabolisme socio-économique ». Pour Pauliuk et al. (2015), cette notion découle d'un système autopoïétique : « *The systems approach is the widely accepted epistemological basis of environmental literacy. Under this approach, human society is considered a complex autopoietic system »* .

Rétrospectivement, force est de constater que, dans ma thèse, les systèmes que j'ai étudiés n'étaient pas très autopoïétiques : mes analyses du métabolisme révèlent que les agriculteurs, comme les territoires, sont régulièrement dépassés par des entités agissantes qui leur sont extérieures, qui les transforment, qu'ils transforment en retour, et ceci à de multiples échelles imbriquées. Le caractère imprévisible de ces bouleversements[81] plaide pour une autre définition de ces systèmes. Pour mieux les décrire, une alternative possible existe dans la notion de « sympoïèse » : « *autopoietic systems have self-defined boundaries, sympoietic systems do not; autopoietic systems are self-produced, sympoietic systems are collectively-produced; and, autopoietic systems are organizationally closed, sympoietic systems are organizationally ajar. A range of other characteristics arise from these differences. Autopoietic systems are homeostatic, development oriented, centrally controlled, predictable and efficient. Sympoietic systems are homeorhetic, evolutionary, distributively controlled, unpredictable and adaptive. »* (Dempster, 2000) Ou encore, dans les termes de la philosophe Donna Haraway *:* « *sympoïèse […] signifie "construire-avec", "fabriquer-avec", "réaliser-avec". […] Les Terriens ne sont jamais seuls. Telle est l'inévitable conséquence de la sympoïèse. C'est un mot pour caractériser de manière adéquate des systèmes complexes, dynamiques, réactifs, situés et historiques. Un mot pour désigner des mondes qui se forment-avec, en compagnie. »* (Haraway & García, 2020).

2.3. **Se positionner par rapport à l'action : le choix d'une posture pragmatique**

2.3.1. **Le rapport à l'action, un problème à la fois théorique et pratique**

Un ancrage dans le terrain grâce à la focalisation sur les biomasses résiduaires

En tant qu'agronome, je fais le choix de partir des problèmes des agriculteurs, sur le terrain, et de voir lesquels gagnent à être éclairés par un regard métabolique. J'ai donc commencé mon étude de terrain par des entretiens exploratoires auprès d'agriculteurs élus à la CA. C'est ce travail d'enquête qui m'a poussé à abandonner une étude du métabolisme agricole d'un territoire « en général », pour m'atteler à une question particulière : la gestion des biomasses résiduaires (BR), liant les différentes filières, l'agriculture à son environnement, cultures et élevages.

Après coup, je ne peux que constater que cette démarche aurait gagné à être poursuivie : mon rapport à l'action resta principalement théorique. Les démarches entreprises dans ma thèse, mais aussi dans cadre du projet BOAT, n'ont pas abouti à une interaction forte entre chercheurs et acteurs du territoire sur le terrain de la vallée de la Drôme[82] et j'ai notamment

[81] Aussi discuté plus haut, en lien avec la lecture de la thermodynamique de Prigogine et Stengers.

[82] La situation a été différente dans le cadre du terrain du nord de l'Aube, ou plusieurs « *focus groups »* ont été organisés, et ont mené à une mise en dialogue entre différents acteurs. Pour les hypothèses d'explication voir le rapport final BOAT.

rencontré des difficultés à construire des relations de collaboration avec les acteurs des filières (coopératives) ainsi que la Chambre d'Agriculture. Si ce qui a été annoncé plus haut était une mise en dialogue prenant en compte de manière conjointe les représentations et l'action, les deux ne sont pas toujours reliés. Je n'ai pas eu l'occasion de mettre à l'épreuve mes représentations comme, par exemple dans un programme de recherche-action. Toutefois, les comités de pilotage dans la vallée de la Drôme ont donné lieu à des échanges, ainsi qu'à une demande de présentation des résultats.

Lier la recherche aux problèmes de terrain, une question à la fois théorique et pratique

La question du lien entre représentations scientifiques et action se présente, pour moi, dès le début de ma thèse[83] comme un problème à la fois théorique et pratique. Dans le projet BOAT, différentes postures contradictoires coexistaient sur ce que devrait être une bonne manière de relier représentation et action. S'agit-il de produire un savoir qui soit localisé, mais non finalisé, réinterrogeant les multiples représentations des acteurs d'un territoire (*dir. Buclet*, 2015) ? Des représentations directement utiles pour les acteurs de terrain ? Ou bien encore un outil et une méthode, destinés aux collectivités locales, et testés localement, mais réplicables ailleurs en France (Grillot et al., 2019) ?

Une formalisation théorique de mon positionnement : le pragmatisme

Dans l'avancement de ma réflexion, il m'apparut qu'il me manquait une pièce pour articuler les différentes représentations et leurs perspectives d'action. Le pragmatisme, que j'ai découvert lors d'un cours de philosophie des sciences, a constitué pour moi cette pièce manquante, me permettant de penser en même temps la valeur scientifique et l'utilité pour l'action des représentations. Ce faisant, il légitimait le pluralisme des critères de satisfaction, et donc des représentations.

Dans le cadre de ma thèse, le pragmatisme m'a permis de réorienter la question de l'action en un questionnement sur l'adéquation entre les moyens et les fins. Avoir une approche pragmatique du métabolisme revient à chercher la convergence entre les interdépendances métaboliques et les arènes, espaces de délibérations et de décisions collectives. Dans de nombreuses situations, les deux sont disjoints et les décisions sont prises à des échelles qui n'ont rien à voir avec la réalité des dépendances métaboliques. En multipliant les représentations, le chercheur est amené à réinterroger les institutions présumées en charge de la gestion des flux et donc à multiplier les moyens d'agir sur le métabolisme.

2.3.2. **Le cadre pragmatique réinterroge ma position d'agronome**

L'agronomie, une science à visée utilitaire et tournée vers l'action

Comment ce choix du pragmatisme résonne-t-il avec mon positionnement d'agronome ? A la lecture d'ouvrages historiques, il apparaît que la démarche pragmatique et l'agronomie partagent des propriétés communes. Selon l'historien Gilles Denis, l'agronomie apparaît en Europe à partir du XVIIIe siècle, en lien avec le développement de la méthode scientifique et

[83] Dans le sujet initial il s'agissait d'intégrer la question de l'action dans la production même des représentations scientifiques, en s'interrogeant sur « *quelle formalisation [était pertinente] pour l'action* ».

d'une « *idéologie de l'utilité* ». La connaissance agronomique est jugée en fonction de son utilité, il ne s'agit pas d'une science théorique mais bien d'une science indissociable de son application qu'est l'agriculture.

La question de la pensée agronomique comme un « *savoir finalisé* », ayant pour vocation d'influer sur les pratiques des agriculteurs est déjà présent à l'origine de la création, en France, de la première école d'agriculture, l'Institut Royal Agronomique, en 1826. L'action est centrale dans la pensée agronomique (Sebillotte & Papy, 2010).

Une science expérimentale, qui s'est progressivement nourrie de pragmatisme

Si le pragmatisme philosophique visait à faire entrer dans le champ des sciences sociales les pratiques propres aux sciences expérimentales, l'agronomie représente une science expérimentale par excellence, et ceci dès ses balbutiements. A ce titre, l'expérience joue un rôle central dans la validation de la vérité agronomique qui prend la forme d'enquêtes, d'essais au champ, etc.

Longtemps, la recherche d'utilité était couplée à une recherche de lois universelles. A l'image de la physique newtonienne, ayant établi des lois gouvernant la nature à l'échelle macroscopique, l'agronomie vise à établir des lois universelles gouvernant la parcelle agricole. Les agronomes systémiques se sont largement opposés à ce projet, traduisant une vision trop réductionniste de l'agriculture. La diversité des systèmes agricoles leur ont fait abandonner cette recherche de savoirs universels, positifs, au profit d'une recherche plus située. L'objectif aujourd'hui n'est plus de décrire des lois de la nature, ni de proposer une représentation unique d'un système agricole, mais plutôt de mener l'enquête, en s'intéressant aux multiples interactions existantes au sein d'un système. Les représentations ainsi créées sont évaluées en fonction de leur utilité pour l'action, dans un contexte donné (Cohen, 2017).

Si le pragmatisme philosophique ne fait pas partie des références historiques de l'agronomie, des philosophes comme William James ou John Dewey sont de plus en plus régulièrement mobilisés sur des problématiques agronomiques en France : notamment pour ancrer le positionnement épistémologique de l'agroécologie (Cohen, 2017), pour discuter des différents modes d'enquêtes des conseillers agricoles et des agriculteurs dans la réduction des pesticides (Delbos et al., 2014) ou pour penser le lien entre production et partage des savoirs agronomiques (Cerf, 2016).

Etre acteur plutôt qu'au service des acteurs ?

Ce changement de regard sur l'agriculteur transforme aussi le rapport à l'action : il ne s'agit plus uniquement d'être en position de prescription, mais de co-construire avec lui ses choix de pratiques. Plutôt que de se mettre à la place d'un décideur, il s'agit de penser ses propres modalités d'action.

Cela amène à considérer l'agronome comme un acteur politique à part entière, amené à « *se battre* » pour ses idées (Sebillotte & Papy, 2010). Une telle démarche associant lutte politique et pratique de recherche nous ancre dans la vieille tradition universitaire post

« *soixante-huit* » liant travail académique et engagement militant. Le lien entre la recherche et l'action ne passant pas uniquement par l'assemblage et la construction, mais aussi par la lutte, dans la veine des chercheurs s'étant associés à des luttes en cours (ZAD), ou de l'appel des 1000 chercheurs français à la rébellion face aux gouvernements[84].

Penser ensemble recherche et lutte politique nous amène aussi à réhabiliter des courants des sciences sociales parfois négligés dans les laboratoires de recherche environnementales : les courants de la philosophie et de la sociologie françaises héritiers des travaux critiques de Bourdieu ou de Foucault offrent des pistes intéressantes pour révéler des intérêts cachés, démasquer les ressorts du pouvoir ou les rapports de domination.

Le chercheur vu comme un acteur politique

Mon approche avance une vision compositionniste qui n'est pas neutre et représente un projet politique. Ce projet politique appartient à Latour, ainsi qu'à ceux qui se décrivent comme « *terrestres* », cependant la traduction de ce projet dans le champ des études des métabolismes est un projet sensiblement différent du projet latourien : nous sommes confrontés, en tant que chercheurs, à d'autres acteurs qui eux aussi essayent d'assembler le monde, mais différemment, et chacun a une parole sur ce que serait l'ordre du monde. Le méta-cadre que je propose n'est qu'une manière d'assembler ce monde parmi une multitude d'autres, il y a autant de collectifs qu'il y a de projets d'assemblage (Mermet, 2007).

Que faire alors face à des acteurs qui feraient explicitement le choix de nier tout positionnement par rapport à l'écologie ? Que faire quand on est confronté à d'autres projets politiques hégémoniques incompatibles avec une écologisation pluraliste ?

C'est un problème pour lequel ni la pensée pragmatique, ni celle de Latour n'ont grand-chose à apporter. Latour (2015, 2017) répète souvent qu'il faut « *distinguer ses amis de ses ennemis »*, mais aussitôt il précise qu'il ne faut jamais se précipiter pour faire ce positionnement et repousse toujours le sien par de nouvelles enquêtes.

La bioéconomie a le mérite d'être plus claire. Elle porte l'ambition de donner des limites nettes, basées sur la thermodynamique. L'usage des ressources fossiles et le gaspillage énergétique offrent une boussole intéressante pour distinguer ce avec quoi l'on compose de ce à quoi l'on s'oppose fermement et sur lequel on n'est pas prêt à négocier.

2.3.1. **Le cadre pragmatique réinterroge ma position par rapport à la bioéconomie**

Comment se positionner par rapport à la bioéconomie institutionnelle ?

La question du pragmatisme, et notamment de la valorisation du pluralisme me pousse à me réinterroger quant à mon positionnement par rapport à la bioéconomie.

[84] Voir la tribune du monde du 20 février 2020 : L'appel de 1000 scientifiques : « Face à la crise écologique, la rébellion est nécessaire »

Franck-Dominique Vivien et al. (2019) identifient trois interprétations différentes de la bioéconomie. Ils décrivent deux programmes bioéconomiques portés largement par les institutions publiques : une bioéconomie qui s'appuie sur la connaissance du vivant et notamment de la génétique, et une autre basée sur l'utilisation des biomasses. Si ces deux formes sont aujourd'hui distinctes, les auteurs avancent qu'elles peuvent être amenées à s'associer pour offrir la perspective d'une croissance continue, dans la poursuite du modèle de développement actuel. La troisième bioéconomie est centrée sur les limites de la biosphère. Il s'agit de celle de Georgescu-Roegen, à laquelle je me réfère dans ma thèse. Alors que les deux premières « bioéconomies » sont dominantes, la bioéconomie de Georgescu-Roegen représente plutôt un contre-projet, qui révèle les faiblesses écologiques des bioéconomies dominantes. Elle est souvent mobilisée pour montrer que les deux autres « bioéconomies » ont tort dans leurs prétentions à être porteuses d'une véritable écologisation.

En posant cette hypothèse, selon laquelle seule la bioéconomie de Georgescu-Roegen est porteuse de durabilité vraie, la question du positionnement est plutôt simple : en tant que défenseurs de la bioéconomie de Georgescu-Roegen, on se place du côté du vrai.

Il est néanmoins possible d'envisager l'hypothèse inverse : et si la bioéconomie institutionnelle tenait ses promesses ? Et si, basée sur des ruptures technologiques et la création de nouvelles filières, elle arrivait réellement à créer la voie d'un monde plus durable, aussi du point de vue énergétique ? On se retrouverait alors dans une position moins confortable : la bioéconomie de Georgescu-Roegen perdrait son statut de contre modèle unique, et devrait cohabiter avec d'autres modèles, qui peuvent aussi prétendre à une écologisation « *forte* ».

Georgescu-Roegen envisageait cette perspective, vue comme l'arrivée d'un « *nouveau Prométhée* », ouvrant une nouvelle ère d'énergies abondantes. Le programme bioéconomique minimal offrait un cadre prudent permettant de faire face à l'éventualité que Prométhée ne se présente pas ou qu'il arrive trop tard. En attendant, il vaut mieux s'appuyer sur ce qu'on connaît (l'énergie du soleil par la photosynthèse) et les institutions démocratiques.

Comment se positionner face à une autre voie d'écologisation, qui réussirait à prendre en charge de manière convaincante les enjeux écologiques, mais dans un cadre purement technologique qui nierait le pluralisme des voies d'écologisation ou la multiplicité des valeurs ?

Difficile de savoir ce qu'aurait préféré Georgescu-Roegen. Pour Charbonnier (2020), dont la réflexion porte sur le positionnement des mouvements écologistes contemporains face à un modèle écologique moderne et industriel, notamment porté par la Chine, cette question doit être posée dans des termes géopolitiques. Elle implique d'être capable de négocier et de forger des alliances.

Abandonner le programme bioéconomique minimal au profit d'une multiplicité d'actions situées ?

Cette prise en compte, ne serait-ce que minimale, des enjeux géopolitiques implique de repenser notre positionnement par rapport au programme bioéconomique minimal proposé par Georgescu-Roegen. Dans une perspective pragmatique, l'objectif n'est pas de viser à la

mise en place d'un système de gouvernance mondiale idéal et hypothétique, et dont la mise en place concrète semble aujourd'hui aussi nébuleuse qu'elle pouvait apparaître dans les années 1970. Il s'agit là de chercher des pistes d'action en s'appuyant sur toutes les entités dotées de capacité d'agir et susceptibles de participer à une transition bioéconomique (en incluant bien sûr les Etats et organisations internationales, dans la mesure où ils apportent la preuve de leur crédibilité dans ce rôle).

Une telle démarche implique d'être au clair sur ce à quoi nous tenons. Au-delà de la simple question des limites planétaires, doit-on mettre l'exigence démocratique au même niveau ? Il me semble que cette question gagnerait à être mise en débat, partout dans notre société, et notamment dans nos laboratoires de recherche appliquée sur des questions environnementales.

Chapitre.XIII. Intérêts, limites et perspectives de ma démarche méthodologique

Dans ce chapitre, je discute de la méthodologie suivie en développant l'opérationnalisation des réseaux métaboliques, puis de celle de l'écologie industrielle, et enfin celle des économies de la grandeur.

XIII.1. L'opérationnalisation des réseaux métaboliques : une démarche originale de mise en dialogue

1.1. Une démarche permettant de dépasser un certain nombre de contradictions propres aux analyses métaboliques

1.1.1. Une démarche centrée sur l'analyse de processus

Le modèle fonds-flux : une mise en dialogue symétrique de différentes représentations

La méthodologie développée dans ma thèse consiste en une mise en dialogue des différentes représentations du métabolisme, à l'aide du cadre des réseaux métaboliques (RM). En termes d'outillage conceptuel, ma caractérisation des RM s'appuie sur le modèle fonds/flux. L'un des points théoriques qui me semble fondamental dans ce modèle est l'importance accordée à la description des entités dotées de capacité d'agir, réalisant le processus de manière effective, et non uniquement des entités passives comme les flux ou les stocks.

Cette lecture en termes de fonds et de flux s'appuie sur une intuition assez générale dépassant les questions strictement métaboliques à savoir que dans toute description et dans toute représentation d'un processus, nous sommes amenés à distinguer ce qui est stable et agissant de ce qui est changeant et qui subit une transformation. Si tout change à chaque instant, il s'avère impossible de raconter clairement quoi que ce soit et, à l'inverse, si rien n'est jamais transformé, il n'y a plus rien à raconter, et donc pas de processus à décrire. Dans un certain sens, on peut estimer que le modèle fonds/flux représente une manière commode de simplifier cela.

Alors que le modèle fonds/flux a beaucoup été critiqué pour son manque d'application pratique (Couix, 2020), je propose d'aborder la question à l'envers : je considère qu'on a toujours décrit des entités répondant aux caractéristiques des fonds et des flux, seulement on ne les a jamais appelées comme telles. S'il est vrai que les fonds n'apparaissaient pas dans les matrices d'entrée/sortie ou dans les exercices comptables, les entités stables et agissantes ont toujours été décrites par les économistes, au moins de manière qualitative.

Ainsi, dans la perspective des RM, le modèle fonds/flux n'est pas uniquement une construction théorique qu'il s'agirait de faire « *atterrir* » en inventant de nouvelles représentations du métabolisme, il s'agit aussi d'une manière de relire la réalité des représentations déjà produites. Mon état de l'art constitue ainsi une application concrète de cette idée et j'y caractérise le pluralisme des représentations du métabolisme, au sein du monde académique, en cherchant comment chaque école de pensée décrivait différemment ces fonds et ces flux. Je mène cette idée un peu plus loin dans mon essai d'économie de la grandeur (EG), en montrant que le modèle fonds/flux permet également de caractériser des

représentations produites en dehors du monde académique. J'interprète les discours des agriculteurs au sujet de la gestion des BR en suivant ce même modèle.

Une analyse des processus élargie à l'ensemble des interactions dans le domaine du vivant

Selon Georgescu-Roegen, l'une des étapes essentielles de la production d'une analyse de type fonds/flux consiste à définir les limites du processus étudié et à être capable de se donner une règle qui définira ce qui fait partie du processus analysé comme ce qui restera en dehors. Georgescu-Roegen (1971) est clair là-dessus : les limites des processus n'existent pas a priori, elles doivent être fixées par l'observateur en fonction de son objectif. Un même flux pourra ainsi être décrit dans le cadre de multiples processus, donnant lieu à autant d'analyses différentes.

Georgescu-Roegen a développé le modèle fonds-flux en pensant aux processus économiques et, en particulier, aux processus de production dans un cadre industriel. « *He does not explicitly account for the stocks or the ecological processes […] his flow-fund theory focuses mostly on the internal structure of the economic process and not on the surrounding biosphere »* (Coix, 2020). Or, mes lectures de Latour m'ont convaincu que le problème de l'écologisation dépasse la simple question de la production, englobant également la reproduction, la transformation, de l'engendrement de l'ensemble du vivant qui est en jeu. Il s'agit donc d'élargir le regard et de penser en termes de processus d'engendrement plutôt qu'en termes de processus de production (Latour, 2017)[85].

Cet élargissement fait écho à la proposition de Faber et al. (1995), qui consiste à penser le modèle fonds/flux comme le cadre analytique de toutes les interactions dans le domaine du vivant, et pas seulement de celles strictement économiques. Théoriquement, ils s'appuient sur les travaux de Prigogine, et notamment la notion de « *système dissipatif* », loin de l'équilibre[86] pour montrer que la notion de fonds de Georgescu-Roegen est applicable à l'ensemble du vivant : « *the theory of self organising systems allows us to encompass biological and non-biological structures in the same conceptual model. »* Comme pour les RM, leur objectif est aussi de réussir une mise en dialogue entre différents savoirs : « *How can we bridge the gap between Prigogine and Georgescu-Roegen ? […] [This] will allow us to go directly from the ecological sphere to the economic one, and vice versa. If we succeed in this endeavor, this will enable us to use one language to speak on the problems of both economy and ecology »* (Faber et al., 1995).

Une mise en dialogue des représentations arithmomorphiques et dialectiques

L'une des originalités de la démarche de RM consiste à pouvoir interroger de manière symétrique différents types de représentations, quelles que soient leur forme.

Si Georgescu-Roegen exprime clairement la nécessité de ne pas se limiter à des représentations purement quantitatives et mathématisées (c'est-à-dire arithmomorphiques), au profit d'une diversité de représentations qualitatives (c'est-à-dire dialectiques) son

[85] J'ai introduit cette notion de processus d'engendrement dans le *Chapitre II, page 32.*
[86] Cette notion est présentée plus haut, dans le *Chapitre XIII, page 206*.

argumentation s'appuie largement sur des équations. Il reste, à bien des égards, très arithmomorphique[87], et ne développe pas la possibilité d'analyses dialectiques en tant que tel. Ses héritages les plus visibles, et notablement le MuSIASEM de Giampietro (2004), restent aussi très attachés à la modélisation mathématique.

Ce déséquilibre entre la proposition théorique et son application pratique me semblait une piste intéressante à suivre. Dans le cadre de ma thèse, j'ai cherché à tester cette idée en la poussant dans ses retranchements, via un essai d'économie de la grandeur aux antipodes d'une représentation arithmomorphique, valorisant le pluralisme des valeurs et des représentations. A l'inverse, l'écologie industrielle représentait un autre extrême, simplifiée comme une démarche ingénieuriale, purement quantitative, de bouclage des flux.

1.1.2. **Une démarche qui ne sépare pas la réalité matérielle et les idées, la société et la nature**

Interroger les liens fonds/flux

Une deuxième originalité des RM consiste à éviter d'autres dualismes comme par exemple les dualismes société/nature, matériel/immatériel, humain/non-humain, etc., qui représentent souvent la pierre angulaire de nombre d'études du métabolisme, notamment en écologie territoriale qui « *propose d'approfondir [la] compréhension du métabolisme en intégrant, au-delà des flux de ressources matériels, des flux et des richesses immatériels* » (dir. Buclet, 2015), et qui se traduisent parfois par une opposition entre réalité matérielle métabolique et analyse de systèmes d'acteurs (Debuisson, 2014). Les RM viennent questionner cette opposition car, en leur sein, les acteurs ne sont pas considérés comme extérieurs ou « *en supplément* » du métabolisme.

Des fonds ou des flux qui pourraient être qualifiés indépendamment d'immatériels, deviennent matériels une fois analysés dans le cadre des RM. L'étude des liens fonds/flux fait que tous les fonds sont matériels, dans la mesure où ils exercent une action sur les flux. Cette attention à bien décrire les agents actifs d'un processus (les fonds) de manière intriquée avec les flux et non pas séparément, est d'ailleurs explicitement exprimée par Georgescu-Roegen (1971).

Laisser ouverte la question des fonds : un élargissement conceptuel

L'une des principales conséquences liée à l'usage de ce modèle est d'avoir élargi la notion de fonds par rapport aux facteurs de production industriels qui servent d'exemples dans l'argumentation de Georgescu-Roegen (1971). Selon moi, cet élargissement s'inscrit dans la continuité de la proposition de Georgescu-Roegen. Ce dernier n'ayant jamais donné de liste définitive des fonds, sa démarche consiste justement à apprécier comme agissante des entités qui étaient jusqu'alors « *invisibilisées* » dans les processus économiques, comme par exemple les ressources naturelles, la terre, etc.

Ce discours fait aussi écho à certaines prises de positions de Latour, qui avance l'idée que

[87] Cela s'explique assez facilement pour des raisons d'efficacité argumentative : Georgescu-Roegen s'adresse à des économistes classiques, qu'il voit comme très attachés aux mathématiques et aux références physiques dans leur discipline. En adoptant le même langage, il s'assure d'être pris au sérieux par ses pairs.

les représentations scientifiques contribuent à faire proliférer les entités agissantes. Selon lui, la science consiste justement à découvrir et à décrire les multiples capacités d'agir des êtres vivants, du climat ou des virus. La liste des entités agissantes n'est pas définie ni fermée *a priori* (Latour, 2015).

Je ne suis pas le premier à tenter ce type d'élargissements du modèle fonds-flux. Farrell et Mayumi (2009) définissent des « *méta-fonds »* comme un type particulier de fond, qui se situe en dehors des limites strictes du processus de production. Selon Coix (2020), cette catégorie a été construite de manière à inclure des aspects environnementaux, comme le soleil, les institutions, les habitudes, les traditions.

La distinction entre fonds et méta-fonds s'avère avant tout technique : « *although a meta-fund is materially external to a specified process, it is nonetheless fundamental to the operations of that process. Such meta-funds may be identical with or distinct from funds of flows with which they are associated : i.e the earth's sun (meta-fund) contributes the service of supplying its own radiant energy (flow) to agricultural production processes; human consciousness (meta-fund) contributes the services (funds) of purpose and judgement to industrial manufacture processes »* (Farrell et Mayumi, 2009)

Cette distinction entre fonds et méta-fonds permet à Farrell et Mayumi de maintenir une liste réduite de fonds à l'intérieur du processus, pouvant être décrits de manière arithmomorphique et exclut les fonds qui se prêtent mal à la mise en équation. Dans le cadre des RM, cette distinction n'est pas nécessaire, car l'analyse se fait toujours dans un cadre disciplinaire précis : le modèle fonds-flux en lui-même n'offre aucune théorie explicative du fonctionnement du soleil ou de la conscience humaine, pour reprendre les exemples cités plus haut. S'intéresser à chacun de ces fonds implique nécessairement de faire appel à une discipline spécialisée dans l'étude de chaque fond, l'astrophysique pour le soleil et les neurosciences pour la conscience par exemple. Chaque discipline présente son propre corpus qui permet de penser les liens entre fonds et flux, et sa propre manière d'articuler des raisonnements arithmomorphiques et dialectiques.

Ainsi, dans les RM, tout peut être vu comme fond ou flux, et il n'y a pas d'autres catégories cachées qui se surajoutent au modèle. Le dualisme est certes simplificateur, mais les RM tirent leur force de cette simplicité.

1.1.3. **Une manière d'interroger la valeur des fonds au travers de leurs interdépendances : les liens fonds/fonds**

La question de la finalité des fonds dans la littérature

Les RM mettent les fonds au centre de l'attention et poussent à se réinterroger sur la question de la valeur, ou plutôt de la multiplicité des valeurs. A quels fonds accorde-t-on de la valeur, et pourquoi ? Lesquels souhaite-t-on maintenir ? (Giampietro et al. 2014).

Georgescu-Roegen (1971) répond à cette question de la valeur en utilisant le concept d' « *enjoyment of life* » : la valeur que les humains trouvent dans leur participation à un processus consiste dans la satisfaction qu'ils tirent des produits de ce processus.

Pour Faber, la valeur d'un fond est liée à sa capacité à se maintenir, à se reproduire, ainsi que le service qu'il fournit aux autres fonds. Les auteurs avancent que les fonds fournissent des services multiples, à la fois en termes économiques, mais aussi des services culturels, esthétiques, en fonction des situations dans lesquelles ils se trouvent. Pour Faber et al. (1995), les problèmes écologiques sont liés un manque d'équilibre entre ces différentes finalités. En particulier, les humains, dans leur relation avec le reste de la nature, se gardent bien souvent de fournir un service aux autres entités, et se contentent de maximiser leur propre renouvellement et reproduction.

Les réseaux métaboliques comme étude de l'interaction de fonds multiples : exemple de la biodynamie

La démarche des RM est, sur ce sujet, plus pragmatique et préfère laisser ouverte la question des valeurs accordées aux fonds. La valeur des fonds est considérée comme relationnelle : elle n'existe pas en soi, mais se découvre en interrogeant les liens reliant les fonds entre eux (liens fonds/fonds).

L'interaction entre fonds de nature diverses (écologiques, technologiques, culturels, etc.) devient un véritable objet d'étude. Le lien entre la biodynamie et la fertilité du sol est un exemple parlant : la biodynamie peut être vue comme un fond composé d'un ensemble de croyances, de valeurs et de pratiques. La fertilité du sol peut en agronomie être approchée par de multiples variables : profondeur du sol, taux de matières organiques (MO), pH, présence de vers de terre, etc. L'interaction entre ces deux fonds peut être évaluée de différentes manières. Classiquement, dans une démarche positiviste, on peut chercher à tester les explications théoriques avancées par la littérature biodynamique comme par exemple tester l'effet de la corne de bouse, qui est une préparation biodynamique ritualisée, sur le taux de MO d'une parcelle donnée. La démarche des RM cherchera plutôt à interroger les interactions entre les deux fonds que sont la biodynamie et la fertilité des sols, dans chaque situation concrète. Par exemple, elle s'intéressera aux conséquences pratiques des croyances biodynamiques chez un agriculteur sur le fonctionnement des exploitations agricoles. Les agriculteurs qui se revendiquent comme croyants ou pratiquants la biodynamie ont-ils de meilleurs résultats en ce qui concerne la fertilité du sol ? En quoi certaines croyances ou valeurs contribuent-elles à maintenir des pratiques vertueuses du point de vue de la vie du sol ?

Vue sous cet angle, la biodynamie n'est pas qualifiée d'« *immatérielle* », ni de « *culturelle* »: elle est matérielle dans la mesure où son existence est reliée, par certaines situations, à un autre fond auquel on accorde de l'importance pour des raisons agronomiques, telle que la fertilité du sol.

1.2. **Des difficultés à opérationnaliser les réseaux métaboliques**

1.2.1. **La délicate traduction des représentations multiples dans le modèle fonds/flux et leur mise en dialogue**

L'originalité de la démarche ne vient pas sans défaut : il s'agit avant tout d'une démarche exploratoire, mais aussi simplificatrice. Une étape cruciale et délicate consiste en un travail d'interprétation. J'ai donc été amené, pour chaque type de savoir différent, école ou situation,

à devoir interpréter en suivant mon modèle.

A titre d'exemple, dans l'état de l'art établi au sein de mon travail bibliographique, il n'a pas toujours été évident d'identifier lorsqu'un chercheur parle de « fonds » ou bien de « stocks » : parfois celui-ci peut, au sein d'un article, décrire les mêmes entités tantôt comme « stocks » et tantôt comme « fonds ». Cette même difficulté s'est présentée dans l'analyse du discours des agriculteurs dont j'ai recueilli les témoignages lors de mon travail de terrain, à savoir que les verbatim s'avèrent souvent insuffisants pour répondre parfaitement à l'exigence de chacune des définitions et propriétés des flux et fonds. Cette complexité traduit également une nécessité de limites de cadre, imposés par le caractère versatile des flux et des stocks : en cherchant à tout prix à traduire ces témoignages dans un cadre prédéterminé, il existe un risque de trahir les idées et le sens original des différentes représentations des agriculteurs interrogés.

Une autre complication a consisté au couplage de représentations quantitatives et qualitatives du métabolisme dans l'étape de mise en dialogue des deux écoles de pensée. De fait, la difficulté à coupler des analyses quantitatives et qualitatives est un problème récurrent dans le cadre de démarches interdisciplinaires (Lélé & Norgaard, 2005), et, au vu de l'ambition affichée des RM, cela s'avère particulièrement problématique. Car ce ne sont pas uniquement des représentations neutres, apolitiques que je souhaitais mettre en dialogue, mais également les différents objectifs d'écologisation portés par ces représentations. Juxtaposer deux écoles de pensée contradictoires sans prendre en charge leurs contradictions revient en quelque sorte à abandonner tout esprit critique[88].

1.2.2. **Les réseaux métaboliques représentent une démarche compositionniste ouverte à de multiples savoirs**

Les RM sont assez largement influencées, dans leur vision du rapport entre science et action, par le pragmatisme. Le rôle du chercheur étant de chercher à unifier les différentes entités auxquelles il est confronté, en suivant les liens, et en étendant le réseau. Dans la vision latourienne, le rôle du scientifique est d'assembler des entités disparates afin de les aider à former un collectif. Pour Latour, le chercheur ne sait pas à quoi ressemblera le collectif dans l'avenir. Mais il veut que la discussion entre les différentes grandeurs ait été aussi ouverte et explicite que possible, que l'on soit allé au bout de l'exploration des agencements possibles. L'avenir n'est pas joué d'avance, il n'est pas orchestré par l'un des acteurs et le rôle du chercheur est de proposer une lecture du monde centrée sur la recherche de nouvelles manières s'assembler différentes représentations porteuses de différentes revendications (Mermet, 2007).

La possibilité de mettre en discussion d'autres écoles comme par exemple l'agroécologie et l'écologie industrielle

La création de ce collectif, au cœur de la démarche composotionniste, nécessite une clarté

[88] De manière caricaturale, la position définie ici n'est pas sans rappeler la définition de la Doublepensée orwelienne : « *Doublepensée* (en version originale *Doublethink*) est un terme inventé par George Orwell, comme le « *novlangue »*, dans son roman dystopique 1984, indiquant une capacité à accepter simultanément deux points de vue opposés et ainsi mettre en veilleuse tout esprit critique » (Source : Wikipedia).

sur les représentations qui seront prise en charge ou non, et implique donc une prise de position. A ce titre, la démarche des RM prend parti pour l'écologisation et ce faisant, légitime une pluralité de voies d'écologisations contradictoires. Pour illustrer cela, j'ai développé deux écoles, l'écologie industrielle (EI) et l'économie de la grandeur (EG).

Un autre choix d'écoles de pensée aurait pu aussi être fait, et pourrait être l'objet d'un travail ultérieur. La mise en dialogue de l'écologie industrielle et de l'agroécologie m'apparait particulièrement intéressante en ce qui concerne les systèmes agricoles. En effet, des opinions radicalement différentes coexistent au sujet de leur couplage : Pour Miguel Altieri, l'agroécologie est intrinsèquement incompatible avec l'écologie industrielle, chacune visant des objectifs opposés et représentant des acteurs aux intérêts contradictoires (agro-industrie vs. agriculture paysanne) (Giraldo & Rosset, 2018). A l'inverse, d'autres auteurs mettent en avant les couplages intéressants des deux approches, sous la forme d'une nouvelle « *écologie agro-industrielle* » (B. Dumont et al., 2013; Fernandez-Mena et al., 2016). L'agroécologie et l'écologie industrielle peuvent notamment être vues comme des moyens complémentaires pour réduire l'empreinte environnementale des systèmes d'élevage : l'agroécologie, principalement en stimulant les processus naturels pour réduire les intrants, et l'écologie industrielle en « *fermant la boucle* », ce qui tend à réduire la demande de matières premières, diminuer la pollution et permettre d'économiser sur le traitement des déchets (Dumont et al., 2013). Une mise en discussion pratique des deux écoles dans un cas concret semble être une piste de recherche particulièrement intéressante.

Notre ouverture à de multiples représentations est limitée par notre propre positionnement

Néanmoins, cette approche a des limites : on ne peut pas, comme Latour, se mouvoir dans les réseaux en faisant croire que l'on est aussi à l'aise à suivre des réseaux métaboliques à l'échelle infra-cellulaire qu'à suivre le cours d'un fleuve ou d'une négociation internationale. Les compétences, l'expérience, la pratique, font que nous sommes chacun situés, et aptes à explorer seulement des petites parties du monde qui nous entoure. Nous sommes nous-même attachés à certaines choses au détriment d'autres, tout simplement.

XIII.2. **L'opérationnalisation de l'écologie industrielle : l'ancrage d'un idéal modernisateur dans une situation concrète**

2.1. **Des difficultés à opérationnaliser le programme de l'écologie industrielle**

En termes opérationnels, l'EI vise à développer des méthodes génériques de quantification du métabolisme, tout en cherchant à être utile, en proposant des représentations pertinentes localement pour transformer le métabolisme. Deux objectifs qui se révèlent difficiles à opérationnaliser et entrent parfois en contradiction dans la pratique.

2.1.1. **La recherche de méthodes génériques et reproductibles pour produire des représentations**

La difficulté de l'accès aux données génériques

Dans ma thèse, l'essai d'EI a nécessité un travail important de quantification de flux de BR entre acteurs économiques. Cette quantification s'est d'abord appuyée sur des données génériques, libres d'accès, récoltées notamment dans le cadre du projet BOAT. L'un des objectifs du projet étant en effet de proposer un état des lieux des bases de données accessibles, et de proposer une méthode générique et reproductible pour générer des représentations du métabolisme d'un territoire.

L'accès aux bases de données s'est révélé être un enjeu central du projet BOAT (Grillot et al., 2021). Des bases comme la BDNI (Base de Données Nationale d'Identification) ou MesParcelles se sont révélées difficiles à récupérer, notamment en raison de coûts, de règles de confidentialité des données et de procédures administratives. Ceci m'a incidemment poussé, dans ma thèse, à rechercher des données plus situées, non génériques ou libres d'accès, au travers d'entretiens[89].

Des sources d'informations multiples, des données divergentes

La difficulté que j'ai rencontrée à récupérer des données s'avère liée à la multiplicité des sources d'informations. J'ai fait le constat qu'aucune source exhaustive n'existe actuellement concernant les BR. Quantifier le métabolisme des BR avec des données existantes implique souvent de s'appuyer sur des données qui ont été récoltées dans un objectif tout à fait différent comme par exemple de déduire des quantités d'effluents à partir d'un nombre d'animaux ou de bâtiments, en utilisant des proxies. Agréger des résultats concernant des BR différentes représente une difficulté supplémentaire à savoir que les données s'avèrent parfois incompatibles entre elles puisqu'elles peuvent concerner des échelles ou des indicateurs différents.

La méthode effective de quantification des flux de BR et des représentations du métabolisme s'éloigne de l'idéal d'une méthode générique. Si les bases de données nationales ont été utiles, les calculs et la représentation – même basique et simplifiée- n'auraient pas été réalisables sans données locales, récoltées par des agents locaux telles que celles du Syndicat Caprin ou encore celles de la CUMA Terre Avenir, qui ne peuvent pas être

[89] Dans le cadre du projet BOAT, cette étape est décrite comme la « consolidation » du métabolisme (Grillot et al., 2021).

généralisées et reproduites de manière standardisée pour un autre territoire.

Il fut également nécessaire d'adapter la méthode en fonction des BR étudiées, je n'ai ainsi pas suivi la même méthode pour évaluer les fumiers de bovins, de caprins ou de volailles. En effet les unités mobilisées sont à chaque fois différentes (des UGB pour les ruminants, des m^2 de bâtiments pour les volailles). Plus généralement, ces multiples difficultés techniques nous rappellent que la représentation du métabolisme n'existe pas indépendamment des données et outils (bases de données, références techniques, proxies multiples), qui permettent de la réaliser.

2.1.2. **Proposer des représentations pertinentes localement pour agir sur le métabolisme**

Des données génériques et des simplifications dans la réalisation des calculs

Ma démarche d''EI cherche à proposer des représentations du métabolisme qui soient pertinentes pour agir localement sur ce métabolisme. Or, la pertinence des représentations que j'ai produites est limitée par des simplifications, et le remplacement de données locales par des références moyennes. Des données manquantes ont été calculées par des proxies, au prix d'hypothèses parfois assez fortes, comme par exemple, dans le calcul des apports d'azote, seule une distinction grossière entre types de cultures a été prise en compte, les rotations et les reliquats d'azote ont été négligés et des données génériques telles que des indicateurs de production d'effluents par animaux à l'échelle française ont été utilisées, lorsque les données n'étaient pas disponible localement.

Ces multiples simplifications interrogent la pertinence des représentations du métabolisme de l'EI pour les acteurs locaux car elles contribuent à éloigner les représentations de l'EI produites dans un cadre académique, de la réalité vécue par les acteurs et notamment, dans mon cas, des agriculteurs et des collectivités. C'est ce que mes entretiens individuels, et mes analyses dans le cadre de l'essai d'EG ont montré, à savoir que, dans leurs pratiques, les agriculteurs s'intéressent toujours à des BR particulières et prennent en compte de multiples critères, ne basant pas leurs décisions uniquement sur des indicateurs génériques tels que le tonnage ou la quantité d'azote mais en considérant des valeurs multiples.

L'utilité des représentations du métabolisme comme base de discussion : une question ouverte

La question se pose de savoir à quel moment la représentation s'éloigne trop des faits réels pour avoir encore de la valeur ? Pragmatiquement parlant, la valeur des représentations est à la mesure de la satisfaction qu'elles nous procurent dans l'expérience (James, 1907).

En tant que scientifique, celle-ci dépend évidemment de la proximité de la représentation aux faits, de leurs capacités à refléter mon expérience de terrain. Mais elle dépend aussi, et c'est particulièrement vrai en EI, de leur utilité pour l'action. L'EI vise à relier des entreprises préalablement séparées, pour les faire former des symbioses industrielles. Les représentations du métabolisme ne visent pas tant l'exhaustivité, que l'utilité. Elles visent à fournir un cadre commun, minimal, permettant d'enclencher la discussion entre des acteurs

différents sur un même territoire (Grillot et al., 2021). Les représentations du métabolisme définissent la première étape de cette symbiose, en fournissant un socle commun autour duquel différents acteurs puissent se réunir. Cette valeur pragmatique est difficile à prévoir, c'est la réalité du dialogue ou la matérialisation d'un projet de symbiose industrielle qui justifie, *a posteriori*, de la valeur des représentations du métabolisme (Wassenaar, 2018).

La question de l'utilité des représentations du métabolisme est donc toujours une question ouverte, à réinterroger dans chaque cas concret. Dans le cadre du projet BOAT, il s'avère difficile d'évaluer cette utilité pragmatique. Les résultats les plus encourageants ont été obtenus dans le nord de l'Aube, ou des « *focus group* » réussis ont pu être mis en place. Les représentations simples semblent avoir été fructueuses comme objets intermédiaires d'échange, même si très stylisées par rapport à une réalité protéiforme. Il est néanmoins difficile à ce stade d'évaluer dans quelle mesure ces échanges aboutiront à une transformation effective du métabolisme[90]. Dans le cadre de la vallée de la Drôme, la démarche du projet BOAT s'est avérée moins opérante, du fait de la multiplicité des projets de recherche sur le territoire et de leur difficile coordination par les acteurs territoriaux. Si les comités de pilotages du projet ont donné lieu à des présentations et des interrogations, celles-ci ne se sont inscrites, pour le moment, dans aucune démarche d'action.

2.2. **Des pistes d'amélioration et des perspectives ouvertes par mon travail**

Ces difficultés, si elles sont inhérentes au contexte situé de mon travail de thèse, parlent aussi d'une tension intrinsèque à l'écologie industrielle. En cherchant à opérationnaliser une démarche d'EI, je me suis rendu compte que les deux aspirations (développement d'une méthode générique et d'un savoir positif d'un côté, et ancrage dans l'action de l'autre) sont parfois en tension.

Ayres (2002) avait bien identifié ces deux facettes, « *positive »* et « *utilitaire* » de l'EI : faire de l'EI, c'est à bien des égards « *courir deux lièvres à la fois* ». Mais Ayres reste optimiste à ce sujet car s'il s'agit d'un problème théorique méritant une attention particulière, il considère toutefois que rien n'empêche d'entretenir une relation vertueuse entre ces deux objectifs. Par cette idée, il esquive le problème avec une pirouette, en indiquant qu'il s'agit là d'une caractéristique propre à toute démarche d'ingénieur, que de chercher à la fois un savoir objectif et utilisable. Le fait que la démarche ingénieuriale ait fait la preuve de son efficacité par le passé, tend à minimiser l'ampleur du problème. La démarche des RM rend plus difficile d'esquiver ainsi la question : la question des liens entre représentation et action est considérée comme un problème en soit, qui doit être intégré dans une perspective pragmatique.

2.2.1. **Favoriser le couplage des données, au prix d'une entorse à l'idéal démocratique ?**

La multiplication des sources de données participe à asseoir l'écologie industrielle comme une science « *positive* », et lui permet de proposer des résultats robustes, tout en valorisant au mieux les données existantes (Ayres, 2002). Mais, comme nous l'avons vu plus haut, le couplage des données représente le nerf de la guerre. La vision idéale d'une méthode

[90] Voir le rapport final du projet BOAT (2020) pour une mise en discussion des perspectives.

générique s'oppose aujourd'hui à la réalité des sources de données, qui sont multiples, incompatibles et accessibles dans des conditions toujours spécifiques. L'une des pistes possibles d'amélioration consisterait donc à favoriser l'accès aux données et le couplage des bases.

C'est d'ailleurs le chemin qui est suivi par la démarche dite de « *réconciliation des données* » (Courtonne et al., 2015), qui interroge les problèmes techniques liés au couplage de bases. En effet, la multiplicité des sources d'information et des modes de récolte des données font que, même lorsque celles-ci peuvent être « *couplées* », leur appariement met souvent en lumière des incompatibilités : tout un travail consiste alors à chercher le moyen de « *réconcilier* » les données en minimisant les erreurs, au moyen d'algorithmes. Une telle démarche permet de proposer des représentations agrégées, sous la forme de diagrammes de Sankey, qui sont prometteurs car efficaces visuellement et faciles à comprendre. Mais ces méthodes complexifient le partage des incertitudes avec les acteurs en dehors de la recherche, et impliquent d'expliciter la couche supplémentaire de traitement subie par les données, pour pouvoir intégrer les résultats dans un débat démocratique.

Une autre piste, plus politique, consiste à se saisir des contraintes juridiques et règlementaires. En effet, au couplage des bases de données et à la disponibilité des données s'opposent des réticences, mais aussi des règlementations puissantes : la confidentialité des données, le secret industriel et commercial, le respect de la vie privée (CNIL). Ces règles, bien que contraignantes, sont souvent considérées comme essentielles dans la préservation de nos institutions démocratiques. Ouvrir la porte au couplage des données est donc loin d'être inconséquent du point de vue politique (Duran-Doz, 2019).

Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que les démarches d'écologie industrielle connaissent un succès certain en Chine, où le pouvoir n'est pas soumis aux mêmes contraintes. Une maîtrise des flux y semble atteignable notamment grâce à l'absence d'état de droit[91], au développement technologique[92], ainsi qu'à l'existence d'un pouvoir central fort[93].

En tant que démarche transdisciplinaire visant à optimiser les flux matériels dans l'économie autour d'intérêts collectifs, l'écologie industrielle (EI) n'est pas si éloignée d'une autre utopie : celle du communisme cybernétique, une démarche associant étroitement chercheurs,

[91] Jusqu'en 2020, la Chine ne disposait pas de loi dédiée à la protection des données personnelles. L'absence de droit contribue à la grande liberté qu'ont les entreprises et les pouvoirs publics, mais aussi les chercheurs, à traiter et coupler les données comme ils le souhaitent. Source : thediplomat.com (décembre 2020).

[92] La 5G est souvent présentée comme « *écologique* » en mobilisant l'argument du bouclage des flux : les objets intelligents et interconnectés favoriseront la connaissance précise des stocks et flux de tous types de produits, en temps réel, permettant de limiter les transports, de favoriser les synergies et limiter les pertes. Un exemple de ce type de discours dans le contexte français : *5G : vers une supply chain plus résiliente ?* Source : orange-business.com (26 novembre 2020).

[93] Pensée dans un état totalitaire et non dans un cadre libéral, l'écologie industrielle peut dans une certaine mesure se passer du besoin d'intéresser les acteurs économiques. L'écologie industrielle peut alors être libérée du fragile argument d'une synergie entre bouclage des flux et intérêts des acteurs économiques individuels.

ingénieurs et gestionnaires, autour de la cybernétique dans l'URSS des années 1960[94].

2.2.2. **Développer l'ancrage et l'action locale, au prix d'une perte de la neutralité scientifique ?**

Il ne s'agit pas pour autant de faire de raccourci. L'écologie industrielle n'est pas réductible à une modélisation cybernétique et à une recherche d'optimisation technique. La question du couplage de l'intégration du projet de l'écologie industrielle dans un contexte social et politique a été l'objet de travaux spécifiques en sciences sociales, montrant ainsi toute la diversité des contextes dans lesquels des démarches – partielles- d'écologie industrielle ont pu voir le jour, dans des contextes capitalistes et libéraux (Boons & Howard-Grenville, 2009).

Concernant la production de représentations du métabolisme, le caractère situé des démarches d'écologie industrielle permet dans de nombreux cas de se passer d'informations génériques et larges pour se focaliser sur un tout petit nombre de matières, dans un contexte local. En fonction des matières concernées, il est souvent possible de réduire le champ de l'étude en posant des hypothèses : Par exemple, concernant les déchets verts, il est rare d'observer des transports de ces matières sur plus de quelques dizaines de kilomètres du fait de leur faible valeur économique. Par ailleurs, il est aussi possible d'obtenir des informations quasi-exhaustives sur un petit périmètre grâce aux enquêtes, mais au prix d'un travail de terrain conséquent (Tedesco et al., 2017).

En termes d'action il a été montré que, dans de nombreuses situations, ce sont des échanges ouverts et basés sur la confiance, associant pouvoirs publics, intérêts privés et expertise scientifique, qui ont permis de développer des symbioses industrielles, toujours locales et spécifiques (Buclet, 2011). Cet ancrage et ces interactions fortes entre différents acteurs méritent toute l'attention dans une démarche située d'écologie industrielle (Maillefert & Robert, 2020).

Et, de ce point de vue, de réelles améliorations peuvent être envisagées. Mon travail de thèse, comme le projet BOAT, aurait profité d'un ancrage plus profond dans le terrain de la vallée de la Drôme. Rétrospectivement, le développement d'une relation de confiance avec les acteurs paraît essentiel et aurait peut-être permis d'obtenir des données plus riches, notamment de Valsoleil (sur leurs ventes) ou de la chambre d'agriculture (avec la base de données MesParcelles).

[94] De nombreux scientifiques soviétiques dans les années 1960 ont participé à des approches cybernétiques et transdisciplinaires. L'objectif était de réussir à faire advenir le communisme grâce à une démarche d'optimisation de l'économie par rapport à des intérêts collectifs, et non des intérêts individuels comme dans le capitalisme. La cybernétique ambitionnait en quelque sorte de remplacer le marché ou le dirigisme bureaucratique par un calcul des prix informatisé en temps réel, calculés pour pousser les managers à adopter des choix en faveur de l'intérêt collectif. Lire à ce sujet l'excellent *Red Plenty* de Francis Spufford (2011) qui raconte la naissance et la mort de ce rêve, brisé par l'inertie du système socialiste, la corruption de la classe dirigeante, mais aussi par le caractère intrinsèquement réductionniste d'une telle approche, et son décalage par rapport aux moyens technologiques de l'époque (notamment en termes de puissance de calcul et de traitement de l'information).

2.2.3. **Vers une EI plus pragmatique ?**

Une telle vision, très « *intégrée* » entre science et action, est l'objet de critiques virulentes dans le monde académique, par certains auteurs en écologie industrielle. Pour Ayres, si l'écologie industrielle est porteuse d'un objectif normatif et accompagne l'action publique et privée, elle doit avant tout rester une science objective « *positive* », centrée sur ses bases biophysiques et ingénieuriales. Le « *comment* » de la transformation du métabolisme devant rester à la marge de la discipline (Ayres & Ayres, 2002).

L'intégration de l'EI et sa lecture dans le cadre des RM, une démarche d'inspiration pragmatique, transforme cet objectif assumé de science positive. Plutôt que de chercher à opposer la recherche de scientificité et la recherche d'opérationnalité ou à considérer que les deux peuvent coexister sans frottements, le pragmatisme donne des outils pour penser la tension existante entre ces deux objectifs.

Cela implique de ne plus considérer la représentation du métabolisme comme une base générique sur laquelle on est amené à débattre, mais de penser les institutions et organismes avec lesquels on négocie, pour obtenir les données au même titre que les acteurs de terrain : des acteurs situés, avec des intérêts, et comme parties prenantes de la démarche. Les données brutes ne sont pas mobilisables en tant que telles, car toujours imbriquées dans des relations sociales. Ce sont ces relations qui m'ont permis d'accéder à certains fichiers : l'ensemble de ces éléments constituent le réseau d'acteurs qu'il s'agit de mobiliser et qui, en retour, transforment activement la nature des résultats produits.

Le métabolisme est ainsi vu comme une représentation co-construite, dépourvue de neutralité : en choisissant de s'appuyer sur certaines bases de données, on hérite de données, certes, mais aussi d'une multitude de choix de représentations portées par les institutions productrices de ces données. C'est donc toujours un choix politique devant être explicité comme tel.

XIII.3. **L'opérationnalisation des économies de la grandeur : un outil au service d'une écologisation terrestre**

3.1. **Des difficultés pratiques à appliquer le modèle des mondes**

3.1.1. **La difficulté à caractériser les mondes à partir de verbatim**

Dans mon application du modèle des mondes, j'ai été confronté à plusieurs difficultés. La première a consisté dans le travail d'interprétation. Il n'a pas toujours été évident de définir les valeurs auxquelles se rapportent les agriculteurs, en se basant sur leurs discours. L'attribution d'un verbatim à tel ou tel monde s'est appuyé aussi bien sur les valeurs invoquées, mais aussi les objets et les sujets qualifiés, ou les épreuves décrites. Néanmoins, il est rare qu'un verbatim apporte de manière univoque tous les éléments de caractérisation.

3.1.2. **La difficulté à s'inscrire dans des contextes de justification**

Une autre difficulté concerne la nature et la qualité des données récoltées. En effet, ma méthodologie mixte impliquait de mener de front deux objectifs contradictoires : récolter des informations quantitatives pour mon essai d'EI, et interroger la justification des pratiques de gestion de BR des agriculteurs.

Dans la théorie des économies de la grandeur, toutes les situations n'amènent pas nécessairement les acteurs à se justifier via des valeurs de références[95]. Fondamentalement, on peut se demander dans quelle mesure, au cours de mes enquêtes, les agriculteurs étaient en situation de justification, et non pas dans des situations de choix stratégiques au sein desquels les acteurs échappent à l'obligation de se référer à des valeurs de références.

Sur ce sujet, mes sources de données sont contrastées. L'observation des comités de pilotage et de l'assemblée générale de l'association Compost' et moi représentent à mon avis d'excellents dispositifs, propices à la justification dans un cadre contradictoire. En contraste, les entretiens individuels fournissent des conditions de justification plus artificielles.

3.2. **Des pistes d'amélioration et des perspectives ouvertes par mon travail**

3.2.1. **Limites du cadre des économies de la grandeur appliqué à mon cas**

L'ouvrage *De la justification* de Boltanski et Thévenot (1991) représente à bien des égards un cadre original, en rupture avec les approches sociologiques traditionnelles (Rougemont, 2017). Le modèle a depuis été l'objet de nombreuses critiques. Il a pu être jugé comme difficile d'accès, trop rigide ou doté d'une axiomatique complexe, et a d'ailleurs connu des évolutions, des interprétations et des usages multiples. Pour certains chercheurs, parmi lesquels je m'inscris, elle représente avant tout un outil. Il est néanmoins intéressant de s'interroger sur un certain nombre d'axiomes de ce modèle, et de discuter de son imbrication dans ma démarche de thèse.

[95] Les autres modes d'engagement sont décrits par Thévenot dans un autre ouvrage, *L'action au pluriel. Sociologie des régimes d'engagement* (2006). L'auteur y développe que la justification ne représente en effet qu'un mode d'engagement parmi d'autres : l'intime, le stratégique, le mutuel, le public, etc.

L'axiome de « commune humanité » : une position à réintégrer dans son contexte

Un des axiomes de base du modèle est celui de la commune humanité. Dans les six cités décrites, tous les hommes sont considérés comme égaux et peuvent tous, en principe, prétendre à la grandeur. Il s'agit là d'un a priori fort de la théorie. C'est aussi un point de vue qui exclut et invisibilise les prises de positions niant la commune humanité (par exemple la cité raciste ou la cité complotiste). Les justifications qui supposent que les hommes sont intrinsèquement et irrémédiablement inégaux échappent au modèle des cités.

Pour Mermet (2007), ce point n'a rien d'universel : il traduit une prise de position des auteurs. Les économies de la grandeur ne sont pas vues de nulle part, mais à partir de « *la cité des droits de l'homme* » qui suppose un respect du pluralisme, et l'inscription dans des valeurs démocratiques. L'attachement des auteurs aux valeurs démocratiques et aux droits de l'homme transparaît dans leur écrit. De mon point de vue, le contexte de publication n'est pas étranger à cette prise de position : *De la justification* a été publié dans le début des années 1990, à un moment très particulier qu'est celui de la chute du communisme, où les valeurs démocratiques occidentales pouvaient être perçues comme universellement partagées.

Ce point ne me semble pas problématique dans le cadre de ma thèse. En effet, les économies de la grandeur représentent avant tout un outil, qui vise à composer les multiples attachements dans la gestion des BR. Je m'inscris ainsi moi-même dans un cadre pluraliste. Le choix du modèle des mondes traduit ainsi dans mon travail, d'un positionnement explicite : le rejet de toute prise en compte de valeurs niant la commune humanité, et incidemment, le refus de composer avec des acteurs qui les portent.

Prendre aux sérieux le discours des acteurs : une prise de position justifiée par mon rapport à l'action

Une autre prise de position des économies de la grandeur qui a été largement critiquée concerne le fait qu'elle prend au sérieux ce que disent les acteurs. Dans ce cadre (comme dans toute approche d'inspiration pragmatique), il est donné une grande valeur au discours. Implicitement, il est considéré que c'est ce qu'expriment les acteurs fonde leurs actions. Cet a priori a été largement critiqué sur le mode du « *tout le monde ment »* : en prenant une position de dévoilement, on peut montrer que les gens ne font que très rarement ce qu'ils disent, et qu'ils font les choses pour des raisons très différentes des arguments qu'ils invoquent en public (ils ont des intérêts cachés, font semblant de porter des valeurs universelles, etc.).

Sans débattre du fond, et de la légitimité des bases théoriques de l'économie des conventions, on peut considérer qu'il s'agit là d'une hypothèse tout à fait raisonnable, d'un point de vue pragmatique : si l'on souhaite justement agir par le discours (ou par des représentations) sur d'autres acteurs, et que l'on souhaite les enjoindre à s'inscrire dans un collectif pour transformer le métabolisme, on est bien obligé de poser l'hypothèse de la performativité des représentations. Car en faisant l'hypothèse inverse, comment imaginer qu'en retour, nos propres représentations puissent être prises au sérieux par les acteurs, à

moins de faire preuve d'un cynisme incompatible avec la valorisation du pluralisme dans un cadre démocratique ?

Une adaptation ou un détournement du cadre de l'économie de la grandeur ?

Si je m'inscris dans la continuité de Boltanski et de Thévenot sur un certain nombre de points, je m'en éloigne aussi fortement sur d'autres. J'utilise les économies de la grandeur avant tout comme un outil pour montrer le pluralisme des attachements au vivant, l'objectif n'étant pas de proposer une contribution scientifique au cadre de l'économie de la grandeur.

Pour pouvoir utiliser le cadre des mondes comme révélateur des multiples attachements terrestres, il m'a fallu prendre une distance avec le cadre initial, tel que défini par Boltanski et Thévenot. Je n'ai pas cherché à importer toute l'axiomatique complexe du modèle des mondes car elle aurait, à mon avis, compliqué outre mesure la présentation du cadre, (en plus de celui des réseaux métaboliques, déjà complexe) sans que ces raffinements n'apportent de réelle valeur ajoutée pour ma question.

3.2.1. L'écologisation représente-t-elle une nouvelle valeur en soi, ou s'inscrit-elle dans la pluralité des valeurs existantes ? L'hypothèse de la « *cité verte* »

La question de l'écologie a figuré parmi les sujets de choix dans l'application des économies de la grandeur, et ceci dès les années 1990. Un des points les plus discutés concerne l'existence d'une « *cité verte* » ou d'une « *cité écologique* ». Est-ce qu'une telle cité existe, et si oui, comment peut-on l'identifier ? Autrement dit, est-ce que le développement de l'attention accordée aux problèmes environnementaux s'appuie sur des valeurs déjà existantes (la recherche d'efficacité (monde industriel), le bien commun (monde civique) etc.,) ou est-ce que l'on observe l'émergence d'une nouvelle valeur de référence, spécifiquement écologique ?

Trente ans après la publication de *De la justification*, aucun consensus ne semble avoir émergé sur le sujet. Il reste toutefois d'actualité, de nouvelles publications continuant à l'aborder régulièrement. Différentes opinions scientifiques ont été exprimées, et je me propose de voir ici en quoi mes résultats nourrissent, ou non, certaines d'entre elles. Je m'appuie pour cela sur les contributions de Lafaye et Thévenot (1993), de Latour (1995), de Godard (2004) et, de manière plus limitée, sur celles de Mermet (2007) et de Rougement (2017).

La question écologique vue comme un compromis particulier des six cités stabilisées

Dans mon application du modèle des cités, j'ai émis l'hypothèse que les considérations écologiques se matérialisent par un compromis entre des valeurs existantes. Mes résultats appuient l'existence de la multiplicité de ces compromis. Des formes un peu plus stabilisées de compromis émergent, dessinant des appropriations contradictoires des considérations écologiques. Deux formes, relativement stabilisées sont identifiés : des fumiers et des pailles qui s'agencent au sein de pratiques d'échange traditionnelles entre agriculteurs (un compromis industriel/domestique), et des produits commerciaux et industriels qui incarnent une certaine idée de la modernité (un compromis industriel/ marchand). Ces compromis stabilisés ne représentent pourtant pas les formes les plus abouties d'écologisation, qui

s'appuient sur de multiples valeurs et qui s'organisent autour des pratiques de compostage.

De part ce choix, je m'inscris dans la continuité de l'essai de Lafaye et Thévenot (1993) selon lesquels les questions écologiques peuvent tout à fait se traduire dans les termes des 6 autres cités, déjà stabilisées[96]. Mes résultats appuient la vision de Godard, selon laquelle les nouvelles cités se développent à partir d'autres, plus anciennes : les valeurs évoluent, elles ne sont pas des innovations pures, qui émergeraient à partir de rien.

Les limites du modèle des six cités pour penser l'écologisation

Certaines dimensions de l'écologie s'avèrent néanmoins dépasser des six cités, poussant Lafaye et Thévenot à explorer l'hypothèse d'une cité verte. Ils avancent que la cité écologique dépasse non seulement du cadre de chacune des six cités, mais qu'elle dépasse du cadre du modèle des mondes, dans sa totalité.

En effet, plusieurs éléments du discours écologique débordent de l'axiomatique développée par Boltanski et Thévenot : la prise en compte des générations futures déborde de la commune humanité, telle qu'elle est habituellement acceptée. Les justifications écologistes se réfèrent aux générations à venir, convoquant des voix qui ne peuvent s'engager dans une « épreuve » (Rougement, 2017). De plus, l'écologie implique d'intégrer les êtres non-humains au collectif, en interrogeant leur grandeur dans des termes comparables à celle des humains. « *L'invocation de la nature conduit à un élargissement de la liste des êtres impliqués dans l'interrogation sur le juste »* (Lafaye et Thévenot, 1993)

La possibilité d'une cité verte d'inspiration pragmatique, mais qui se dérobe au modèle de Boltanski et Thévenot

Pour Latour (1995), la cité verte questionne les certitudes sur ce que compose l'homme :

« Que serait un homme sans éléphant, sans plante, sans lion, sans céréale, sans océan, sans ozone et sans plancton, un homme seul […]. Moins qu'un homme. Certainement pas un homme. La cité de l'écologie ne dit pas du tout qu'il faut passer de l'humain à la nature ; c'est pourquoi on a mis si longtemps à la trouver, car cette exigence paraissait trop absurde. La cité de l'écologie dit simplement que nous ne savons pas ce qui fait la commune humanité de l'homme » (Latour, 1995).

Pour Latour (1995)., on ne peut jamais complètement définir et délimiter ces autres êtres dont on dépend. C'est là que réside la spécificité de la cité verte : le discours écologiste[97] a

[96] D'autres auteurs ont aussi approfondi cette approche : Godard (2004) développe ce point en avançant que chaque cité a sa propre vision de la nature. Si la cité écologique émerge, elle le fait en stabilisant un compromis entre des cités existantes. Godard avance l'hypothèse que ce compromis écologique peut émerger autour de la notion de patrimoine naturel, qui s'ancre aussi bien dans le monde domestique (le patrimoine familial), dans le monde civique (le patrimoine collectif), et qu'il trouve des accointances avec la valeur marchande (le patrimoine fiduciaire), ainsi que la valeur industrielle.

[97] Pour Latour (1995), la question de la cité verte est avant tout une réflexion politique et pratique : comment se fait-il que les écologistes ne réussissent pas à représenter une force politique majeure, alors qu'ils se proposent de défendre un bien commun universel, la Nature, qui nous concerne tous ? De son analyse il ressort que, si le discours écologiste n'est pas convaincant, c'est parce qu'il défend une Nature holiste, globale, beaucoup trop détachée de l'expérience du

comme particularité de réinterroger en permanence ce à quoi l'on tient et ce dont on dépend. Il refuse de penser séparément les moyens et les fins : dans la cité verte de Latour, pour être grand, les autres humains et non-humains ne doivent à aucun moment être considérés comme de simples moyens pour arriver à ses fins. Elle implique de sortir d'une vision utilitariste, en maintenant une incertitude sur ce dont on dépend. Dans cette cité, est petit celui qui est convaincu qu'il peut se considérer comme détaché d'autres êtres.

La proposition de Latour a été accueillie de manière contrastée et il semblerait que cette piste, si elle ouvre des perspectives stimulantes, ne corresponde pas véritablement à l'axiomatique d'une cité, telle que l'entendent Boltanski et Thévenot, et qu'elle déborde effectivement du modèle initial[98] (Rougement, 2017).

Les réseaux métaboliques sont vus à partir de la cité verte de Latour

Si la « cité verte » n'apparaît pas en tant que telle dans mon essai d'économies de la grandeur, les réseaux métaboliques sont vus à partir de la cité verte de Latour, qui questionne la solidarité des fins et des moyens (Latour, 1995).

Les RM opérationnalisent la vision de Latour, d'une écologisation vue comme une prise en compte du vivant au-delà des oppositions nature/culture, au-delà de l'utilitarisme : « *Pister les terrestres, c'est ajouter des conflits d'interprétation à propos de ce que sont, veulent, désirent ou peuvent tel ou tel agissant à ce que sont, veulent, désirent ou peuvent d'autres agissants ? – et cela vaut pour les ouvriers autant que pour les oiseaux du ciel, pour les golden-boys autant que pour les bactéries du sol pour les forêts autant que pour les animaux. Que voulez-vous ? De quoi êtes-vous capables ? Avec qui êtes-vous prêts à cohabiter ? Qui peut vous menacer ? On évite aussi l'écueil de croire qu'il serait possible de vivre en sympathie, en harmonie, avec les agents dits « naturels ». On ne quête pas l'accord de tous ces agents superposés, mais on apprend à dépendre d'eux. Nulle réduction. Nulle harmonie. »* (Latour, 2017)

Plutôt que de s'appuyer sur une cité verte avec un principe supérieur commun, les RM reflètent une écologie compositionniste, qui se refuse à chercher un principe supérieur commun, unificateur, qu'il s'agisse de la Nature (Mermet, 2007)[99] ou de l'harmonie

---

commun des mortels, et surtout, que la vision théorique de la Nature, portée par le discours écologiste, entre en contradiction avec la réalité des pratiques militantes. Pour retrouver une cité écologique, Latour adopte une démarche pragmatique, en s'intéressant à la manière dont les militants écologistes réussissent à faire avancer leurs idées concrètement, et à faire exister leur projet politique. Or, les pratiques des écologistes s'avèrent très différentes d'une invocation générale et fumeuse de la Nature à protéger : là où les écologistes sont efficaces, c'est lorsqu'ils défendent des entités précises (tel cours d'eau, telle pratique, tel résultat scientifique etc.) qui remettent en cause les certitudes passées.

[98] Il s'avère impossible d'identifier des compromis, ou de déterminer dans quelle situation réelle un acteur serait amené à se justifier comme le décrit Latour (Dans son argumentation, Latour ne prend pas le discours des écologistes au sérieux). Mermet (2007) exprime à ce sujet une opinion lapidaire : la cité verte de Latour n'est ni une cité, ni écologique.

[99] Mermet (2007) propose une vision de la cité verte qui s'appuie sur la notion de Nature. La valeur de référence, c'est le respect de la Nature : est grand le militant écologique, ou celui qui défend la nature, est petit le pollueur, le viandard, « *celui qui ne reconnaît pas la nature* ». Sa mise à

(Rougement, 2017)[100] ce qui entre en contradiction avec la vision thermodynamique de la vie, telle que développée par Prigogine et Stengers (1979). La perspective de l'écologisation Terrestres me permet d'éviter de considérer que les relations entre l'homme et le reste du vivant ne sont désirables que si elles s'exercent sur le mode de l'harmonie (Rougement, 2017).

l'épreuve s'exprime dans des conflits d'environnements. Cette cité est décrite de manière convaincante par des exemples théoriques qui illustrent les situations de critiques et d'alliances avec les autres cités. Elle souffre néanmoins d'une absence d'enquête de terrain spécifique pour l'appuyer, ni ne présente de cadre philosophique solide, comme c'est le cas pour les six autres cités.

[100] Rougement (2017) cherche aussi à définir une cité verte, qui serait véritablement compatible avec l'axiomatique de Boltanski et Thévenot, en dépassant les limites de la proposition de Mermet. Elle s'appuie notamment sur le principe de responsabilité de Hans Jonas pour proposer un dépassement de l'opposition apparente entre la communauté humaine et les générations futures, et entre les humains et leur environnement. Sa cité verte est basée sur la réciprocité entre l'homme et la nature, où la relation naturelle est le respect. Le principe supérieur commun est l'harmonie. L'état de « *grand* » est un état d'harmonie des êtres avec la totalité, le rapport équilibré entre les différentes parties d'un tout. Rougement identifie des traces de cette cité chez les Kanaks, qu'elle a étudiés, notamment dans les critiques qu'ils adressent au colonialisme. Elle admet néanmoins la faiblesse des traces laissées par cette « *cité perdue* » dans la réalité contemporaine qu'elle a eu l'occasion d'enquêter.

Chapitre.XIV. Les récits sur l'écologisation dans la vallée de la Drôme à l'épreuve des réseaux métaboliques

La vallée de la Drôme est souvent présentée comme un territoire remarquable du point de vue écologique, notamment au travers du projet Biovallée. Ce projet protéiforme représente à la fois un espace géographique et administratif agrégeant plusieurs communautés de communes, une marque commerciale déposée à l'Institut national de la propriété industrielle (INPI), ainsi qu'une association de loi de 1901[101]. La Biovallée est l'objet de nombreux récits, aussi bien dans les champs académique[102], médiatique[103] et institutionnel.

Cette thèse participe à la mise en discussion de ces récits, en interrogeant certains de leurs fondements et en réinscrivant cette réalité métabolique dans une perspective historique. Deux axes sont souvent avancés au sujet de l'écologisation du territoire :

- Le premier axe est celui de la Biovallée en tant que territoire de référence et reproductible. Elle est présentée comme un *« laboratoire* » (Grimault, 2015) amené à devenir un « *territoire reproductible* » [104] qui, de par son expérience, se place comme une référence à l'échelle européenne. Un récit qui est synthétisé par l'expression « *un territoire rural européen de référence en matière de développement durable »*[105] *ou « un écosystème rural précurseur et reproductible »*[106].
- Le deuxième axe est celui de la Biovallée ancrée dans un projet d'écologisation porté par l'agriculture biologique, en opposition à l'agriculture conventionnelle. La « *bio* » transparait dans le nom de la marque « Biovallée », et apparait au premier plan de l'argumentaire du dossier de candidature du GPRA 2009 « *Atteindre 50 % d'agriculteurs et de surfaces en agriculture biologique en 2015 »*. Dans le dossier de candidature du TIGA 2019, l'objectif annoncé est reformulé en termes d'agroécologie : « *Objectif à 2030 : 80% des exploitations en agroécologie »*, mais l'agriculture biologique est conservée parmi les indicateurs de résultats d'action *: « le nombre de conversion des exploitants conventionnels en agriculture biologique »* ainsi que « *l'augmentation de la Surface Agricole Utile en agriculture biologique ».*

[101] L'association est déclarée en 2012, sous le titre d' « association de gestion et de promotion de la marque Biovallée ». Elle a depuis été renommée, et porte en 2020 le titre « association des acteurs de la Biovallée ». Le qualificatif générique « association Biovallée » est couramment utilisé, aussi bien dans les médias que dans les documents institutionnels.

[102] La requête « vallée de la Drôme » sur le moteur de recherche académique « Google Scholar » renvoie 775 articles académiques différents. Pour le mot-clé « Biovallée », 290 articles sont référencés (octobre 2020).

[103] Ecouter par exemple le reportage : « Portrait de la Biovallée, laboratoire du bio en France » dans l'émission *CO2 mon amour* du 20 janvier 2018 sur France Inter.

[104] Voir dossier de candidature TIGA 2019 Biovallée.

[105] C'est ainsi qu'est présentée la Biovallée sur le site de l'association Biovallée (Biovallee.net, consulté en décembre 2020).

[106] Titre du dossier de candidature de Biovallée au TIGA 2019.

XIV.1. **La Biovallée, un territoire de référence et reproductible ?**

La présence des chercheurs est importante dans la vallée de la Drôme, aussi bien dans le cadre de travaux d'enquêtes, que de programmes de recherche-action. Mon travail n'est donc pas venu défricher un « *territoire vierge* », mais plutôt s'inscrire dans un « *territoire de projets* », au sein d'un foisonnement de démarches liant notamment acteurs de la recherche, collectivités et agriculteurs.

La question de l'écologisation et de ses récits fait tout particulièrement l'objet d'un travail conséquent sur le territoire. Elle a notamment été analysée au prisme de trajectoires institutionnelles et collectives vues comme systèmes socio-techniques, composés de régime et de niches (Bui, 2015). Au croisement des discours académiques et institutionnels, en lien avec l'histoire de la gestion durable de l'eau (Girard, 2012) ou de l'agriculture biologique (Madelrieux et al., 2018) la Biovallée a également été l'objet d'une mise en récit, et aura servi de cas d'étude pour la transition écologique par l'innovation locale (De Schutter et al., 2016) ou pour les multiples appartenances et trajectoires individuelles des habitants (Sencébé, 2001).

1.1. **Un territoire hétérogène du point de vue métabolique, contrastant avec l'idée d'un territoire de référence**

L'analyse du métabolisme des BR laisse apparaitre un espace contrasté, loin de l'unité territoriale parfois avancée. Si la Biovallée vise à porter un projet commun d'écologisation, il semblerait que, dans les faits, chaque espace conserve sa propre dynamique : d'une part la basse vallée de la Drôme impliquée dans une démarche de modernisation écologique et portée notamment par l'écologie industrielle, et d'autre part le Diois (CCD) et le pays de Saillans (3CPS), ancrés dans une certaine écologisation terrestre inspirée de l'agroécologie.

1.1.1. **La basse vallée de la Drôme, un territoire ancré dans l'histoire de la modernisation de l'agriculture**

La basse vallée de la Drôme, un territoire historiquement peu écologique du point de vue du bouclage des flux

La vallée (CCVD) présente un métabolisme très contrasté, historiquement peu écologique du point de vue de l'écologie industrielle. En effet, le territoire présente une dépendance à des BR extérieures au territoire, ainsi qu'un excès de matières fertilisantes, qui se manifeste par une pollution à l'azote. Ce métabolisme s'explique par la place qu'occupent les productions industrielles et les grandes cultures dans les systèmes agricoles. En termes d'élevage, les filières avicoles représentent la principale source de BR azotées, devant les filières ovines et caprines qui sont plus souvent valorisées dans l'image du territoire. Les grandes industries agroalimentaires (IAA) du territoire sont les principales pourvoyeuses de BR non-agricoles, au côté des collectivités territoriales.

Cette tendance industrielle s'inscrit dans une continuité historique : la vallée de la Drôme est traditionnellement tournée vers des cultures intensives et présente un tissu industriel. Elle a joué pleinement le jeu de l'industrialisation, en développant la monoculture du pêcher, les cultures semencières ou le maïs irrigué (Bui, 2015).

Un système de production industriel qui laisse peu de place à la prise en charge du vivant au travers d'une diversité de mondes

Le territoire de la CCVD s'avère également peu écologique, du point de vue d'une écologisation terrestre. Les filières industrielles, notamment l'aviculture intégrée et les cultures spécialisées, ne favorisent pas la prise en compte du vivant au travers d'une diversité de valeurs, mais plutôt une vision utilitaire des ressources, portée par des valeurs industrielles et marchandes. Cette démarche modernisatrice semble bien ancrée : au sein de la filière de production de lait de chèvre, l'élevage en bâtiment continue de remplacer l'élevage extensif basé sur du pâturage. On observe le développement d'exploitations présentant des cultures à haute valeur ajoutée (ail, et cultures semencières notamment), ainsi que de l'élevage avicole intégré.

Dans la basse vallée de la Drôme, une démarche de modernisation écologique qui s'appuie sur l'écologie industrielle

L'écologisation dans la basse vallée de la Drôme passe notamment par le déploiement de l'économie circulaire dans une vision d'EI. Le couplage entre filières de grande culture et l'aviculture a historiquement lieu à l'échelle des exploitations, dans le cadre d'exploitations de polyculture-élevage. Il s'est ensuite développé à l'échelle des filières, à la fin des années 2000, la coopérative Valsoleil s'est engagée dans le développement d'un outil industriel de fabrication d'aliments pour animaux, qui s'est matérialisé par la construction des usines UCAB, en 2007, puis de l'usine UCABio en 2013. Ces usines représentent le fer de lance de la circularisation de l'économie locale, en valorisant les céréales collectées par la coopérative à l'échelle régionale auprès d'éleveurs (notamment aviculteurs) locaux. Incidemment, cette dynamique favorise la diversification avec un atelier volaille à des céréaliers en difficulté économique, contribuant à une circulation locale des BR. Cette synergie autour des BR connaît un nouvel élan depuis 2017, notamment au travers du projet Compost' et moi.

Cette voie de développement reste questionnable du point de vue de l'écologie industrielle. Les filières qui connaissent une croissance forte sont aussi celles qui présentent les impacts environnementaux les plus forts : une analyse de cycle de vie[107] (ACV) territoriale, réalisée par Victoire Barillet (2018) dans la vallée de la Drôme a montré que les filières ayant les impacts environnementaux les plus forts sont les grandes cultures, l'aviculture et la production d'ovin viande.

[107] L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode normalisée permet de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement. Elle recense et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associés aux activités humaines. Elle en évalue les impacts potentiels puis interprète les résultats obtenus en fonction de ses objectifs initiaux (Source : Ademe.fr).

1.1.2. **Le Diois et le Pays de Saillans, un territoire présentant des voies d'écologisation diverses qui s'explique par une dynamique sur le temps long**

Un territoire plus vertueux du point de vue du bouclage des flux à l'échelle des exploitations agricoles

Dans le Diois, on observe un certain équilibre entre production et apports de BR. Celui-ci s'exprime principalement à l'échelle des exploitations, plus que dans une démarche de symbiose territoriale. Cette réalité est liée à des pratiques agricoles traditionnelles en termes de gestion de la fertilisation, souvent proches de celles de l'agriculture biologique. Ces pratiques se comprennent dans une lecture historique, sur le temps long. Historiquement, le territoire s'est retrouvé relativement épargné par le développement des pratiques intensives liées à la modernisation agricole présente dans la vallée. Les fortes pentes et l'isolement relatif ont préservé ces territoires des « *excès* » de la modernisation agricole. Les pratiques traditionnelles des agriculteurs sont ainsi restées peu éloignées de l'agriculture biologique. Seule une dépendance modérée aux engrais chimiques les séparait d'une pratique authentiquement biologique : « *les agriculteurs n'ont eu qu'à se mettre au compostage »* (Bui, 2015).

Une multiplicité de valeurs ancrées dans le temps long

Le Diois représente un territoire aux populations et valeurs mêlées. L'hybridation de multiples valeurs, que j'identifie comme structurante de l'écologisation terrestre dans la gestion des BR, entre en résonnance avec l'histoire du territoire du Diois. Selon Sencebé (2001), l'originalité du territoire et sa capacité à « *prendre en charge son destin* » trouvent leur source dans le mélange de populations aux attachements multiples, venues s'y installer au cours de migrations successives. Des habitants ancrés dans le territoire depuis de nombreuses générations, des protestants fuyant les persécutions, des néoruraux arrivés dans les années 70 pour faire leur « *retour à la terre* », forment autant de populations variées qui ont été amenées à cohabiter sur le même territoire et qui intègrent leurs sensibilités religieuses, politiques et sociales dans leurs pratiques agricoles.

Ces multiples valeurs participent d'une prise en compte riche du vivant par les agriculteurs du territoire, que cela soit au travers de démarches comme celles de l'association Nature & Progrès, ou de multiples expériences collectives (collectifs biodynamiques, groupes agroécologiques, etc.,).

Dans le Diois, la poursuite d'une écologisation terrestre et le développement de filières questionnables du point de vue de l'écologie industrielle

Dans de nombreux cas, l'écologisation soutenue dans le cadre de la démarche Biovallée s'appuie sur la poursuite d'une écologisation des pratiques à l'échelle des exploitations agricoles, au travers de la prise en compte de multiples valeurs, au-delà des valeurs industrielles et marchandes (aromathérapie soutenue par le syndicat Caprin, Biodynamie en vigne et PPAM, appui aux pratiques agroécologiques).

La filière PPAM a joué un rôle important dans la structuration de la bio dans le Diois (Duffaud, 2015, Madelrieux et al., 2018). Cette filière connaît aujourd'hui une progression importante, et est régulièrement mise en avant dans la démarche d'écologisation, notamment dans le

GPRA[108] ou dans le TIGA[109]

Pourtant, la filière PPAM, telle qu'elle est développée, s'avère questionnable du point de vue de l'EI : dans de nombreux cas, la production de PPAM s'appuie sur des intrants extérieurs, et notamment sur des engrais organiques du commerce, dans une logique de substitution. Le développement des PPAM prend, dans certaines parties du territoire, la forme d'une monoculture[110]. Plus largement, la filière des PPAM s'inscrit dans des réseaux métaboliques larges, peu reliés au territoire. L'entreprise Herbarom représente un cas éloquent puisqu'elle figure parmi les principaux bénéficiaires financiers du GPRA. Cet acteur majeur des herbes aromatiques dans la Biovallée s'appuie largement sur des productions extérieures au territoire, qui sont reconditionnées dans la Biovallée pour être ensuite destinées à l'export. Sur 1000 tonnes de produits transformés en 2018, 800 tonnes provenaient de l'étranger, et seulement 50 tonnes de producteurs locaux, dans la Biovallée. En ce qui concerne les ventes, 30% sont destinées à l'export [111]. Cette forte dépendance aux marchés internationaux pour les achats comme pour les ventes, contribue à ancrer le Diois dans des filières globalisées, loin de toute vision écologique d'un point de vue métabolique.

1.2. **Un territoire difficilement reproductible, mais qui ouvre des perspectives d'action variées**

1.2.1. **Une écologisation située qui s'inscrit dans le temps long plutôt qu'un territoire reproductible dans une démarche de projet**

L'analyse du métabolisme dresse l'image d'un territoire singulier et hétérogène, ce qui réinterroge le caractère reproductible de son écologisation. Si le Diois est engagé dans une démarche d'écologisation portée par des valeurs multiples, ancrées dans le temps long, et qui présente certaines caractéristiques d'une terrestrialisation, l'engagement de la basse vallée de la Drôme dans une démarche d'écologisation est plus récent et ne concerne qu'un nombre réduit d'acteurs : Il est lié aux engagements d'acteurs industriels et coopératifs (Val Soleil, Royal Bernard, Charles & Alice) (Madelrieux et al., 2018). La démarche Biovallée, portée davantage par la CCVD que par la CCD, permet à la CCVD d'associer son territoire à celui du Diois pour capitaliser sur son image écologique (Bui, 2015).

L'écologisation et ses limites, dans la vallée de la Drôme, s'avèrent être moins le résultat d'un projet concerté et récent, que le produit d'une dynamique sur le temps long, du fait d'un ensemble de facteurs spécifiques et situés. Une telle analyse vient questionner les récits qui présentent le territoire comme un modèle à suivre, qui pourrait être amené à être « *reproduit* » ailleurs sur le territoire national. Ces démarches restent toujours partielles, et critiquables, notamment du point de vue de l'écologie industrielle.

[108] Le Grand Projet Rhône-Alpes (GPRA), un appel à projet de l'ex-région Rhône-Alpes, et dont la Biovallée a été lauréate en 2009, parmi 6 autres territoires.

[109] Au sein de l'axe « agroécologie et bioéconomie », l'un des objectifs à l'horizon 2030 est explicitement de créer des emplois dans la filière PPAM à hauteur de 20% d'augmentation (Dossier de candidature TIGA 2019).

[110] Voir annexe 4 du rapport final du projet BOAT à l'ADEME.

[111] Source : entretien individuel avec Marie(Agri15).

1.2.2. **La reproductibilité de la démarche Biovallée liée à sa dépendance à des ressources extérieures au territoire.**

Une reproductibilité limitée par la dépendance aux subventions publiques ?

La réussite des démarches d'écologisation récentes entreprises dans la Biovallée s'est largement appuyée sur la capacité des acteurs du territoire à mobiliser des ressources extérieures au territoire : financements européens (LEADER), nationaux (TIGA) ou régionaux (GPRA).

Sans ces apports, il y a fort à parier que nombre de coordinations, qui font aujourd'hui l'originalité de la Biovallée, n'auraient pas eu lieu. Dans les faits, à chaque fois que les financements arrivaient à leurs termes, la démarche Biovallée a connu des essoufflements, qui n'ont pu être dépassés qu'à l'aide de nouvelles subventions (Madelrieux et al., 2018).

Le maintien d'un soutien financier important semble être un facteur essentiel à la reproductibilité de la Biovallée dans le temps (à l'échelle de la vallée de la Drôme) ou dans l'espace (ailleurs sur le territoire).

Or la Biovallée représente un territoire rural exceptionnel en termes de financements : dans le GPRA, la Biovallée était le seul territoire lauréat à être 100% rural. L'investissement de l'Etat dans le TIGA Biovallée, à hauteur de 20 millions d'euros, s'il était reproduit à l'échelle française, en proportion du nombre d'habitants, représenterait un investissement de près de 24 milliards d'euros.

Une logique d'appel à projets qui pousse à annoncer une certaine reproductibilité

Le fait que le territoire se présente comme reproductible peut être vu, dans une certaine mesure, comme le fruit de la logique d'appel à projets. En effet, les collectivités locales sont l'objet de pressions de plus en plus fortes de la part de l'Etat sur la prise d'engagements forts en termes d'environnement. Cette pression s'exerce notamment au travers des appels à projets. Les territoires sont soumis à une forte concurrence pour obtenir des financements, et sont poussés à prendre en charge des dossiers incombant légalement aux échelons supérieurs tels que l'agriculture ou l'énergie. On peut se demander dans quelle mesure cette pression des financements les incite à annoncer toujours plus, au-delà de leur réelle capacité d'action. Cette course en avant est particulièrement visible dans la vallée de la Drôme où des collectivités, dans le cadre du GPRA Biovallée, ont avancé un taux de 50% des surfaces en agriculture biologique à l'horizon de cinq ans sans proposer de plan d'action à la hauteur de l'ambition.

XIV.2. **Un projet d'écologisation radical porté par l'agriculture biologique en opposition à un modèle conventionnel et modernisateur ?**

A l'échelle de la Biovallée, le développement de l'agriculture biologique est une réalité tangible. Il s'agit d'un des territoires qui présente la plus forte proportion de productions biologiques, mais aussi de celui où ce taux connait la plus forte croissance.

Cette présence exceptionnelle de l'agriculture biologique participe à l'image de la Biovallée, qui est parfois présentés comme porteuse d'un récit d'écologisation radicale (De Schutter, 2016) ou comme un « *village d'irréductibles drômois* », en lutte face à un modèle dominant de l'agriculture conventionnelle, comme l'illustre humoristiquement la Figure 22.

Figure 22 - Représentation de presse Source: Caro, 2015 lesmoutonsenrages.fr

L'histoire des démarches institutionnelles du territoire participe à légitimer cette image de radicalité : l'association des acteurs de la Biovallée et la CCVD ont émergé comme des acteurs de l'agriculture en s'opposant à des acteurs institués de la profession agricole, en premier lieu la Chambre d'Agriculture. Pour Rodolphe(expert5), chargé de mission à la chambre d'agriculture, l'agriculture biologique a dès le début occupé une place centrale dans la politique agricole de la CCVD, alors que la Chambre d'Agriculture a pris plus de temps à se saisir de l'enjeu de la bio.

L'analyse des réseaux métaboliques vient nuancer ce discours, en mettant notamment en évidence les liens forts entre agriculture bio et conventionnelle, aussi bien du point de vue des flux de matière que des valeurs, loin de toute radicalité.

2.1. La radicalité de l'agriculture biologique dans la vallée de la Drôme discutée au regard des réseaux métaboliques

2.1.1. Du point de vue de l'écologie industrielle

Une agriculture biologique qui ne se traduit pas nécessairement par des pratiques différentes de gestion de biomasses résiduaires

Du point de vue de l'EI, le développement de l'agriculture biologique ne se traduit pas nécessairement par des transformations métaboliques. Pour certaines filières, comme la filière caprine, aucune différence n'est observée en termes de gestion de BR (durée en bâtiment, taille du cheptel, usage des effluents) entre production biologique et conventionnelle.

L'élevage avicole connaît récemment une forte croissance : on observe l'installation de nouveaux poulaillers en agriculture biologique ou en plein air, sur l'ensemble du territoire. Néanmoins, les pratiques de gestion de BR dans ces bâtiments s'avèrent très proches de celles ayant cours dans la filière conventionnelle. Les nouveaux bâtiments « bio » ne sont pas significativement plus petits en taille que les anciens bâtiments conventionnels. De plus, si certains poulaillers sont installés dans le Diois, d'autres sont construits dans des secteurs de la vallée de la Drôme déjà considérés comme vulnérables à l'azote.

Une agriculture biologique très dépendante de l'agriculture conventionnelle ainsi que de l'extérieur du territoire

L'étude des déséquilibres entre production et consommation révèle que les effluents d'élevages bio sont loin de répondre aux besoins des cultures bio en termes de fertilisation. Ainsi, les productions biologiques du territoire ont largement recours à des intrants issus de l'élevage conventionnel. Cette interdépendance est exacerbée en raison de la place qu'occupe l'agriculture biologique dans la vallée de la Drôme. La production biologique, très présente sur le territoire génère des besoins importants en matière organique, notamment sur grandes cultures et cultures légumières.

L'ensemble des effluents du territoire ne suffisent pas aux seuls besoins des cultures bio. Ainsi, l'agriculture biologique, et en particulier la céréaliculture de plaine ou les cultures à hautes valeurs ajoutées (ail semence, maïs semence), s'appuient largement sur des intrants extérieurs : des engrais organo-minéraux, des fientes importées du nord de l'Europe, des drèches de betteraves importées de l'est de la France.

A partir de 2021, une nouvelle règlementation limite l'usage des effluents issus d'élevages industriels en agriculture bio. Les élevages en système caillebotis ou en cage sont exclus, mais concernant les autres systèmes, les seuils restent très larges : pour ne pas être considéré comme un élevage industriel, il suffira de ne pas dépasser le seuil de 85 000 emplacements pour les poulets ; ou de 60 000 emplacements pour les poules[112]. Etant donnée la taille des bâtiments dans la VDD, l'effet de cette mesure s'annonce plutôt faible localement. Mais on peut s'imaginer que si un jour ces seuils étaient revus à la baisse, cela aurait un impact significatif sur la dépendance de la VDD en BR destinées à la fertilisation.

[112] Voir les conclusions du Comité National de l'AB (CNAB), datant du 30 octobre 2020.

Une remise en cause de l'opposition entre agriculture biologique et conventionnelle

Cette interdépendance interroge plus largement le modèle de l'agriculture biologique (AB) telle qu'elle est définie aujourd'hui, c'est-à-dire comme un modèle d'écologisation. Mes résultats font écho aux travaux de Nesme et al., (2016) qui montrent que les exploitations biologiques ont recours indirectement à la fertilité héritée des engrais de synthèse, notamment par l'importation dans les fermes biologiques de produits élaborés par l'agriculture conventionnelle (sous forme d'engrais ou d'amendements organiques principalement), mais aussi par l'utilisation des éléments minéraux issus d'engrais de synthèse accumulés dans les sols avant la conversion vers l'AB.

Ainsi, la lecture du métabolisme des BR va plutôt contribuer à casser l'opposition traditionnelle entre agriculture biologique et conventionnelle, au profit d'une vision plus nuancée, basée sur les interdépendances et la réalité des échanges biophysiques. Plus largement, ces résultats réinterrogent la dépendance de l'agriculture bio aux énergies fossiles[113].Cette dépendance passe par les BR utilisées en agriculture biologique issues de l'agriculture conventionnelle, mais également de la transformation industrielle, ou encore de plantes fertilisées chimiquement (déchets verts), etc.

2.1.2. **Du point de vue des économies de la grandeur**

Des valeurs industrielles et marchandes qui ne permettent pas de distinguer les bio des conventionnels

Certains agriculteurs que j'ai pu rencontrer remettent aussi en cause l'opposition entre agriculture biologique et conventionnelle sur le plan des valeurs. Dans les critiques portées, l'agriculture biologique serait réduite à un simple produit commercial et à des adaptations techniques minimales, dans une forme de compromis industriel/marchand.

Les critères techniques retenus pour caractériser les engrais organiques bio auraient été pervertis par le développement d'une offre commerciale nouvelle. Pour Laurent(Agri20), il est aujourd'hui possible de trouver des engrais organiques certifiés comme biologiques, qui ne se distinguent que marginalement des engrais chimiques dans leur utilisation. Il serait ainsi possible d'être labellisé bio tout en conservant des pratiques très proches de l'agriculture conventionnelle. Cette « conventionnalisation » de l'agriculture biologique génère des tensions entre deux visions bien différentes des usages acceptables du label AB (Teil, 2012).

Une agriculture biologique définie par ses multiples valeurs

A l'inverse, les spécificités de l'agriculture biologique ne sont pas suffisamment bien caractérisées par le label « AB ». Il est possible d'être labélisé « bio » sans partager les valeurs de « la bio » (Léo(Agri30)). Le compromis industriel et marchand est dénoncé comme ne reflétant pas les « *valeurs de la bio* », qui seraient notamment porteuses d'un projet politique, d'une certaine sensibilité ainsi que d'un ancrage dans une tradition. Toutes ces valeurs seraient négligées dans l'agriculture biologique « *industrielle* », qui serait aujourd'hui dominante, notamment dans la basse vallée de la Drôme.

[113] En raison de ces dépendances, la production agricole est structurellement déficiente en énergie, comme le montrent Harchaoui & Chatzimpiros, (2018) à tel point que ses besoins énergétiques sont presque égaux à la valeur énergétique des matières produites., et ceci bien que les plantes cultivées soient autotrophes (toute leur matière organique est produite à partir d'énergie solaire).

Ces tensions contribuent à une sortie de l'agriculture biologique (Madelrieux & Alavoine-Mornas, 2013). Face aux « *faux bios* », Christian(Agri9) préfère s'éloigner du label AB, soit en mettant fin à la certification, soit en ne la mettant pas en avant, au profit d'autres labels *: « sur le marché, je ne mets jamais que je suis bio, mais Nature & Progrès »*.

A l'inverse du label AB, la charte Nature & Progrès se réfère plus explicitement aux valeurs, en mettant l'accent sur une prise en compte des cycles du vivant, à la santé des hommes et du reste du vivant « *pensé de manière indivisible* ». Les valeurs d'équité et de justice sont aussi avancées : la charte est gérée par une association, la certification se fait de manière collégiale par d'autres agriculteurs et est débattue dans un cadre démocratique, à la différence du label AB.

Un autre exemple souvent cité sur mon terrain est celui de la biodynamie. Vue au prisme du modèle des mondes, ses défenseurs la présentent comme une agriculture à la fois pratique et expérimentale (monde industriel), s'inscrivant dans une démarche spirituelle, l'anthroposophie (monde inspiré) ainsi que dans une certaine tradition, puisant son savoir dans les écrits de Rudolf Steiner, notamment *Le cours aux agriculteurs* (1924), qui fournit une forme de « *bible* » de bonnes pratiques, reproduites à l'identique depuis près d'un siècle (monde domestique).

2.2. **Perspectives de dépassement de l'opposition entre les deux formes de l'agriculture biologique, radicales et conventionnalisées**

L'analyse du métabolisme renvoie la question de l'agriculture biologique aux multiples façons de voir l'écologisation. Des pratiques agricoles peuvent correspondre au label AB européen sans être vertueuses ni du point de vue du bouclage des flux (EI), ni être porteuses de multiples valeurs (EG). Dit autrement, développer l'AB peut se traduire concrètement par une augmentation de la dépendance en matière organique, tout en restant dans un compromis industriel/marchand.

Des formes d'agriculture biologique porteuses d'une écologisation radicale existent dans la vallée de la Drôme. Nombre d'agriculteurs adhèrent par exemple à la démarche Nature & Progrès ou font l'objet d'une certification Demeter, qui proposent des engagements plus forts en matière de circulation des matières organiques ou de valeurs. Ces formes d'agriculture biologique sont minoritaires en nombre, mais sont assez largement soutenues dans le cadre du projet Biovallée, par exemple au travers de l'axe agriculture et bioéconomie du TIGA, qui met en avant l'agroécologie et la biodynamie, parmi les formes d'agriculture à soutenir.

2.2.1. **Des agriculteurs qui ne se retrouvent représentés ni par une agriculture conventionnelle et moderne, ni par une agriculture biologique porteuse d'écologisation radicale**

Néanmoins, mes résultats mettent en avant que cette dichotomie entre d'une part une agriculture biologique moderne et d'autre part une agriculture biologique qui se revendique en pointe en termes d'écologisation, est problématique du point de vue plus large de l'écologisation du territoire.

De nombreux agriculteurs se retrouvent en porte-à-faux vis-à-vis des deux réseaux concurrents. Ils ne sont pas insérés dans les réseaux du modèle « *modernisateur* » : ils peinent à suivre les transformations règlementaires, ne disposent pas de matériel moderne, et de par leurs faibles rendements, surfaces et mécanisation, ils ne représentent pas un enjeu pour les principaux négoces ou coopératives. Par ailleurs, ils ne répondent pas non plus aux exigences pour profiter des financements de la Biovallée : pas toujours en agriculture biologique, et peinant à s'approprier les concepts à la mode (agroécologie, bioéconomie), ils ne sont pas en mesure d'adhérer à des collectifs en pointe dans l'écologisation radicale, comme les groupes biodynamiques ou Nature & Progrès. Ils se sentent isolés des acteurs institutionnels, et ne se sentent représentés par personne, ni par la Biovallée ou les collectivités, ni par les grands acteurs coopératifs et la chambre d'agriculture.

Pourtant, par leurs pratiques, ils contribuent à porter une certaine idée écologique d'un bon métabolisme des BR, fait d'une attention portée aux rythmes des animaux et des cultures, ainsi qu'un soin apporté aux interdépendances entre agriculteurs.

2.2.2. **Plutôt qu'une opposition entre différents modèles, la voie pragmatique d'une communauté de pratiques**

D'une démarche centrée sur une certaine vision de l'agriculture biologique à une démarche plus pragmatique

Si l'association des acteurs de la Biovallée se propose de tenir ensemble les acteurs du territoire autour d'un large compromis de valeurs, cette unification s'avère à bien des égards illusoire car, dans les faits, les acteurs de la Biovallée semblent avoir pris acte de cette difficulté à produire un récit commun, ou un projet fédérateur, notamment autour de l'agriculture biologique (Madelrieux et al., 2018).

L'approche « *top down* », a été décriée comme « détachée » de l'expérience commune des acteurs du territoire, et a été perçue comme « hors-sol » (Lamine & Bui, 2015). Conscients de ces limites, les acteurs de la Biovallée tendent vers une co-production de visions, en laissant une place importante pour les controverses, ainsi qu'à des approches plus pragmatiques autour de projets concrets, comme Compost' et moi.

Au lieu d'élaborer un socle programmatique commun auquel chacun adhèrerait et qui resterait largement illusoire, il s'agit plutôt de mettre en place une communauté qui partage un ensemble de pratiques et d'expériences communes (Lorino, 2020).

Des chemins divers et imprévus peuvent mener à l'écologisation

L'étude du métabolisme des BR invite à élargir les critères de durabilité, et en particulier à ne pas réduire trop rapidement cette question au développement de l'agriculture biologique.

La vallée de la Drôme réunit des acteurs riches d'expériences et de savoirs variés dont l'enjeu est de réussir à les faire se croiser. Les « *controverses de la Biovallée* » organisées au « *Campus Biovallée »*, ou le soutien à « l'*Université de l'Avenir* », offrent des formations et des lieux de rencontres qui sont autant d'occasions susceptibles de permettre ces

croisements de savoirs, même s'ils peinent à réunir autour d'eux la diversité des acteurs du territoire.

Réussir à prendre en compte une plus grande diversité d'acteurs, et pas uniquement les parties prenantes impliquées

L'association « Compost' et moi » représente un exemple concret d'une initiative qui vise à unifier, en mettant autour de la table des acteurs variés (agricoles, économiques et institutionnels), qui dépasse les clivages traditionnels et mérite d'être encouragée. Ce projet n'est néanmoins pas encore abouti et il est difficile, à ce stade, de juger de sa réussite : une véritable recomposition et un réalignement des positions est-il en cours ?

On constate que, malgré la mise en place d'une gouvernance partagée au sein de l'association (un comité de pilotage élargi, une assemblée générale), certains acteurs peinent à être représentés : les agriculteurs non-apporteurs de BR, qui récupèrent du fumier dans des échanges pailles/fumiers risquent de s'en voir privés. Ils peuvent être également exclus du marché du compost proposé par Compost' et moi du fait des prix trop élevés. Ces acteurs qui ont peu d'intérêt direct pour la démarche de compostage collectif, étant peu impliqués, se retrouvent peu représentés dans le projet. Cet exemple pose la question d'une intégration plus large et montre les limites d'une concertation pragmatiquement réduite aux seules parties-prenantes impliquées et, implicitement, l'importance de ne pas négliger une partie des habitants du territoire.

2.2.3. **Vers une écologisation plus radicale : place et rôle des collectivités ?**

Le problème de la légitimité des institutions

Pour les collectivités locales qui ont vocation à représenter tous les habitants, le manque de légitimité aux yeux des agriculteurs représente un enjeu de taille. Mes résultats suggèrent qu'il apparait important de veiller à ne pas générer un sentiment d'injustice, et mon étude des pratiques de compostage de déchets verts a mis en lumière les critiques multiples adressées aux collectivités, concernant notamment leur manque de transparence dans la gestion des déchets verts, l'absence de contrat stable, ou encore une politique commerciale inéquitable contribuant fortement à nourrir une défiance, dans le cadre de la gestion des BR.

Ces sentiments d'injustice limitent la volonté des agriculteurs à collaborer avec la collectivité, que cela soit dans le cadre d'un projet de compostage collectif ou dans la simple récupération de déchets verts. Il apparaît aussi important d'être transparent, notamment sur les données techniques (par exemple en multipliant les tests des composts), et en veillant à éviter que les agriculteurs se retrouvent piégés dans une situation de porte-à-faux vis-à-vis de la règlementation ou de leurs partenaires commerciaux.

Un projet qui soutient aussi bien une petite agriculture biologique minoritaire que de gros réseaux mondialisés très conventionnels

Le projet Biovallée, déployé dans le cadre du GPRA et maintenant du TIGA, révèle une tension entre une agriculture biologique de pointe, en termes d'écologisation, de ce point de vue plutôt radicale, et une agriculture biologique conventionnalisée. Les RM viennent réinterroger la coexistence entre ces multiples modèles agricoles.

La CCVD soutient l'installation de micro-exploitations maraîchères, très visibles sur les marchés. Ces exploitations restent anecdotiques comparées aux exploitations insérées dans des filières longues préexistantes et s'avèrent souvent dépendantes métaboliquement d'élevages conventionnels du voisinage.

En parallèle, le développement de l'agriculture biologique en termes quantitatif s'appuie sur un modèle plus moderniste, et implique en particulier les filières de grandes cultures et de l'élevage avicole, dont le fonctionnement ne permet pas de tendre vers l'autonomie métabolique.

Une marge de progrès possible en termes de radicalité dans les champs des compétences classiques des collectivités et leur mise en relation

Les collectivités de la vallée de la Drôme se sont largement appuyées sur des actions originales pour appuyer leur programme agricole. Par exemple, la CCVD fait partie des rares communautés de communes à avoir un pôle d'animation dédié à l'agriculture, ce qui lui permet d'organiser des formations et un salon agricole. Il semble que des pistes d'action pour une écologisation plus radicale restent à explorer dans le cadre des compétences plus classiques des collectivités.

Les plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUi), la préemption et le contrôle des permis de construire, représentent des outils puissants de régulation du développement des activités économiques. Le développement de bâtiments avicoles, ou de camping, par exemple, n'est ainsi pas une fatalité sur laquelle les collectivités n'auraient aucun moyen d'action. Ces leviers, sensibles politiquement, sont dans les faits très peu utilisés pour réguler l'activité agricole (Levrel, 2020). Dans la VDD, une grande largesse semble ainsi accordée au développement des activités touristiques. Ce qui n'est pas sans créer de tensions entre, d'une part la perpétuation d'une certaine agriculture traditionnelle qui s'appuie largement sur les effluents d'élevage pour sa fertilisation et d'autre part, le développement d'une offre touristique associée à une vision idéalisée de l'agriculture, sans bruits ni odeurs. Prendre en charge cette tension implique de plus de penser deux secteurs traditionnellement discutés de manière séparée : l'agriculture et le tourisme. La prise en charge de cette tension semble aujourd'hui essentielle si l'on souhaite éviter d'accentuer l'usage des engrais commerciaux et valoriser une diversité de formes d'agricultures.

Une écologisation qui dépasse les responsabilités des acteurs locaux

Il apparait néanmoins que nombre de facteurs d'écologisation concernant l'agriculture, échappent à la capacité d'agir des acteurs locaux. Les collectivités n'ont ni les moyens légaux, ni la légitimité démocratique pour entreprendre un nombre important de transformations, qu'il s'agisse du cahier des charges de l'agriculture biologique ou de la règlementation concernant la gestion des déchets industriels ou urbains.

Si ce fait peut être perçu comme un aveu d'impuissance de la part des collectivités il offre, à mon sens, des pistes d'action inexploitées. Il s'agit là de refuser une logique qui tend à rendre le plus petit échelon (le territoire, voire même l'agriculteur) responsable des désordres

environnementaux globaux et d'être confronté à devoir y faire face, à la place des échelons supérieurs. Il y a un véritable enjeu à renvoyer leur responsabilité à chacun des acteurs, et notamment à l'échelle nationale, par laquelle s'exprime la souveraineté de la nation, et qui dispose des pouvoirs exécutifs et législatifs.

Si les collectivités locales n'ont pas à être porteuses de l'écologisation à l'échelle nationale, elles ont néanmoins la responsabilité de ne pas prétendre faire ce qu'elles ne font pas ou ne peuvent pas faire. Est-ce que l'écologisation radicale ça ne serait pas aussi cela : de contribuer à la critique des discours institutionnels qui masquent les réalités métaboliques ?

CONCLUSION

Perspectives pour une écologisation pluraliste

La gestion des biomasses résiduaires recoupe des enjeux multiples (appauvrissement des sols, pollutions, rifts métaboliques, etc.) qui viennent questionner les bases biophysiques de la subsistance des sociétés humaines. Si de nombreux chercheurs appellent à la transformation du métabolisme des BR, et notamment à l'écologisation de leur gestion, les voies d'écologisation sont sujettes à débat. Classiquement, la prise en charge des BR se traduit par le recyclage et l'optimisation de leurs usages. Leurs avatars contemporains, aujourd'hui nommés « bioéconomie » (institutionnelle) ou « économie circulaire », se retrouvent confrontés à des critiques multiples ainsi qu'a des interrogations sur leurs fondements modernisateurs, notamment des tenants d'une écologisation terrestre.

Le pluralisme des voies d'écologisation a représenté un fil directeur tout au long de cette thèse, ce qui m'a amené à explorer différentes facettes de la notion d'écologisation : est-ce valoriser de multiples usages du vivant en promouvant l'optimisation et le recyclage ? S'agit-il de générer le moins de déchets possibles ? La biomasse n'étant alors plus perçue comme un ensemble de ressources « surexploitées » mais comme un stock de matières premières « mal exploitées » (Pahun et al., 2018). Ou est-ce qu'écologiser équivaut à cultiver des attachements avec le reste du vivant, en dépassant une vision purement utilitariste ? Cette interdépendance implique-t-elle de penser ensemble les sciences et le politique, en abandonnant une position d'observateur neutre ? Ou encore, est-ce participer à créer des liens entre des disciplines séparées, reliant ainsi des savoirs biophysiques, écologiques, sociologiques ou philosophiques, en complexifiant notre perception du vivant ? Ces interrogations suivent un même fil : celui d'une écologisation vue comme un problème relationnel, qui questionne nos liens et ce que nous partageons.

Dans ma thèse, j'ai suivi la piste d'une écologisation qui nous réunirait autour d'une certaine vision de la bioéconomie –scientifique cette fois-, au moyen d'un cadre, les réseaux métaboliques. Je me suis appuyé sur le paradigme scientifique bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen, qui représente une pierre angulaire des approches du métabolisme socio-économique, ainsi que sur le pragmatisme du philosophe William James, qui apporte un outillage puissant pour la prise en charge de la question du pluralisme des représentations et de leur lien à l'action.

J'ai ensuite mobilisé ce cadre d'analyse afin de cartographier la diversité des écoles de pensée quant aux modes de représentations du métabolisme, mais aussi quant à leurs conséquences pratiques en termes d'action. J'ai ainsi identifié huit écoles de pensée. Plutôt que d'adopter une approche « *médiane* » comme l'écologie industrielle et territoriale, j'ai fait le choix de développer deux écoles, renvoyant à deux façons contrastées d'appréhender l'écologisation de la gestion des BR, que sont l'écologie industrielle et les économies de la grandeur. A ce titre, j'ai développé deux essais :

- Un essai d'écologie industrielle (EI), au service d'une modernisation écologique, qui

propose une caractérisation et une analyse des flux de matières à l'échelle du territoire, et vise à leur bouclage.

- Un essai d'économies de la grandeur (EG), au service d'une écologisation terrestre, qui s'appuie sur les discours d'agriculteurs, afin de mettre en lumière la multiplicité des valeurs accordées au métabolisme et de cultiver des attachements avec le reste du vivant.

L'analyse par les réseaux métaboliques ont montré que nous sommes tous reliés par les BR : elles relient les villes aux campagnes, les agriculteurs à des industries lointaines ou à des collectivités. Les représentations du métabolisme révèlent l'ampleur, la linéarité, la distance ou bien l'absence de liens entre les différents acteurs du territoire, et indiquent autant de situations problématiques. Elles révèlent aussi les dépendances entre entités d'ordre ou d'échelle différents : institutions, organisations, traditions ou croyances qui s'avèrent jouer un rôle de premier ordre sur la circulation des flux de BR.

Métaboliquement, la réalité nous apparait comme un tissu dense d'interdépendances, souvent ambivalentes, qui mettent à mal les dualismes et les pensées en silos bien établis, notamment les représentations par filières ou celles opposant nature et société. Car si la découverte de ce dont on dépend peut nous déranger ou nous déplaire, la prise de conscience des réseaux métaboliques nous invite à ne pas négliger ces interdépendances. Pour Michel Serres (1989), *« la notion de négligence fait comprendre notre temps* » et décrit le caractère fondamental de notre problème écologique : « *La modernité néglige, absolument parlant. Nous avons, par le contrat social, laissé le lien qui nous rattache au monde, celui qui relie le temps qui passe et coule au temps qu'il fait, celui qui met en relation les sciences humaines et celles de l'univers, le droit et la nature, la politique et la physique, le lien qui adresse notre langue aux choses muettes, passives, obscures, qui en raison de nos excès reprennent voix, présence, activité, lumière. Nous ne pouvons plus le négliger ».*

L'attention aux liens a longtemps été le fait de la religion : *« le mot religion pourrait avoir deux sources ou origines. D'après la première, il signifierait, par un verbe latin : relier. Nous relie-t-elle entre nous, assure-t-elle le lien de ce monde à un autre ? D'après la deuxième, plus probable, non certaine, mais voisine de la précédente, il voudrait dire assembler, recueillir, relever, parcourir ou relire ».* Le religieux est ainsi celui qui prend soin des liens qui le relient aux autres. « *Qui n'a point de religion ne doit pas se dire athée ou mécréant, mais négligent. »* (Serres, 1989). Faute d'une voie d'écologisation unique autour de laquelle nous réunir, nous devons nous appuyer sur tous les moyens possibles pour découvrir et prendre soin de ce dont on dépend, en adoptant une approche pluraliste. L'heure est donc aux bricolages, aux expérimentations.

Dans nos laboratoires, les réseaux métaboliques invitent à chercher du « commun », mais aussi à dresser les multiples perspectives contradictoires d'écologisation, mettant ainsi en avant les positionnements politiques sous-jacents de chacun. Cette démarche des réseaux métaboliques poursuit le chemin de la bioéconomie de Georgescu-Roegen qui représente, peut-être avant tout, un prétexte pour développer un dialogue interdisciplinaire riche et constructif, autour de notions partagées issues de la physique, sans faire l'économie d'une certaine forme de radicalité et d'hétérodoxie.

A l’extérieur des laboratoires, il s’agit de multiplier les descriptions des interdépendances dans un cadre collectif. Cela peut être réalisé, par exemple, via des ateliers participatifs visant à guider l’action publique, mais aussi dans des cadres indépendants des pouvoirs publics, et notamment dans des arènes privées, associatives ou militantes. Multiplier les descriptions du métabolisme, c’est à la fois complexifier les situations en augmentant le nombre d’entités dont il faut tenir compte, mais c’est aussi multiplier les prises qu’on peut avoir sur les problèmes. Chaque nouvelle relation ouvre des nouvelles pistes d’actions aux niveaux techniques, organisationnels ou idéels. L’écologisation n’est pas une voie tout tracée, mais un engagement pour un monde plus relié, dont les liens renvoient à de réels attachements et pas uniquement à une circulation de flux de matière, d’information ou d’agent, un engagement qui ne manquera pas de nous surprendre en chemin.

REFERENCES ET TABLES

Bibliographie

Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, *54*(1), 9‑21. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020

Allain, S., Madelrieux, S., Moraine, M., & Wohlfahrt, J. (2020). *Bioéconomie et territoires : Limites et réorganisation des systèmes agricoles et alimentaires. Note de travail pour le schéma stratégique du département ACT*. https://hal.inrae.fr/hal-02925017

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *74*, 19–31.

Altieri, M. A. (2002). Agroecology : The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *93*, 1–24.

Andrieu, N., Vayssières, J., Corbeels, M., Blanchard, M., Vall, E., & Tittonell, P. (2014). From farm scale synergies to village scale trade-offs : Cereal crop residues use in an agro-pastoral system of the Sudanian zone of Burkina Faso. *Agricultural Systems*. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.012

Arnsperger, C., & Bourg, D. (2016). Vers une économie authentiquement circulaire. *Revue de l'OFCE*, *145*, 91‑125. https://doi.org/10.3917/reof.145.0091

Ayres, R. U., & Ayres, L. (Éds.). (2002). *A handbook of industrial ecology*. Edward Elgar Pub.

Barbier, J.-M., & Goulet, F. (2013). Moins de technique, plus de nature : Pour une heuristique des pratiques d'écologisation de l'agriculture. *Natures Sciences Sociétés*, *21*(2), 200‑210. https://doi.org/10.1051/nss/2013094

Barillet, V. (2018). *Évaluation des impacts environnementaux des productions agricoles de la Biovallée (Drôme, 26) par Analyse de Cycle de Vie (ACV)* (p. 26 + annexes) [Other, Agrocampus Ouest, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes]. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01952318

Barles, S. (2007). Urban metabolism and river systems : An historical perspective—Paris and the Seine, 1790-1970. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(6), 1757‑1769. https://doi.org/10.5194/hess-11-1757-2007

Barles, Sabine. (2015). The main characteristics of urban socio-ecological trajectories : Paris (France) from the 18th to the 20th century. *Ecological Economics*, *118*, 177‑185. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.027

Barles, Sabine, Buclet, N., & 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*, 16‑22. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01353196

Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(25), 6506‑6511. https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115

Bellarby, J., Siciliano, G., Smith, L. E. D., Xin, L., Zhou, J., Liu, K., Jie, L., Meng, F., Inman, A., Rahn, C., Surridge, B., & Haygarth, P. M. (2017). Strategies for sustainable nutrient management : Insights from a mixed natural and social science analysis of Chinese crop production systems. *Environmental Development*, *21*, 52‑65. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.10.008

Benoît, M., Deffontaines, J.-P., & Lardon, S. (2006). *Acteurs et territoires locaux : Vers une géoagronomie de l'amenagement*. Institut national de la recherche agronomique.

Bertrand, E. (2017). La Nouvelle Alliance d'I. Prigogine et I. Stengers (1979) : Mise en récit apologétique de la thermodynamique ou dialogue singulier entre un physicien et une philosophe ? *Revue d'histoire des sciences humaines*, *30*, 173‑204. https://doi.org/10.4000/rhsh.553

Besson, Y., & Bourg, D. (2011). *Les fondateurs de l'agriculture biologique*. SANG TERRE.

Blengini, G. A., & Busto, M. (2009). The life cycle of rice : LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). *Journal of Environmental Management*, *90*(3), 1512‑1522. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.006

Bonaudo, T., Burlamaqui, A., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Magda, D., & Tichit, M. (2014). Agroecological principles for the redesign of integrated crop – livestock systems. *Europe*, *57*, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010

Boons, F., & Howard-Grenville, J. A. (Éds.). (2009). *The social embeddedness of industrial ecology*. Edward Elgar.

Boudes, P. (2017). Changement social et écologie : Où en est la modernisation écologique ? *Socio-logos*, *12*. https://doi.org/10.4000/socio-logos.3142

Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design : Creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, *15*(13), 1337‑1348. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003

Buclet, N. (2011). *Écologie industrielle et territoriale : Stratégies locales pour un développement durable*. Presses universitaires du Septentrion.

Buclet, N. (2015). *Essai d'écologie territoriale : L'exemple d'Aussois en Savoie*. CNRS éditions.

Bui, S. (2015). *Pour une approche territoriale des transitions écologiques. Analyse de la transition vers l'agroécologie dans la Biovallée (1970-2015)* [These de doctorat, Paris, AgroParisTech]. http://www.theses.fr/2015AGPT0078

Burgaud, J. L. (1969). Les eaux résiduaires dans l'industrie laitière. *Le Lait*, *49*(487), 417‑433. https://doi.org/10.1051/lait:196948717

Callon, M. (1990). Techno-economic Networks and Irreversibility. *The Sociological Review*, *38*(1_suppl), 132‑161. https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1990.tb03351.x

Cerf, M. (2016). Les sciences sociales : Leurs concepts et leurs méthodes au service de la production et le partage des savoirs agronomiques. Le point de vue de l'ergonomie. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, *6*(2), 43‑44.

Charbonnier, P. (2020). *Abondance et liberté*. La Découverte.

Clausen, R., Clark, B., & Longo, S. B. (2015). Metabolic Rifts and Restoration : Agricultural Crises and the Potential. *World Review of Political Economy*, *6*(1), 4‑32. https://doi.org/10.13169/worlrevipoliecon.6.1.0004

CNRTL. (2018). *VOIRIE : Définition de VOIRIE*. http://www.cnrtl.fr/definition/voirie

Cohen, A. G. (2017). Des lois agronomiques à l'enquête agroécologique. Esquisse d'une épistémologie de la variation dans les agroécosystèmes. *Tracés. Revue de Sciences humaines*, *33*, 51‑72. https://doi.org/10.4000/traces.6989

Collinson, M. P. (Éd.). (2000). *A history of farming systems research*. Food and Agriculture Organization of the United Nations ; CABI Pub.

Cornu, P. (2014). La recherche agronomique francaise dans la crise de la rationalité des années soixante-dix. *Histoire de la recherche contemporaine*, *Tome III-N. 2*, 154‑166. https://doi.org/10.4000/hrc.822

Costanza, R., Cumberland, J. H., Daly, H., Goodland, R., Norgaard, R. B., Kubiszewski, I., & Franco, C. (2014). *An introduction to ecological economics*. CRC Press.

Courtonne, J.-Y. (2016). *Evaluation environnementale de territoires à travers l'analyse de filières : La comptabilité biophysique pour l'aide à la décision délibérative*. Grenoble Alpes. http://www.theses.fr/2016GREAG004

Courtonne, J.-Y., Alapetite, J., Longaretti, P.-Y., Dupr?, D., & Prados, E. (2015). Downscaling material flow analysis : The case of the cereal supply chain in France. *Ecological Economics*, *118*, 67‑80. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.007

Cusso, X., Garrabou, R., & Tello, E. (2006). Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-1870 : Flows, energy balance and land use. *Ecological Economics*, *58*(1), 49‑65. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.026

Dalgaard, T., Hutchings, N. J., & Porter, J. R. (2003). Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *100*(1), 39‑51. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00152-X

D'Alisa, G., Demaria, F., & Kallis, G. (2014). *Degrowth : A Vocabulary for a New Era*. Routledge.

Darré, J.-P., Mathieu, A., & Lasseur, J. (2007). *Le sens des pratiques : Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*. Institutional de la Recherche Agronomique. http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3399364

Daviron, B. (2020). *Biomasse : Une histoire de richesse et de puissance*. Editions QUAE GIE.

De Schutter, O., Bui, S., Cassiers, I., Dedeurwaerdere, T., Galand, B., Jeanmart, H., Nyssens, M., & Verhaegen, E. (2016). *Construire la transition par l'innovation locale : Le cas de la Vallée de la Drôme.* (UCL-Université Catholique de Louvain). Article UCL-Université Catholique de Louvain. https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:179168

Debuisson, M. (2014). *Les modes d'interaction pour une dynamique territoriale soutenable : Un apport à l'écologie territoriale* [Phdthesis, Université de Technologie de Troyes]. https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01162416

Delbos, C., David, O., Cerf, M., Minas, A., Falgas, C., Gagneur, C.-A., Gilet, D., Laudinot, V., Sigwalt, A., & Waldmeier, E. (2014). Conseil agronomique et réduction des pesticides : Quelles ressources pour affronter ce nouveau challenge professionnel ? *Innovations Agronomiques*, *34*(Mars), 367‑378.

Dempster, B. (2000). *Sympoietic and autopoietic systems : A new distinction for self-organizing systems*. 15.

Descola, P., & Lloyd, J. (2013). *Beyond nature and culture*. The University of Chicago Press.

Deverre, C., & Marie, C. de S. (2008). L'écologisation de la politique agricole européenne. Verdissement ou refondation des systèmes agro-alimentaires. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement - Review of agricultural and environmental studies*, *89*, 83‑104.

Duchesne, S. (2000). *Pratique de l'entretien dit « non-directif »* (p. 9). PUF. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00841927

Duffaud, M.-L. (2015). *L'ancrage territorial par une géographie multilocale : Le cas des entreprises de la filière des plantes à parfum, aromatiques et médicinales dans la vallée de la Drôme* [These de doctorat, Montpellier 3]. https://www.theses.fr/2015MON30020

Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., & Tichit, M. (2013). Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, *7*(06), 1028‑1043. https://doi.org/10.1017/S1751731112002418

Dumont, Bertrand, Dupraz, P., Sabatier, R., Hercule, J., & Donnars, C. (2017). *Une expertise scientifique collective analyse les rôles, impacts et services issus des élevages en Europe*. 16.

Duran-Doz, P. (2019). *L'écologie territoriale de la Vallée de la Drôme. Un agir-pour pour le pouvoir ?* https://www.academia.edu/37721840/L_%C3%A9cologie_territoriale_de_la_Vall%C3%A9e_de_la_Dr%C3%B4me_Un_agir_pour_pour_le_pouvoir_

Erb, K.-H. (2012). How a socio-ecological metabolism approach can help to advance our understanding of changes in land-use intensity. *Ecological Economics*, *76*, 8‑14. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.02.005

Faber, M., Manstetten, R., & Proops, J. L. R. (1995). On the conceptual foundations of ecological economics : A teleological approach. *Ecological Economics*, *12*(1), 41‑54. https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)00022-N

Fernandez-Mena, H., Nesme, T., & 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

Fertilizer manual. (1998). Kluwer Academic Publishers : Sold and distributed by IFDC.

Fischer-Kowalski, M., & Hüttler, W. (1998). Society's Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, *2*(4), 107‑136. https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.4.107

Fischer-Kowalski, M., & Rotmans, J. (2009). Conceptualizing, Observing, and Influencing Social–Ecological Transitions. *Ecology and Society*, *14*(2). https://doi.org/10.5751/ES-02857-140203

Foster, J. B. (2000). *Marx's ecology : Materialism and nature*. Monthly Review Press.

Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., & Poincelot, R. (2003). Agroecology : The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, *22*(3), 99‑118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

Frankova, E. (2017). *Socio-metabolic perspectives on the sustainability of local food systems*. Springer Berlin Heidelberg.

Fressoz, J.-B. (2012). *L'Apocalypse joyeuse. Une histoire du risque technologique*. Le Seuil.

Fressoz, J.-B. (2016). La main invisible a-t-elle le pouce vert ? : Les faux-semblants de "l'écologie industrielle "au xixe siècle. *Techniques & culture*, *65‑66*, 324‑339. https://doi.org/10.4000/tc.8084

Frone, D. F., & Frone, S. (2017). Circular economy in Romania : An industrial synergy in the agri-food sector. *Management Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, *17*(2), 103‑109.

Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, *261*(3), 144‑152. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144

Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1995). Science for the Post Normal Age. In L. Westra & J. Lemons (Éds.), *Perspectives on Ecological Integrity* (p. 146‑161). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0451-7_10

Gabriel, A. W., Madelrieux, S., & Lescoat, P. (2020). A review of socio-economic metabolism representations and their links to action : Cases in agri-food studies. *Ecological Economics*, *178*, 106765. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106765

Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press. https://doi.org/10.4159/harvard.9780674281653

Georgescu-Roegen, N. (1978). De la science économique à la bioéconomie. *Revue d'économie politique*, *88*(3), 337‑382. JSTOR.

Georgescu-Roegen, N., Grinevald, J., & Rens, I. (2011). *La décroissance : Entropie - écologie - économie*. Sang de la Terre.

Giampietro, M. (2004). *Multi-scale integrated analysis of agroecosystems*. CRC Press.

Giampietro, Mario, & Funtowicz, S. O. (2020). From elite folk science to the policy legend of the circular economy. *Environmental Science & Policy*, *109*, 64‑72. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.012

Giampietro, Mario, Mayumi, K., & 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

Giampietro, Mario, Mayumi, K., & Sorman, A. H. (2014). *The metabolic pattern of societies : Where economists fall short*.

Giraldo, O. F., & Rosset, P. M. (2018). Agroecology as a territory in dispute : Between institutionality and social movements. *The Journal of Peasant Studies*, *45*(3), 545‑564. https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1353496

Girard, S. (2012). *La territorialisation de la politique de l'eau est-elle gage d'efficacité environnementale ? Analyse diachronique de dispositifs de gestion des eaux dans la vallée de la Drôme (1970-2011)* (p. 726) [Phdthesis, Thèse de Doctorat de Géographie, ENS de Lyon - Université de Lyon]. https://hal.inrae.fr/tel-02597438

González de Molina, M., & Guzmán Casado, G. (2017). Agroecology and Ecological Intensification. A Discussion from a Metabolic Point of View. *Sustainability*, *9*(1), 86. https://doi.org/10.3390/su9010086

Grillot, M., Ruault, J.-F., Bray, F., Torre, A., & Madelrieux, S. (2019, juin 4). *Caractériser la biomasse d'origine agricole à l'échelle locale*. La Bioéconomie : organisation, innovation, soutenabilité et territoire. https://hal.inrae.fr/hal-02972112

Grillot, M., Ruault, J.-F., Torre, A., Bray, F., & Madelrieux, S. (2021). Le proto-métabolisme : Approche du fonctionnement bioéconomique d'un territoire. *Economie Rurale*, *to be published*.

Grimault, V. (2015). Biovallée, laboratoire du développement durable. *Alternatives Economiques*, *N° 344*(3), 24‑24.

Gu, B., Chang, J., Min, Y., Ge, Y., Zhu, Q., Galloway, J. N., & Peng, C. (2013). The role of industrial nitrogen in the global nitrogen biogeochemical cycle. *Scientific Reports*, *3*, 2579. https://doi.org/10.1038/srep02579

Guggenheim, M., & Potthast, J. (2012). Symmetrical twins : On the relationship between Actor-Network theory and the sociology of critical capacities. *European Journal of Social Theory*, *15*(2), 157‑178. https://doi.org/10.1177/1368431011423601

Gunderson, R. (2011). The Metabolic Rifts of Livestock Agribusiness. *Organization & Environment*, *24*(4), 404‑422. https://doi.org/10.1177/1086026611424764

Guzman, G. I., & Gonzalez De Molina, M. (2015). Energy Efficiency in Agrarian Systems From an Agroecological Perspective. *AGROECOLOGY AND SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS*, *39*(8), 924‑952. https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1053587

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, F., Müller, D. B., & Fischer-Kowalski, M. (2019). Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, *2*(3), 173‑184. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2

Hache, E. (2011). *Ce à quoi nous tenons : Propositions pour une écologie pragmatique*. Les Empêcheurs de penser en rond : La Découverte.

Haraway, D. J., & García, V. (2020). *Vivre avec le trouble*.

Harchaoui, S., & Chatzimpiros, P. (2018). Can Agriculture Balance Its Energy Consumption and Continue to Produce Food? A Framework for Assessing Energy Neutrality Applied to French Agriculture. *Sustainability*, *10*(12), 4624. https://doi.org/10.3390/su10124624

Houot, S., Pons, M. N., Pradel, M., Caillaud, M.-A., Savini, I., & Tibi, A. (2014). *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaires sur les sols à usage agricole et forestiers* (p. 8 p.) [Report]. irstea ; INRA. https://hal.inrae.fr/hal-02600268

Huber, J. (2000). Towards industrial ecology : Sustainable development as a concept of ecological modernization. *Journal of Environmental Policy & Planning*, *2*(4), 269‑285. https://doi.org/10.1080/714038561

Jackson, T., & Clift, R. (1998). Where's the Profit in Industrial Ecology? *Journal of Industrial Ecology*, *2*(1), 3‑5. https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.3

James, W. (1907). *Pragmatism*. Hackett Pub. Co.

Jouan, J. (2020). *Valorisation économique et environnementale des complémentarités culture-élevage à travers la production locale de légumineuses : Approche par modélisation de l'Ouest de la France* [These de doctorat, Rennes, Agrocampus Ouest]. http://www.theses.fr/2020NSARE054

Jouven, M., Puillet, L., Perrot, C., Pomeon, T., Dominguez, J.-P., Bonaudo, T., & Tichit, M. (2019). Quels équilibres végétal/animal en France métropolitaine, aux échelles nationale et « petite région agricole » ? *INRA Productions Animales*, *31*(4), 353‑364. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.4.2374

Kohlheb, N., & Krausmann, F. (2009). Land use change, biomass production and HANPP : The case of Hungary 1961-2005. *Ecological Economics*, *69*(2), 292‑300. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.010

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century.

Ecological Economics, *68*(10), 2696‑2705. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007

Kristensen, D. K., & Kjeldsen, C. (2016). Imagining and doing agro-food futures otherwise : Exploring the Pig City experiment in the foodscape of Denmark. *Journal of Rural Studies*, *43*, 40‑48. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.11.011

Kulak, M., Nemecek, T., Frossard, E., & Gaillard, G. (2016). Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, *112*(4), 2452‑2461. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.002

Lafaye, C., & Thévenot, L. (1993). Une justification écologique ? Conflits dans l'aménagement de la nature. *Revue française de sociologie*, *34*(4), 495‑524. https://doi.org/10.2307/3321928

Larousse, É. (2018). *Définitions : Résidu - Dictionnaire de français Larousse*. https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/r%C3%A9sidu/68607

Latour, B. (1995). Moderniser ou écologiser. A la recherche de la Septième Cité. *Ecologie politique*, 5‑27.

Latour, B. (2015). *Face à Gaïa : Huit conférences sur le nouveau régime climatique*. La Découverte.

Latour, B. (2017). *Où atterrir? Comment s'orienter en politique*. La Découverte.

Le Moigne, J.-L. (2002). Épistémologie de l'interdisciplinarité : La complexité appelle des stratégies de reliance. *conférence donnée à l'Université Européenne d'été, Université de Nantes [en ligne] www. intelligence-complexite. org/fileadmin/docs/0708epistemojlm. pdf*. http://www.mcxapc.org/fileadmin/docs/ateliers/0708epistemojlm.pdf

Leclerc, B. (2001). *Guide des matières organiques*. Institut technique de l'agriculture biologique.

Lélé, S., & Norgaard, R. B. (2005). Practicing Interdisciplinarity. *BioScience*, *55*(11), 967. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0967:PI]2.0.CO;2

Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P. C. de F., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop–livestock systems : Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *190*, 4‑8. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009

Levrel, H. (2020). D'une économie de la biodiversité à une économie de la conservation de la biodiversité. *Fondation pour la recherche sur la biodiversité*, 35.

Levrel, H., & Martinet, V. (2020). Ecological Economists : The Good, The Bad, And The Ugly? *Ecological Economics*, 106694. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106694

Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., & 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

Lorino, P. (2020). *Pragmatisme et étude des organisations*.

Madelrieux, S., Kockmann, F., & Vernier, H. (2018). Histoire du grand projet « Biovallée » à travers celle de l'agriculture biologique et relecture par le design territorial. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, *8*(2), 16.

Madelrieux, Sophie, & Alavoine-Mornas, F. (2013). Withdrawal from organic farming in France. *Agronomy for Sustainable Development*, *33*(3), 457‑468. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0123-8

Madelrieux, Sophie, Buclet, N., Lescoat, P., & Moraine, M. (2017). Caractériser les formes d'interaction entre filières agricoles et territoires : Quelles méthodes ? *Cahiers Agricultures*, *26*(2), 24002. https://doi.org/10.1051/cagri/2017014

Madelrieux, Stéphane, & James, William. (2010). *Le pragmatisme de William James (Presentation)*. "Le Monde : Flammarion.

Madison, M. G. (1997). Potatoes Made of Oil : Eugene and Howard Odum and the Origins and Limits of American Agroecology. *Environment and History*, *3*(2), 209‑238.

Maillefert, M., & Robert, I. (2020). Dossier « L'économie circulaire : Modes de gouvernance et développement territorial » – Nouveaux modèles économiques et construction de la durabilité territoriale. Illustrations à partir d'une analyse de l'action collective. *Natures Sciences Sociétés*. https://doi.org/10.1051/nss/2020031

Malézieux, E., Trébuil, G., & Jaeger, M. (2001). *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*. Cirad. http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3399199

Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Magne, M.-A., Asai, M., Sarthou, J.-P., Duru, M., & Therond, O. (2016). Crop–livestock integration beyond the farm level : A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(3), 53. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0390-x

Martinez-Alier, J., Kallis, G., Veuthey, S., Walter, M., & Temper, L. (2010). Social Metabolism, Ecological Distribution Conflicts, and Valuation Languages. *Ecological Economics*, *70*(2), 153‑158. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.024

Martinez-Alier, J., Munda, G., & O'Neill, J. (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, *26*(3), 277‑286. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00120-1

Marx, K., Engels, F., & Karl. (1867). *Karl Marx, Frederick Engels. Capital, Vol. 3. Volume 37, Volume 37,*. Publisher not identified. http://muse.jhu.edu/books/9781909831476/

Missemer, A. (2013). *Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique*. ENS Editions.

Monsaingeon, B. (2017). *Homo detritus : Critique de la société du déchet*. Éditions du Seuil.

Moore, J. W. (2011). Transcending the metabolic rift : A theory of crises in the capitalist world-ecology. *Journal of Peasant Studies*, *38*(1), 1‑46. https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538579

Moraine, M., Duru, M., & Therond, O. (2017). A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *32*(01), 43‑56. https://doi.org/10.1017/S1742170515000526

Morizot, B., Damasio, A., & Durand, S. (2020). *Manières d'être vivant : Enquêtes sur la vie à travers nous*. Actes Sud.

Mormont, M. (2013). Écologisation : Entre sciences, conventions et pratiques. *Natures Sciences Sociétés*, *21*(2), 159‑160. https://doi.org/10.1051/nss/2013102

Mustin, M. (1987). *Le compost : Gestion de la matière organique*. Techniques & documentation.

Nesme, T., Nowak, B., David, C., & Pellerin, S. (2016). L'Agriculture Biologique peut-elle se développer sans abandonner son principe d'écologie ? Le cas de la gestion des éléments minéraux fertilisants. *Innovations Agronomiques*. https://doi.org/10.15454/1.4721176631543018E12

Nowak, B., Nesme, T., David, C., & Pellerin, S. (2015). Nutrient recycling in organic farming is related to diversity in farm types at the local level. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *204*, 17‑26. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.010

Odum, H. T. (1971). *Environment, Power, and Society* (1st edition). John Wiley & Sons Inc.

Onyas, W. I., McEachern, M. G., & Ryan, A. (2018). Co-constructing sustainability : Agencing sustainable coffee farmers in Uganda. *Journal of Rural Studies*, *61*, 12‑21. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.05.006

Pahun, J., Fouilleux, È., & Daviron, B. (2018). De quoi la bioéconomie est-elle le nom ? Genèse d'un nouveau référentiel d'action publique. *Natures Sciences Sociétés*, *26*(1), 3‑16. https://doi.org/10.1051/nss/2018020

Paillat-Jarousseau, H., Houot, S., Paillat, J.-M., & Saint Macary, H. (2016). *Le recyclage des résidus organiques : Regards sur une pratique agro-écologique*. Editions Quae.

Pauliuk, S., & 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

Peyraud, J.-L., & Celier. (2012). *Les flux d'azote liés aux élevages : Réduire les pertes, rétablir les équilibres*. 528.

Porcher, J., & Schmitt, T. (2012). Dairy Cows : Workers in the Shadows? *Society & Animals*, *20*(1), 39‑60. https://doi.org/10.1163/156853012X614350

Regan, J. T., Marton, S., Barrantes, O., Ruane, E., Hanegraaf, M., Berland, J., Korevaar, H., Pellerin, S., & Nesme, T. (2017). Does the recoupling of dairy and crop production via cooperation between farms generate environmental benefits? A case-study approach in Europe. *European Journal of Agronomy*, *82*, 342‑356. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.005

Rougemont, H. (2017). Un monde à (re)trouver ? Essai en faveur d'une cité verte. *Pensee plurielle*, *n° 45*(2), 31‑46.

Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J. P., Joannon, A., & Gibon, A. (2012). Mixed crop-livestock systems : An economic and environmental-friendly way of farming? *Animal*, *6*(10), 1722–30. https://doi.org/10.1017/S1751731112000675

Schott, C., Puech, T., & Mignolet, C. (2018). *Dynamiques passées des systèmes agricoles en France : Une spécialisation des exploitations et des territoires depuis les années 1970*. 12.

Sebillotte, M., & Papy, F. (2010). Michel Sebillotte, agronome—Penser l'action. *Natures Sciences Sociétés*, *18*(4), 446‑451.

Sencébé, Y. (2001). *Les lieux et les temps de l'appartenance. Mobilités et territoires : Une analyse sociologique du pays diois*. http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:150798

Senthilkumar, K., Nesme, T., Mollier, A., & Pellerin, S. (2012). Regional-scale phosphorus flows and budgets within France : The importance of agricultural production systems.

Nutrient Cycling in Agroecosystems, *92*(2), 145‑159. https://doi.org/10.1007/s10705-011-9478-5

Serrano-Tovar, T., & Giampietro, M. (2014). Multi-scale integrated analysis of rural Laos : Studying metabolic patterns of land uses across different levels and scales. *Land Use Policy*, *36*, 155‑170. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.003

Spash, C. L. (2013). The shallow or the deep ecological economics movement? *Ecological Economics*, *93*, 351‑362. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.05.016

Spufford, F. (2011). *Red plenty*. Faber.

Stengers, I., & Prigogine, I. (1986). *La nouvelle alliance—Métamorphose de la science* ([2e éd.] édition). Folio.

Tedesco, C., Petit, C., Billen, G., Garnier, J., & Personne, E. (2017). Potential for recoupling production and consumption in peri-urban territories : The case-study of the Saclay plateau near Paris, France. *Food Policy*, *69*, 35‑45. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.006

Teil, G. (2012). Le bio s'use-t-il ? Analyse du débat autour de la conventionalisation du label bio. *Économie rurale*, *332*, 102‑118. https://doi.org/10.4000/economierurale.3708

Tella, M., Doelsch, E., Letourmy, P., Chataing, S., Cuoq, F., Bravin, M. N., & Saint Macary, H. (2013). Investigation of potentially toxic heavy metals in different organic wastes used to fertilize market garden crops. *Waste Management*, *33*(1), 184‑192. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.021

Thévenet, C., Dobremez, L., Fleury, P., & Larrere, R. (2006). Insertion de contrats de préservation de la biodiversité dans des exploitations agricoles des Alpes du Nord. *Fourrages*, *188*, 495‑510.

Thévenot, L. (2006). *L'action au pluriel : Sociologie des régimes d'engagement*. Découverte.

Vaarst, M., Escudero, A. G., Chappell, M. J., Brinkley, C., Nijbroek, R., Arraes, N. A. M., Andreasen, L., Gattinger, A., De Almeida, G. F., Bossio, D., & Halberg, N. (2018). Exploring the concept of agroecological food systems in a city-region context.

Agroecology and Sustainable Food Systems, *42*(6), 686‑711. https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1365321

Vivien, F.-D., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R., & Giampietro, M. (2019). The Hijacking of the Bioeconomy. *Ecological Economics*, *159*, 189‑197. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.027

Wassenaar, T. (2015). Reconsidering Industrial Metabolism : From Analogy to Denoting Actuality. *Journal of Industrial Ecology*, *19*(5), 715‑727. https://doi.org/10.1111/jiec.12349

Wassenaar, T. (2018). *Vers une écologie territoriale des résidus organiques*.

Wegerif, M. C. A., & Hebinck, P. (2016). The Symbiotic Food System : An "Alternative' Agri-Food System Already Working at Scale. *Agriculture-Basel*, *6*(3), 40. https://doi.org/10.3390/agriculture6030040

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*(4), 503‑515. https://doi.org/10.1051/agro/2009004

Zabaniotou, A., Rovas, D., Libutti, A., & Monteleone, M. (2015). Boosting circular economy and closing the loop in agriculture : Case study of a small-scale pyrolysis-biochar based system integrated in an olive farm in symbiosis with an olive mill. *Environmental Development*, *14*, 22‑36. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.12.002

Liste des abbreviations

AB	Agriculture Biologique
ACTA	Association de Coordination Technique Agricole
ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ANT	Actor-network theory (théorie de l'acteur-réseau)
AOC	Appellation d'origine contrôlée
BOA	Biomasse d'origine agricole
BOAT	Biomasse d'origine agricole à l'échelle des territoires (Projet Ademe)
BR	Biomasse résiduaire
CA	Chambre d'agriculture
CCCPS (ou 3CPS)	Communauté de communes du Crestois et du Pays de Saillans
CCVD(EB)	Communauté de communes du Val de Drôme (en Biovallée)
CUMA	Coopérative d'utilisation du matériel agricole
DATARA	Données publiques ouvertes en Auvergne-Rhône-Alpes
EA	Exploitation agricole
EG	Economies de la grandeur
EI	Ecologie industrielle
ENS	Ecole Normale Supérieure
ESS	Economie sociale et solidaire
FDSEA	Fédération départementale des syndicats d'exploitations agricoles (section de la plus connue FNSEA à l'échelle nationale)
GPRA	Grand Projet Rhône-Alpes
NPK	Azote, phosphore et potassium : trois éléments chimiques essentiels dans la nutrition des plantes
IAA	Industries agroalimentaires
INPI	Institut national de la propriété industrielle
INRA	Institut national de recherche agronomique (disparu en 2020, fusionné avec l'Irstea pour former l'INRAE)
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (disparu en 2020, fusionné avec l'INRA pour former l'INRAE)
LESSEM	Laboratoire écosystèmes et sociétés en montagne (INRAE Grenoble)

PAC	Politique agricole commune
PAT	Protéines animales transformées
PLUi	Plan local d'urbanisme intercommunal
PPAM	Plantes à parfum, aromatiques et médicinales
RGA	Recensement général agricole
RPG	Registre parcellaire graphique
RM	Réseaux métaboliques
SAT	Système alimentaire territorialisé
SAU	Surface agricole utile
SIDDT	Système d'Information dédié aux territoires
SIG	Système d’information géographique
SYTRAD	Syndicat de traitement Ardèche Drôme
TIGA	Territoire d’innovation à grande ambition
UA	Unité d’Azote
UGA	Université Grenoble Alpes
VDD	Vallée de la Drôme
ZAD	Zone d’Aménagement Différé ou Zone à Défendre

Table des figures

Figure 1 - Schéma du plan de thèse.....14
Figure 2 - Lecture standard des processus (Missemer, 2013) 41
Figure 3 - Lecture bioéconomique des processus (Missemer, 2013).....42
Figure 4 - Lecture bioéconomique des processus en rendant explicite la place du système-Terre 44
Figure 5 - Lecture bioéconomique des processus en rendant explicite la valeur de l'expérience humaine et le système-Terre vu comme un ensemble de fonds 45
Figure 6 - Schéma récapitulatif des dispositions des différentes écoles de pensées en fonction de leurs modes de représentation du métabolisme socio-économique et de leur positionnement sur l'axe modernisation/terrestrialisation.....70
Figure 7 - Relief de la vallée de la Drôme (Données IGN). 83
Figure 8 - Répartition spatiale des trois communautés de commune de la vallée de la Drôme (2019).....84
Figure 9 - Production d'effluents d'élevage en tonne par an, en agriculture conventionnelle et biologique, dans la VDD. 115
Figure 10 - Répartition de la production d'effluents d'élevage sur le territoire, en tonnes par an, à l'échelle des communes de la VDD (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT).....116
Figure 11 – Répartition de la production des résidus des cultures sur le territoire, en tonnes par an (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT). 118
Figure 12 - Répartition de la production de déchets industriels et urbains sur le territoire (Données enquête, représentation SIDDT et Gephi). 121
Figure 13 - Apports en matières fertilisantes en unités d'azote / an, sur la vallée de la Drôme (Données RPG et enquêtes). 122
Figure 14 - Apports de BR sur les cultures bio en tonnes par an par communes, sur la VDD (Données Agence Bio et proxies calculés à partir de données d'enquête, représentation SIDDT). 124
Figure 15 - Comparaison de la production d'effluents d'élevage et des apports sur cultures en unités d'azote, en conventionnel, en bio et au total (Données RA, BDNI, Agence Bio, Calculs personnels). 125
Figure 16 – Ecart entre la production de BR élevage et les apports de biomasses résiduaires pour les cultures (en unités d'azote/an) (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT).....128
Figure 17 - Répartition de la quantité d'effluents produits par SAU en unités d'azote par hectare et par commune (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise, représentation SIDDT). 129
Figure 18 - Représentation des réseaux d'interdépendance entre acteurs économiques en termes de BR, totales, indifférenciées (Données d'enquêtes, représentation Gephi).....134
Figure 19 - Représentation des réseaux d'interdépendance entre acteurs économiques en matière de BR, distingués par types : celles à C/N>25; celles à C/N<25 ainsi que les engrais commerciaux (Données d'enquêtes, représentation Gephi). 135
Figure 20 - Valorisation des déchets industriels et urbains (Données d'enquête, représentation Gephi).....139
Figure 21 - Répartition spatiale des agriculteurs composteurs membres de la CUMA TA (Données CUMA TA, traitements et représentation Gephi). 143
Figure 22 - Représentation de presse Source: Caro, 2015 lesmoutonsenrages.fr 241

Liste des tables

Tableau 1 - Principales définitions du modèle fonds/flux par Georgescu-Roegen et ses commentateurs 43
Tableau 2 - Présentation générale du cadre d'analyse des articles au prisme des réseaux métaboliques.....67
Tableau 3 - Présentation de l'application de l'axe modernisation/ terrestrialisation comme grille d'analyse pour différentier les écoles de pensée.....69
Tableau 4 - Présentation succincte des sources de données préexistantes mobilisées.....88
Tableau 5 - Présentation synthétique des entretiens effectués auprès d'élus et d'acteurs de filières.....89
Tableau 6 - Présentation synthétique de la lecture des deux programmes dans le cadre des réseaux métaboliques, ainsi que leur couplage.....92
Tableau 7 - Proxies utilisés pour calculer une valeur approximative des quantités de paille produites par hectare 93
Tableau 8 - Présentation des sources de données et principaux proxies utilisés pour le calcul des productions d'effluents.....94
Tableau 9 - Proxies utilisés pour le calcul des productions d'effluents d'élevage.....95
Tableau 10 – Exemple de tables de nœuds et de liens 98
Tableau 11 - Caractéristiques principales des 6 mondes décrits par Boltanski et Thévenot dans *De la Justification* (1991) 102
Tableau 12 - Présentation agrégée des principales productions d'effluents d'élevage à l'échelle de la VDD. Calculs personnels à partir de données hétérogènes (Données RA, BDNI, Agence Bio et expertise). 114
Tableau 13 - Production de résidus des cultures à l'échelle de la VDD (Données RPG et expertise). 117
Tableau 14 - Production de déchets industriels et urbains à l'échelle de la VDD. (Données enquêtes, expertise et rapports).....119
Tableau 15 - Apports de BR en tonnage ainsi qu'en unités d'azote par an, par cultures et par surfaces, à l'échelle de la VDD (Données Agence bio 2018, entretiens, calculs BOAT). 123
Tableau 16 - Typologie d'agriculteurs en fonction de leur dépendance aux engrais commerciaux et de leurs échanges de BR. 131
Tableau 17 - Répartition des tonnages de matières compostées par type de compost, par le biais de la CUMA TA, dans la vallée de la Drôme (Données de la CUMA, calculs personnels). 143
Tableau 18 - Synthèse des représentations des flux et fonds dans le discours des agriculteurs, par monde.....146
Tableau 19 - Présentation des principaux types de situations problématiques auxquelles sont confrontés les agriculteurs dans les transformations du métabolisme des BR.....152
Tableau 20 - Présentation des collectifs, en fonction des compromis qui les stabilisent, ainsi que de la prise en compte du vivant en leur sein.....157
Tableau 21 - Recompositions des collectifs organisés autour de fumiers de ruminants et pailles face à des transformations du métabolisme 165
Tableau 22 – La représentation du métabolisme socio-économique dans l'essai d'écologie industrielle et sa traduction dans l'essai d'économies de la grandeur.....176
Tableau 23 – Mise en rapport de la référence aux différents mondes par type d'agriculteur 179
Tableau 24 - Croisement des situations problématiques dans les essais d'EI et EG 182

Table des matières détaillée

SOMMAIRE 7

INTRODUCTION 11

PARTIE 1. PROBLEMATIQUE 15

CHAPITRE.I. LE ROLE DES BIOMASSES RESIDUAIRES EN AGRICULTURE ET EVOLUTION DES REPRESENTATIONS DE LEUR METABOLISME 17

I.1. Importance des biomasses résiduaires dans l'organisation des interdépendances entre sociétés humaines et agriculture 17

I.2. Les transformations du métabolisme des biomasses résiduaires au cours des révolutions industrielles 18

2.1. Le passage d'un régime métabolique agraire et solaire à un régime industriel et minier 18

2.2. La rupture du lien entre villes et campagnes : le « rift métabolique » 19

2.3. Le développement de la fertilisation chimique amorcé par le développement des énergies fossiles ainsi que par la connaissance nouvelle du métabolisme des plantes 20

2.4. La spécialisation de l'agriculture et son fonctionnement en « silos » par filières 20

2.5. Le développement d'un regard écologique sur le métabolisme des biomasses résiduaires : dépendance aux ressources fossiles, pollutions et pertes de fertilité 21

CHAPITRE.II. LA QUESTION DE L'ECOLOGISATION DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES A LA CROISEE DES CHEMINS ENTRE « MODERNISATION ECOLOGIQUE » ET « TERRESTRIALISATION » 23

II.1. Démarches d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires dans le champ institutionnel 23

1.1. Recyclage et optimisation : aujourd'hui les principales voies institutionnelles d'écologisation de la gestion des BR 23

Le recyclage des déchets et leur transformation en ressource : la voie de l'économie circulaire 24

La question de l'optimisation de l'usage des BR : la voie de la bioéconomie institutionnelle 24

1.2. Recyclage et optimisation de la gestion des biomasses résiduaires accompagnent l'industrialisation et ne sont pas des innovations récentes 25

1.3. Recyclage et optimisation de la gestion des biomasses résiduaires s'inscrivent dans la continuité de la modernisation : la modernisation écologique 26

II.2. Les critiques de la modernisation écologique et l'appel à son dépassement : le projet d'une écologisation terrestre 28

2.1. La victoire d'une certaine idée de la modernisation malgré des critiques multiples 28

2.2. L'écologisation terrestre, un projet alternatif ? 30

CONCLUSION : COMMENT PRENDRE EN CHARGE LE PLURALISME DES VOIES D'ECOLOGISATION DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES ? 35

PARTIE 2. CADRES THEORIQUES 37

CHAPITRE.III. LE PROGRAMME BIOECONOMIQUE, UN PROJET DE TRANSFORMATION SCIENTIFIQUE ET SOCIALE DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE 39

III.1. Un paradigme scientifique 39

1.1. Un changement de référentiel pour l'économie : de la mécanique à la thermodynamique 39

1.2. Un changement de regard porté sur les processus économiques : le modèle fonds/flux 40

1.2.1. Les limites du modèle mécanique stocks/flux 40

1.2.2. Une lecture bioéconomique des processus économiques : le modèle fonds/flux 41

1.2.3. Les apports de la thermodynamique : donner une place spécifique aux ressources naturelles et aux déchets 42

1.2.4. Stabilisation des notions de fonds et de flux 42

1.3. Le modèle fonds/flux interroge la finalité des processus économiques sous un angle nouveau 44

1.3.1. Relier l'économie au reste du système-Terre 44

1.3.2. L'enjoyment of life : l'introduction de la valeur de l'expérience humaine dans le métabolisme 44

III.2. Un programme de transformation sociale relevant à la fois de mesures techniques, de changements institutionnels et de propositions éthiques 46

III.3. Des héritages multiples, à la croisée des sciences et de la politique 49

3.1. L'économie écologique et l'étude du métabolisme socio-économique 49
3.2. La prise en compte des limites planétaires et la valorisation d'un régime métabolique bioéconomique, centré sur la biomasse 50
3.3. Les mouvements de la décroissance, un héritage politique discuté 51
3.4. La difficile traduction politique de la bioéconomie 52

CHAPITRE.IV. LE PRAGMATISME, UN CADRE PHILOSOPHIQUE POUR PENSER LE PLURALISME ANCRE DANS L'EMPIRISME ET L'ACTION 55

IV.1. Une courant philosophique ancré dans la réalité et qui part des problèmes des hommes 55
IV.2. Une philosophie pour prendre en charge le pluralisme 57

CHAPITRE.V. LE METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE VU SOUS UN ANGLE PRAGMATIQUE : LES RESEAUX METABOLIQUES COMME CADRE ANALYTIQUE 59

V.1. Les réseaux métaboliques : une réalité faite de flux et de fonds 60
V.2. Les réseaux métaboliques : centrer son regard sur des situations problématiques 61
V.3. Les réseaux métaboliques : une approche relationnelle pour penser ensemble les fins et les moyens. 62

CONCLUSION : COMMENT CARACTERISER LE PLURALISME DES VOIES D'ECOLOGISATION DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES AU PRISME DES RESEAUX METABOLIQUES ? 63

PARTIE 3. ETAT DE L'ART 65

CHAPITRE.VI. PLURALISME DES REPRESENTATIONS DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE ET DES PROGRAMMES D'ECOLOGISATION ASSOCIES 67

VI.1. Méthode : des écoles de pensée caractérisées à l'aide des réseaux métaboliques 67
1.1. Une réalité faite de flux et de fonds : caractérisation de la représentation du métabolisme socio-économique dans les articles 68
1.2. Des situations problématiques : caractérisation du problème, outils et partenaires pour la transformation du métabolisme 68
1.3. Une approche relationnelle pour penser ensemble fins et moyens : caractérisation des écoles de pensée en fonction de leur rapport à la modernisation/terrestrialisation 69
VI.2. Huit écoles de pensées qui proposent des représentations du métabolisme socio-économique et des programmes d'écologisation différents 70
2.1. Les représentations centrées sur les agents économiques contribuent à un projet de modernisation écologique 71
2.1.1. Deux écoles distinctes : l'analyse et l'optimisation des filières et l'écologie industrielle 71
2.1.2. Des écoles qui s'inscrivent largement dans la continuité de la modernisation 72
2.2. Les représentations basées sur l'espace : une modernisation écologique amendée de considérations sociales, écologiques et politiques 73
2.2.1. Trois écoles distinctes : les écologies sociale, marxiste, territoriale et urbaine 73
2.2.2. Des écoles de pensée qui questionnent partiellement la modernisation 74
2.3. Des représentations multi-facettes et composites qui contribuent à une écologisation terrestre 75
2.3.1. Trois écoles : l'analyse multi-échelles des agroécosystèmes, l'agroécologie et la sociologie pragmatique 75
2.3.2. Des pistes de terrestrialisation différentes ? 77

CONCLUSION : ANALYSER LE METABOLISME DES BIOMASSES RESIDUAIRES PAR LA MISE EN DIALOGUE DE DEUX PROGRAMMES OPPOSES : L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE (EI) AU SERVICE D'UNE MODERNISATION ECOLOGIQUE, ET LES ECONOMIES DE LA GRANDEUR (EG) AU SERVICE D'UNE ECOLOGISATION TERRESTRE 79

PARTIE 4. MATERIEL ET METHODES 81

CHAPITRE.VII. TERRAIN ET OBJET D'ETUDE : LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES DANS LES SYSTEMES AGRICOLES DE LA VALLEE DE LA DROME 83

VII.1. La vallée de la Drôme comme terrain d'étude 83
1.1. Un territoire rural : contexte spatial et administratif 83
1.2. Un territoire au métabolisme agricole diversifié 84

1.3. Un territoire de projets : la démarche « *Biovallée* » 85
1.4. Un terrain du projet BOAT 86
VII.2. Récolte des données sur quatre niveaux différents : bases de données, experts, agriculteurs et action collective 87
2.1. Récupération de données existantes 87
2.2. Entretiens individuels : experts et agriculteurs 88
2.2.1. Entretiens exploratoires auprès d'élus professionnels, d'acteurs des filières et du territoire 88
2.2.2. Enquêtes auprès d'agriculteurs 89
2.2.3. Anonymisation des données 90
2.3. Suivi d'une action collective : un projet de plateforme de compostage collectif, porté par l'association Compost' Et Moi 90

CHAPITRE.VIII. UNE METHODE D'ANALYSE S'APPUYANT SUR LES RESEAUX METABOLIQUES 91

VIII.1. Essai d'écologie industrielle au service d'une modernisation écologique 93
1.1. Une réalité faite de flux et de fonds: caractérisation des flux de biomasses résiduaires à l'échelle du territoire 93
1.2. Des situations problématiques : caractériser les déséquilibres entre production et apports 96
1.3. Une approche relationnelle : caractérisation des interdépendances entre acteurs économiques 97
VIII.2. Essai d'économies de la grandeur, au service d'une écologisation terrestre 99
2.1. Une réalité faite de flux et de fonds : caractérisation des flux et des fonds dans les discours des agriculteurs. 99
2.2. Des situations problématiques : caractérisation de la difficile prise en compte du vivant dans les transformations du métabolisme 103
2.3. Une approche relationnelle : décrire la gestion des BR comme résultante d'un collectif d'humains et de non-humains 104
VIII.3. Essai de mise en dialogue des deux écoles de pensées 105
3.1. Une réalité faite de flux et de fonds : comparaison des représentations 105
3.2. Des situations problématiques : décrire en quoi les déséquilibres entre production et apports de BR et rapports au vivant sont des problèmes liés 106
3.3. Une approche relationnelle : la mise en dialogue dans la situation concrète d'un projet de compostage collectif 107

CONCLUSION 109

PARTIE 5. RESULTATS 111

CHAPITRE.IX. ESSAI D'ECOLOGIE INDUSTRIELLE AU SERVICE D'UNE MODERNISATION ECOLOGIQUE DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES 113

IX.1. Une réalité faite de flux et fonds : les biomasses résiduaires produites sur le territoire 113
1.1. Des productions de biomasses résiduaires diversifiées 113
1.1.1. Les productions animales, principales pourvoyeuses de biomasses résiduaires azotées 113
1.1.2. Les productions végétales, génératrices de biomasses résiduaires carbonées 117
1.1.3. Des biomasses résiduaires d'origines industrielles et urbaines 119
1.2. Les apports en matières fertilisantes pour les productions végétales de la Vallée de la Drôme 122
1.2.1. Les cultures céréalières représentent les plus grands apports en matière de fertilisation azotée du territoire 122
1.2.2. Le territoire a une identité « bio » forte, mais conserve des besoins quantitatifs importants en agriculture conventionnelle 122
IX.2. Des situations problématiques : des déséquilibres entre productions et apports 125
2.1. Des déséquilibres à l'échelle du territoire 125
2.1.1. Les effluents d'élevage sont très loin de répondre aux apports sur cultures 125
2.1.2. Les effluents d'élevage ne suffisent même pas aux apports pour les cultures bio 125
2.2. Des déséquilibres dans la répartition spatiale 126
2.2.1. La production de biomasses résiduaires et les apports en azote sont concentrés dans la basse vallée de la Drôme 126
2.2.2. Le Diois et le pays de Saillans : un certain équilibre 127
IX.3. Une approche relationnelle : circulation des biomasses résiduaires parmi les acteurs économiques, entre interdépendance et concurrence 130
3.1. Différents types d'exploitations agricoles selon leur participation à la circulation des biomasses résiduaires 130
3.1.1. Cinq types d'exploitations selon la production, l'utilisation et les échange de biomasses résiduaires 130
3.2. Des exploitations qui entretiennent des relations d'interdépendance et de concurrence avec d'autres acteurs

économiques au sein des réseaux métaboliques 133
3.2.1. La substitution des biomasses résiduaires par des engrais commerciaux est ancrée dans des réseaux globaux..... 136
3.2.2. La gestion des biomasses résiduaires d'origine agricole s'effectue à l'échelle locale, bien que cette gestion soit de plus en plus fragilisée 137
3.2.3. La gestion des biomasses résiduaires d'origine non agricole en tension entre échelle locale et globale. 138
Conclusion 144

CHAPITRE.X. ESSAI D'ECONOMIES DE LA GRANDEUR AU SERVICE D'UNE ECOLOGISATION TERRESTRE DE LA GESTION DES BIOMASSES RESIDUAIRES.....145

X.1. Une réalité faite de flux et de fonds : comment l'agriculteur décrit-il le métabolisme des biomasses résiduaires, et quelle place y est accordée au vivant ?..... 145
Des flux quantifiés en fonction de critères physico-chimiques et de leur valeur marchande 146
Des flux caractérisés selon leur conformité à des normes et des références sociales multiples, par des critères qualitatifs 146
Des fonds comme instruments au service d'un processus de production..... 146
Des fonds dont la valeur n'est pas uniquement instrumentale 146
1.1. Des flux qualifiés de manière quantitative et qualitative (mondes industriel et marchand)..... 147
1.1.1. Des flux quantifiés en fonction de critères physico-chimiques et de leur valeur marchande..... 147
1.1.2. Des flux caractérisés selon d'autres valeurs : les traditions, la justice, l'opinion ou l'inspiration..... 147
1.2. Les fonds sont pris en compte pour leur valeur instrumentale, mais pas seulement..... 149
1.2.1. Les fonds décrits comme instruments au service d'un processus de production (mondes industriel et marchand)..... 149
1.2.2. Le patrimoine, les institutions, les marques et les croyances : des fonds dont la valeur n'est pas uniquement instrumentale 149
1.2.3. Les êtres vivants sont dotés d'un fonctionnement et de rythmes qui leur sont propres et qui sont reconnus au travers de multiples valeurs 151
X.2. Des situations problématiques : des transformations du métabolisme qui révèlent des difficultés à composer avec le reste du vivant 151
2.1. Des flux soumis à des variations pas toujours prévisibles 152
2.1.1. Des variations de flux au sein de l'exploitation : exemple de la non prise en compte de la vie du sol..... 153
2.1.2. Des variations de flux échangés : exemple d'une mauvaise prise en compte de la capacité d'agir de ses partenaires commerciaux 153
2.2. L'entrée de nouveaux fonds, inattendus, dans les réseaux métaboliques 154
2.2.1. L'entrée de nouveaux êtres non-humains : exemple de la salmonellose 154
2.2.2. L'entrée de nouveaux êtres humains : exemple des tensions avec les voisins néo-ruraux 154
2.3. Les représentations du métabolisme sont sujettes à contestation 155
2.3.1. Des représentations mutuellement irréductibles d'un même problème : l'exemple du conflit entre agriculteurs et habitants 155
2.3.2. Des situations problématiques qui transforment la représentation de ce qu'est un « bon » métabolisme pour les agriculteurs 155
X.3. Une approche relationnelle : la gestion des biomasses résiduaires s'inscrit dans des collectifs hybrides différents selon le type de biomasse 157
3.1. La gestion des biomasses résiduaires est stabilisée par des compromis entre mondes..... 157
3.1.1. Des fumiers et pailles qui s'agencent au sein de pratiques d'échange traditionnelles entre agriculteurs 157
3.1.2. Des produits commerciaux et industriels qui incarnent une certaine idée de la modernité 160
3.1.3. Des composts qui s'insèrent dans des compromis hybrides..... 162
3.2. Des recompositions de collectifs dans les situations problématiques : exemple des collectifs autour des fumiers de ruminants et pailles 164
3.2.1. Des variations de flux au sein de l'exploitation : exemple d'une faible prise en compte de la vie du sol. 164
3.2.2. Des variations de flux échangés : exemple d'une faible prise en compte de la capacité d'agir de ses partenaires commerciaux 166
3.2.3. L'entrée de nouveaux êtres non-humains 167
3.2.4. L'entrée de nouveaux êtres humains : exemple des tensions avec les voisins néo-ruraux 170
Conclusion 173

CHAPITRE.XI. MISE EN DIALOGUE PRATIQUE DES ESSAIS D'ECOLOGIE INDUSTRIELLE ET DES ECONOMIES DE LA GRANDEUR 175

XI.1. Une réalité faite de flux et de fonds : des représentations contrastées du métabolisme..... 175
1.1. Convergences et divergences des représentations..... 175

1.1.1. La synergie entre bouclage des flux et intérêts économiques de l'écologie industrielle s'insère dans le compromis industriel/marchand de l'économie de la grandeur 177
1.1.2. Les économies de la grandeur révèlent des valeurs multiples qui débordent des représentations de l'écologie industrielle 177
1.1.3. L'essai d'écologie industrielle offre des représentations générales et unifiées à l'échelle des territoires, et des filières qui débordent des représentations des agriculteurs 178
1.2. Les types d'exploitations agricoles (EI) se distinguent dans leurs différentes références aux mondes (EG) 179
XI.2. Des situations problématiques : les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires ainsi que le rapport au vivant sont des problèmes liés 182
2.1. Les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires et la difficulté à composer avec le reste du vivant se renforcent mutuellement 183
2.1.1. Les effluents d'élevage sont loin de répondre aux apports sur les cultures, ce qui se traduit par une substitution par des engrais organiques du commerce, et l'appauvrissement du rapport au vivant 183
2.1.2. Les difficultés que rencontrent les agriculteurs dans leur rapport au vivant les poussent à abandonner des systèmes de polyculture-élevage traditionnels, plutôt vertueux du point de vue du bouclage des flux, au profit de cultures à hautes valeurs ajoutées et d'élevages avicoles, qui renforcent les déséquilibres entre productions et apports de biomasses résiduaires 183
2.2. Des situations vertueuses du point de vue du bouclage des flux peuvent nuire à la prise en compte du vivant, et inversement 184
2.2.1. La valorisation des déchets urbains est vertueuse du point de vue du bouclage des flux, mais peut impliquer une faible prise en compte du vivant humain et non-humain 184
2.2.2. Une prise en compte de certains vivants non-humains peut impliquer un faible bouclage des flux : exemples des collectifs biodynamiques ou du militantisme associatif « L214 » 185
XI.3. Une approche relationnelle : les programme d'EI et EG négociés dans un projet de compostage collectif, donnant lieu à différents compromis (l'exemple de l'association « Compost' et moi »)..... 186
3.1. Le contexte et l'émergence du projet 186
3.1.1. Une convergence d'intérêts entre des éleveurs de volaille confrontés à un excès de fumiers et de fientes sur leurs exploitations et une collectivité peinant à trouver des débouchés pour ses déchets 186
3.1.2. La nécessité de mobiliser d'autres acteurs 187
3.1.3. Convergence des acteurs autour d'une association commune 187
3.2. La démarche de l'écologie industrielle portée par un bureau d'étude 188
3.2.1. Une démarche d'écologie industrielle : identification des apports potentiels et des débouchés sur le territoire 188
3.2.2. La proposition de diverses options techniques 189
3.3. Les comités de pilotages donnent lieu à des débats sur les options techniques sous tendant les valeurs portées par les acteurs 189
3.3.1. Prendre en charge les fumiers salmonellés ? 189
3.3.2. Accepter les boues de stations d'épuration ? 190
3.3.3. La granulation, une option en contradiction avec l'image de durabilité écologique ? 190
3.4. Les débats font émerger plusieurs scénarios concurrents, qui dessinent des compromis présentés à l'assemblée générale 191
3.4.1. Scénario 1 : Un compost normé et professionnel tourné vers une clientèle large ? Un compromis entre valeurs industrielles et marchandes 191
3.4.2. Scénario 2 : un composteur au service des agriculteurs, des collectivités et des industriels. Un compromis entre valeurs civiques et de l'opinion 191
3.5. L'assemblée générale révèlent les limites des compromis 192
3.5.1. Une assemblée générale qui enrichit la représentation du métabolisme 192
3.5.2. Des options encore non départagées 193
Conclusion 195

PARTIE 6. DISCUSSION 197

CHAPITRE.XII. EVOLUTION DE MON POSITIONNEMENT AU COURS DU PARCOURS DE THESE 199

XII.1. La question de l'interdisciplinarité et du pluralisme 199
1.1. L'entrée dans une thèse interdisciplinaire encadrée par des agronomes 199
1.1.1. Des difficultés de l'interdisciplinarité dans un cadre intégrateur : mon expérience des premiers mois du projet BOAT et des cafés d'écologie territoriale 199
1.2. Le pluralisme des représentations : une question centrale dans mon travail de thèse 200
1.2.1. La rencontre de la pensée de Latour 200
1.2.2. Le choix d'ancrer la question du pluralisme des voies d'écologisation du métabolisme dans ma thèse, et la difficulté à le faire en pratique 201

XII.2. A la recherche d'un positionnement : entre bioéconomie et pragmatisme pour un agronome..... 202
2.1. Se positionner par rapport à la bioéconomie scientifique 202
2.1.1. Les limites de l'écologie territoriale comme cadre commun 202
2.1.2. L'opportunité de la bioéconomie de Georgescu-Roegen..... 202
2.1.3. Un positionnement qui a évolué au fil des avancées de mon travail..... 203
2.2. Se positionner par rapport au champ de l'agronomie 206
2.2.1. La question du pluralisme m'a réinterrogé sur ma position d'agronome à l'Irstea 206
2.2.2. Un positionnement original vis-à-vis de la notion de « système » en agronomie 207
2.3. Se positionner par rapport à l'action : le choix d'une posture pragmatique 209
2.3.1. Le rapport à l'action, un problème à la fois théorique et pratique 209
2.3.2. Le cadre pragmatique réinterroge ma position d'agronome 210
2.3.1. Le cadre pragmatique réinterroge ma position par rapport à la bioéconomie..... 212

CHAPITRE.XIII. INTERETS, LIMITES ET PERSPECTIVES DE MA DEMARCHE METHODOLOGIQUE 215

XIII.1. L'opérationnalisation des réseaux métaboliques : une démarche originale de mise en dialogue ... 215
1.1. Une démarche permettant de dépasser un certain nombre de contradictions propres aux analyses métaboliques 215
1.1.1. Une démarche centrée sur l'analyse de processus 215
1.1.2. Une démarche qui ne sépare pas la réalité matérielle et les idées, la société et la nature 217
1.1.3. Une manière d'interroger la valeur des fonds au travers de leurs interdépendances : les liens fonds/fonds 218
1.2. Des difficultés à opérationnaliser les réseaux métaboliques 219
1.2.1. La délicate traduction des représentations multiples dans le modèle fonds/flux et leur mise en dialogue 219
1.2.2. Les réseaux métaboliques représentent une démarche compositionniste ouverte à de multiples savoirs 220
XIII.2. L'opérationnalisation de l'écologie industrielle : l'ancrage d'un idéal modernisateur dans une situation concrète..... 222
2.1. Des difficultés à opérationnaliser le programme de l'écologie industrielle..... 222
2.1.1. La recherche de méthodes génériques et reproductibles pour produire des représentations 222
2.1.2. Proposer des représentations pertinentes localement pour agir sur le métabolisme..... 223
2.2. Des pistes d'amélioration et des perspectives ouvertes par mon travail 224
2.2.1. Favoriser le couplage des données, au prix d'une entorse à l'idéal démocratique ?..... 224
2.2.2. Développer l'ancrage et l'action locale, au prix d'une perte de la neutralité scientifique ?..... 226
2.2.3. Vers une EI plus pragmatique ?..... 227
XIII.3. L'opérationnalisation des économies de la grandeur : un outil au service d'une écologisation terrestre..... 228
3.1. Des difficultés pratiques à appliquer le modèle des mondes 228
3.1.1. La difficulté à caractériser les mondes à partir de verbatim..... 228
3.1.2. La difficulté à s'inscrire dans des contextes de justification 228
3.2. Des pistes d'amélioration et des perspectives ouvertes par mon travail 228
3.2.1. Limites du cadre des économies de la grandeur appliqué à mon cas..... 228
3.2.1. L'écologisation représente-t-elle une nouvelle valeur en soi, ou s'inscrit-elle dans la pluralité des valeurs existantes ? L'hypothèse de la « *cité verte* »..... 230

CHAPITRE.XIV. LES RECITS SUR L'ECOLOGISATION DANS LA VALLEE DE LA DROME A L'EPREUVE DES RESEAUX METABOLIQUES.....235

XIV.1. La Biovallée, un territoire de référence et reproductible ?..... 236
1.1. Un territoire hétérogène du point de vue métabolique, contrastant avec l'idée d'un territoire de référence 236
1.1.1. La basse vallée de la Drôme, un territoire ancré dans l'histoire de la modernisation de l'agriculture 236
1.1.2. Le Diois et le Pays de Saillans, un territoire présentant des voies d'écologisation diverses qui s'explique par une dynamique sur le temps long 238
1.2. Un territoire difficilement reproductible, mais qui ouvre des perspectives d'action variées..... 239
1.2.1. Une écologisation située qui s'inscrit dans le temps long plutôt qu'un territoire reproductible dans une démarche de projet 239
1.2.2. La reproductibilité de la démarche Biovallée liée à sa dépendance à des ressources extérieures au territoire. Une reproductibilité limitée par la dépendance aux subventions publiques ? 240
XIV.2. Un projet d'écologisation radical porté par l'agriculture biologique en opposition à un modèle conventionnel et modernisateur ?..... 241

2.1. La radicalité de l'agriculture biologique dans la vallée de la Drôme discutée au vue des réseaux métaboliques 242
2.1.1. Du point de vue de l'écologie industrielle 242
2.1.2. Du point de vue des économies de la grandeur 243
2.2. Perspectives de dépassement de l'opposition entre les deux formes de l'agriculture biologique, radicales et conventionnalisées 244
2.2.1. Des agriculteurs qui ne se retrouvent représentés ni par une agriculture conventionnelle et moderne, ni par une agriculture biologique porteuse d'écologisation radicale 244
2.2.2. Plutôt qu'une opposition entre différents modèles, la voie pragmatique d'une communauté de pratiques 245
2.2.3. Vers une écologisation plus radicale : place et rôle des collectivités ? 246

CONCLUSION 249

Perspectives pour une écologisation pluraliste 249

REFERENCES ET TABLES 253

BIBLIOGRAPHIE 255

LISTE DES ABBREVIATIONS 272

TABLE DES FIGURES 274

LISTE DES TABLES 275

TABLE DES MATIERES DETAILLEE 276

ARTICLES 285

ARTICLE 1. A REVIEW OF SOCIO-ECONOMIC METABOLISM REPRESENTATIONS AND THEIR LINKS TO ACTION: CASES IN AGRI-FOOD STUDIES – PUBLIÉ DANS ECOLOGICAL ECONOMICS 178 (2020) 287

ARTICLE 2. RESIDUAL BIOMASS MANAGEMENT IN AGRICULTURAL SYSTEMS IN THE DRÔME VALLEY: DISCUSSION OF TWO PROGRAMS OF ECOLOGIZATION: INDUSTRIAL AND EARTHBOUND (PROCEEDINGS OF IFSA 2020 CONFERENCE – REPORTÉ) 301

ANNEXES 321

TABLE DES ANNEXES 323

ANNEXE 1. DONNEES ET ENQUETES 324
Annexe 1.1 Données préexistantes 325
Annexe 1.2 Entretiens auprès des acteurs des filières et des territoires 329
Annexe 1.3 Entretiens auprès des agriculteurs 330
Annexe 1.4 Le guide d'entretien 332
ANNEXE 2. CALCULS DE LA PRODUCTION DE BIOMASSES RESIDUAIRES SUR LE TERRITOIRE 341
Annexe 2.1 Les filières animales sur le territoire 341
Annexe 2.2 Les filières végétales 345
Annexe 2.3 Les déchets industriels 349
Annexe 2.4 Les déchets urbains 350
ANNEXE 3. TRAITEMENT DES DONNEES 353
Annexe 3.1 Tables de nœuds et de liens désagrégées 353
Annexe 3.2 Tables de nœuds et de liens agrégées 360
Table de nœuds agrégée 360
Table de liens agrégée 362
Annexe 3.3 Exemples de requêtes SQL pour une forme d'agrégation 363
Annexe 3.4 Matrice de Bertin 364
ANNEXE 4. CARACTERISATION DES MONDES DANS LE DISCOURS DES AGRICULTEURS 365
4.1 Monde industriel, centré sur l'efficacité à assurer la production 365
4.2 Monde marchand, centré sur la concurrence et le prix 366

4.3 Monde civique, centré sur le collectif et l'intérêt général 367
4.4 Monde de l'opinion centrée sur l'approbation des autres 368
4.5 Monde inspiré, centré sur le ressenti et la vie intérieure 369
4.6 Monde domestique, centré sur les traditions, le connu et le local 370

ARTICLES

Article 1. A review of socio-economic metabolism representations and their links to action: Cases in agri-food studies – Publié dans Ecological Economics 178 (2020)

Ecological Economics 178 (2020) 106765

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Economics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolecon

COMMENTARY

A review of socio-economic metabolism representations and their links to action: Cases in agri-food studies

Andréa Wiktor Gabriel[a,*], Sophie Madelrieux[b], Philippe Lescoat[c]

[a] Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, 2 rue de la Papeterie-BP 76, St-Martin-d'Hères F-38402, France
[b] Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, St-Martin-d'Hères, F-38402, France
[c] Université Paris Saclay, AgroParisTech, INRAE UMR SADAPT 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris, France.

ARTICLE INFO

Keywords:
Metabolic Networks
Research-Management Interface
Epistemology
Pragmatism

ABSTRACT

Socio-economic metabolism (SEM) occupies a central place in the study of agri-food systems. While researchers are asked to address growing environmental and social issues, the link between theoretical choices of representation and action is rarely discussed as such. We propose a cross-sectional analysis between the way SEM is described and how researchers propose to act, based on a literature concerned with agri-food systems. We distinguish the metabolism representations based on funds, flows and stocks, scales and levels, as well as socio-economic analysis. Action is seen through the operational goals pursued by the researchers, the action-research interfaces in which they engage, and the partners with whom they interact. We identified eight schools of thought related to three different types of representations: (1) space and compartment-based representations; (2) economic agent-based representations; and (3) multi-faceted and composite representations. We show that metabolism representations and action are deeply intertwined. The analysis of the biophysical basis of society is neither independent of normative claims regarding how this basis should evolve, nor of the means to get there. We then discuss the consequences of this fact on the choices of representation of metabolism and particularly the interest of anchoring SEM in pragmatism.

1. Introduction: Socio-economic metabolism and action

Socio-economic metabolism is seen as a paradigm for studying the biophysical basis of our societies. It "*constitutes the self-reproduction and evolution of the biophysical structures of human society. It comprises those biophysical transformation processes, distribution processes, and flows, which are controlled by humans for their purposes [and] the biophysical structures of society*" (Pauliuk and Hertwich, 2015). The notion of SEM has evolved over time and the scope of the term differs among scholars. Socio-metabolic studies translate into a wide diversity of operational concepts, such as industrial (Frosch and Gallopoulos, 1989), society's (Fischer-Kowalski and Huuttler, 1998), urban (Barles, 2015) and socio-economic metabolism (Pauliuk and Hertwich, 2015). In the remainder of the text, we will use" socio-economic metabolism" (SEM) to refer to the paradigm in general.

Several bibliographical reviews concerning SEM studies have recently been published. They include a comparison of two frameworks (Gerber and Arnim, 2018), a cross-sectional analysis between industrial ecology and politics (Breetz, 2017), and tool oriented ones (Fernandez-Mena et al., 2016; Beloin-Saint-Pierre et al., 2017; Haberl et al., 2019).

Metabolism is indeed a tool for management. According to Odum (1971), ecologists should use metabolism as a tool to share their analysis of reality with society and, finally, to position themselves as the actual managers of the interactions between society and the environment. The final goal is to "manage" the human system with actions based on ecological laws (Madison, 1997). Social metabolism is seen as a tool for socio-ecological transition (Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009), ecological intensification (Gonźalez-Acevedo and Toledo, 2016) or sustainability (Haberl et al., 2019).

While action plays an important role in SEM studies, it is rarely addressed as such in the reviews. What are researchers normative and operational objectives? What do they stand for and how can they be achieved? How does action relate to choices of metabolic representation? These questions are central if we want to address the environmental, social and political challenges revealed by metabolic representations.

1.1. In agri-food studies

SEM is increasingly present in agri-food studies. Agri-food systems

* Corresponding author.
E-mail address: mail@agabriel.me (A.W. Gabriel).

https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106765
Received 16 July 2019; Received in revised form 28 May 2020; Accepted 18 June 2020
Available online 04 September 2020
0921-8009/ © 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

play a major role in the biophysical basis of our societies and strongly contribute to society's SEM in terms of material stocks and flows (Krausmann et al., 2009). Material flows and, in particular, flows of biomass or living matter are the subject of new challenges with the development of the bioeconomy (Vivien et al., 2019). Agriculture is the main producer of biomass in human economies by far, reaching 89% in total mass. The biomass of humans and livestock surpass that of wild mammals by a ratio of 20 (Bar-On et al., 2018).

Development of SEM in the industrial age includes a metabolic rift between the city and the countryside (Foster, 2000) as well as agricultural sector specialization (Lemaire et al., 2014). It translates into an environmental footprint (Courtonne et al., 2016) such as nitrogen pollution (Bellarby et al., 2017) or depletion of organic matter in the soil (Andrieu et al., 2014). The unsustainable nature of the ongoing SEM is unanimously recognized and a consensus exists on the urgency to transform it (Haberl et al., 2019).

1.2. Goals and article map

We propose a review of the literature based on SEM representation and action in agri-food systems. This includes agricultural production, food systems and their associated components such as inputs and waste flows. Several steps are followed. Firstly in Section 2, methods are chosen to isolate the relevant literature, describe SEM representation and the researchers' links to action. Thanks to these tools, Section 3 is an attempt to characterize schools of thought regarding SEM and action. Section 4 presents some limits of the review and discusses the fact that representations and action are linked: studies of metabolism are not neutral and "schools of thought" are also "schools for action". In order to face the methodological pluralism of SEM analysis, we conclude with a proposal of epistemological and methodological choices for SEM, anchored in pragmatism.

2. Methodology

2.1. Identification of literature dealing with SEM through keywords

A systematic exploration of the literature was carried out to identify articles that deal with SEM in agri-food systems. We looked for papers that focus on the biophysical structures of human societies, seen in terms of human-controlled processes of transformation and distribution. We interpreted the "human society" criteria in a restrictive way: the flows must have a social aspect, e.g., taking place on a scale larger than that of the farm, or involving a collective process.

Searches in the scientific literature were performed using the Web of Science, with three sets of keywords: those referring to (1) metabolic processes (e.g., *metabo*[1]; material; flow; biomass; circulation*); (2) agri-food systems (e.g., *agri*; farm*; agrarian; agroecosystem*); and (3) social (e.g., *social, societ*, collective, politic**). Results of the search cover the period from 2000 to 2019. 738 articles featured at least one keyword for each category. After excluding off-topic articles, 259 publications remained. While almost no authors explicitly used the concept of SEM, we ensured that all three criteria were met in the articles' abstracts. A total of 89 articles remained. On this basis, 13 additional articles were identified via the snowball effect. The total number of articles analyzed was 102.

2.2. Literature description and classification

The articles are described according to their SEM representation and their links with action (Table 1). Theoretical articles were used to describe the school of thought, and case studies to illustrate methodological choices. Complementary articles, not described in the review, and not specialized in agri-food, were used to describe the schools of thought. These articles are mainly theoretical or seminal. Each school is then described in a synthetic way, according to how the metabolism is represented, as well as its relationship to action. Two to three case studies are proposed as an illustrative example for each school.

Based only on the SEM representation, we identified eight "schools of thought" in which the various articles are classified. When various but similar names coexisted (e.g., *industrial ecology, industrial clusters and industrial symbiosis*), a compromise was made (e.g., *industrial ecology and symbiosis*). For the sake of simplicity, only the most prominent and contrasting frameworks were chosen.

2.2.1. The representation of socio-economic metabolism: Stocks/flows/funds/scales levels and socio-economic context

Articles are classified according to their SEM representation, especially the way they deal with (a) stocks, flows and funds; (b) scales and levels; and (c) socio-economic context. These three criteria are used to distinguish schools of thought.

(a) We followed Georgescu-Roegen's (1971) proposal to represent human-mediated metabolic processes using three distinct categories: stocks, flows and funds. A *stock* is what is present in the system at a given moment of time. A *flow* represents change: it is usually used for representing an input or an output of a given process. *Funds* are durable entities, which are the "active agents of the process", while flows are "used or acted upon by the agents" (Georgescu-Roegen 1971). A diversity of entities can be taken into account. These include *economic or ecological processes, human and non-human agents*.

(b) Living systems present parallel levels of organization on different scales and levels. Spatial scales (e.g., region, state, global, etc.) and functional levels (humans are made of organs, cells, molecules, etc., which at the same time are part of a household, part of a community, part of a country)(Giampietro, 2004). For each study, we attempted to describe the scales and levels that are taken into account in metabolic representations. For scales, these include: *large-scale spaces, middle or small scales; for levels: physical black boxes, individual companies or sectors*.

(c) The biophysical basis of our societies is rarely described alone. It is regularly integrated into a socio-economic context. Its analysis encompasses the diversity of the social sciences: historical, sociological, political, etc. The main types of analyses used were derived from the reading of the corpus. These include *historical material transitions, social performance analysis, (Marxist) power structure analysis, local stakeholder analysis, actor-networks*.

2.2.2. Action: goals, interfaces, tools and partners

The links between SEM representation and action are analyzed on the basis of four criteria:

(d) problem definition and the researcher's goal; (e) type of research-management interface; (f) type of analysis or tools used; and (g) the chosen actors and partners.

(d) Problem definition and the researcher's goal are deduced from what the author states in the article. These objectives can be expressed explicitly or make reference to theoretical articles, e.g., *limit the size of the metabolism, change the system, re-localize the economy, foster economic performance and limit environmental impact*.

(e) The types of research-management interfaces are characterized using the typology of Gosselin et al. (2018), which distinguishes four types of interfaces between research and management: trickle-down, transfer-and-translate, user-push and research-within-management (Fig. 1).

[1] *metabo** means that all words starting with metabo were investigated, e.g., metabolism, metabolic, metabolized, etc.

Table 1
List of literature classification criteria according to the type of SEM representation and links with action.

Items	Area of analysis	Existing modes
Representation	(a) Stocks flows and funds	stocks and flows; economic funds and flows; ecological funds and flows; human and non-human as funds and flows
	(b) Scales and levels	large scale spaces; middle or small scales; physical black boxes; individual companies or sectors
	(c) Socio-economic context	economic factors analysis; historical material transitions; (marxist) power structure analysis; local stakeholder analysis; actor-network analysis
Action	(d) Claimed research goals	limit the size of the metabolism; change the system; relocalize the economy; foster economic performance; limit environmental impact; close the loop; improve performance and preserve the ecological and economic funds; develop an ecological-process based and socialy fair food system; enhance diverse and locally-based sustainability programs
	(e) Research-management interface	trickle-down; user-push; transfer-and-translate; research-with-management
	(f) Tool	transition analysis; critical analysis; stakeholder analysis; data and management tools; post-normal-science-based analysis and exchanges; extended description
	(g) Actors and partners	countries and leaders; civil society; local authorities and stakeholders; companies and operators; farmers and civil society; various stakeholders

1- In *trickle down* interfaces, knowledge is generated with no direct link to management. Researchers produce research, independently of topics of interest to users. Users can adopt it if they wish, but the researcher makes no effort in that direction.
2- In *transfer-and-translate* interfaces, scientists make an effort to transfer their results, while managers translate them into coherent management practices (e.g., extension officers at the interface between scientific knowledge and farmers).
3- In *user-push* interfaces, the users commission research on topics they are interested in. Managers may ask researchers to produce knowledge that will inform their future management.
4- *Research-within-management* is based on strong interactions through bidirectional flows of knowledge. Researchers and managers work together, pushing and pulling knowledge to define research questions and to conduct research relevant to their mutual skills and needs.

(f) The type of analysis or tools provided by the researcher for the action is described. It includes *transition analysis, critical analysis, stakeholder analysis, data and management tools, post-normal-science-based analysis and exchanges and extended descriptions*.
(g) The actors described as potential agents for change as well as the ones who are partners with whom the researchers collaborate are identified. These include *leaders of countries, civil society, local authorities and stakeholders, companies, farmers and civil society, as well as various stakeholders*.

3. Results: Eight schools of thought to represent SEM and their links with action

We identified eight schools of thought related to three different types of SEM representations. Each of these types contains several schools of thought. The way each school represents the metabolism and the relationship to action is described below (Sections 3.1 to 3.3), and summarized in Table 2.

3.1. Space and compartment-based representations

Space and compartment-based representations were developed, in particular, by Fischer-Kowalski (2015). These types of approaches consider society as a set of black boxes within which flows of matter and energy pass and are disposed of (Gomiero, 2017).

We identified three main schools of thought: (1) social ecology; (2) metabolic rift and Marxist ecology; and (3) urban and territorial ecology.

3.1.1. Social ecology

In this school of thought, articles are generally far-reaching descriptions of metabolic changes and dynamic studies, taking the evolution of agri-food systems into account. They focus on large-scale spaces like countries or regions, and link them to broad historical analyses such as long-term socio-ecological transitions. Flows represent materials (e.g., biomass production and appropriation of the net primary production of a country (Kohlheb and Krausmann, 2009), energy (e.g., the systemic account of a nation's carbon budget, comprising

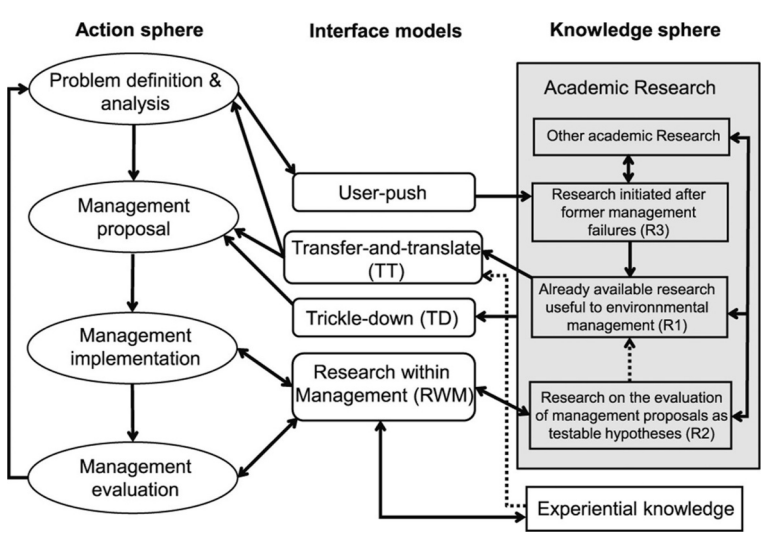


Fig. 1. Scheme of research-management interfaces (Gosselin et al., 2018).

Table 2
Articles classified in the eight schools of thought. NB: The 7 criteria used are made explicit within the table. The text follow the same pattern, with the criteria described in order. In the column "Representation": (a) funds and flows, (b) their scale, (c) analyzed through their socio-economic- context. In the column "Action": (d) Goal, (e) the research-management interface, (f) the tools with (g) the actors.

School of thought (number of articles)	Representation	Action	Articles
Space and compartment-based representations (39)			
Social ecology (21)	Stocks and flows at large scale spaces or between physical black boxes analyzed through historical material transitions	Limit the size of the metabolism through trickle-down and transition analysis directed at leaders of countries	Bouwman et al., 2013; Cusso et al., 2006; de Astarloa and Pengue, 2018; Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009; Fischer-Kowalski and Haberl, 2015; Fischer-Kowalski and Huuttler, 1998; Frankova, 2017; Grěslov´a et al., 2019; Grěslova et al., 2015; Gueldner and Krausmann, 2017; Guzman and De Molina, 2015; Guzman et al., 2018; Kohlheb and Krausmann, 2009; Krausmann, 2009; Krausmann, 2004; Kuskova, 2013; Magalhães et al., 2019; Soto et al., 2016; Yuan et al., 2011; Zhang et al., 2012
Metabolic rift and Marxist ecology (9)	Stocks and flows at large-scale spaces analyzed through Marxist frameworks	Change the system through trickle-down and critical analysis directed at civil society	Clausen et al., 2015; Foster et al., 2014; Gomiero, 2017; Gunderson, 2011; Martinez-Alier et al., 2010; Moore, 2011; Moore, 2011; Schneider and McMichael, 2010; Schneider, 2017
Urban and territorial ecology (10)	Stocks and flows at middle or small scales analyzed through stakeholder analysis	Develop and relocalize the territory's economy through transfer-and-translate and provision of management tools directed at local authorities	Barles, 2014; Barles et al., 2011; Barles, 2015; Barles, 2007; Billen et al., 2012; Buclet, 2011; Buclet, 2015; Cerceau et al., 2014; Oliveira and Natario, 2016; Tedesco et al., 2017
Economic-agent-based representations (26)			
Supply-chains-based metabolism (11)	Stocks and flows at individual companies or sector level analyzed through stakeholder analysis	Limit environmental impact and foster economic performance through user-push or transfer-and-translate and provision of management tools directed at companies and trade associations	Blengini and Busto, 2009; Courtonne et al., 2016; Filippini et al., 2016; Kulak et al., 2016; Kytzia et al., 2004; Miranda-Ackerman et al., 2017; Pagotto and Halog, 2016; Sellitto et al., 2018; Wirsenius, 2003; Xu et al., 2016; Yazan et al., 2018"
Industrial ecology and symbiosis (15)	Stocks and flows at individual companies or local scale analyzed through stakeholder analysis	Close the loop and foster economic performance through user-push or transfer-and-translate and provision of management tools directed at companies	Alfaro and Miller, 2014; Bellarby et al., 2017; Chance et al., 2018; Fernandez-Mena et al., 2019; Frone and Frone, 2017; Hobbes et al., 2007; Iacondini et al., 2015; Niutanen and Korhonen, 2003; Nowak et al., 2015; Nuhoff-Isakhanyan et al., 2017; Pagotto and Halog, 2016; Shastri et al., 2011; Simboli et al., 2015; Tamura and Fujie, 2014; Zabaniotou et al., 2015
Multi-faceted and composite representations (37)			
Multi-scale analysis of agroecosystems (8)	Economic and ecological funds and flows at multiple scales analyzed by their social performance	Preserve the funds through a research-within-management interface and post-normal-science-based tools directed at various stakeholders	Brunori et al., 2016; Gamboa, 2011; Giampietro, 2004; Gomiero and Giampietro, 2001; Gonźalez-Acevedo and Toledo, 2016; Grillot et al., 2018; Scheidel and Farrell, 2015; Serrano-Tovar and Giampietro, 2014
Agroecology within food systems and landscapes (19)	Ecological funds and flows at the food system and landscape scales analyzed through power structure frameworks	Develop an ecological-process-based and socially fair food system through research-within-management interfaces directed at farmers and civil society	Altieri, 2002; Bonaudo et al., 2014; Dumont et al., 2013; Francis et al., 2003; Guzman and De Molina, 2015; Gonźalez-Acevedo and Toledo, 2016; Guzman et al., 2018; Resque, 2019; Martin et al., 2016; Ḿendez et al., 2013; Ḿendez, 2017; Moraine et al., 2017; Rivera-Ferre, 2018; Rosset and Altieri, 1997; Mier y Terán Giménez Cacho et al., 2018; Ryschawy et al., 2017; Vaarst et al., 2018; Wezel et al., 2018
Pragmatic sociology and earthbound ecology (11)	Humans and non-humans as funds and flows along non-scalar biomass flows analyzed jointly as actor-networks	Enhance diverse and locally-based sustainability programs through research-within-management and extended descriptions directed at human and non-human entities	Akrich et al., 2006; Callon, 1984; Coq-Huelva et al., 2012; Glover and Stone, 2018; Goodman, 2001; Gray and Gibson, 2013; Kristensen and Kjeldsen, 2016; Le Velly and Dufeu, 2016; Mol et al., 2006; Onyas et al., 2018; Wegerif and Hebinck, 2016

socioeconomic as well as ecological carbon flows in a historic time series (Erb, 2012; Cusso et al., 2006). Stocks consist of human and non-human populations such as livestock, infrastructure or land use (Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009). These "black box" representations do not describe agents or "funds" as such (Frankova, 2017). Instead, authors take an holistic or whole system approach, for example describing the effect of a whole country's metabolism in terms of environmental impacts or pollution (Gueldner and Krausmann, 2017), or an analysis of the transition between different metabolic regimes (Soto et al., 2016). On this scale, it is not easy to deal with actors and their deliberate efforts. The agents in charge of governance are out of scope: socio-economic context is often disconnected from the description of stocks and flows. Researchers aim for the sustainability of resource use or the resilience of societies. They are interested in the size of the metabolism and, more or less explicitly, seek to reduce its size to a sustainable level. Research-management relies on a trickle-down interface: stakeholders are rarely involved and they almost never commission the research to promote change themselves (Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009). Researchers promote change through knowledge, which is provided in a top-down way without taking the needs of any

specific agents into account or trying to translate this knowledge in terms more suitable for policy making. When described, the potential actors are often public actors (e.g., national governments or international institutions). Facts come with no insight into what should be done, e.g., how global governance of flow could be implemented in the real world.

3.1.2. Metabolic rift and Marxist ecology

These articles explore a range of metabolism-related themes inspired by Marx's theories. The focus is on the same scales as those of social ecology (e.g., stocks and flows in a region-wide agricultural sector, long-term transformations), although the quantitative analysis of flows is often more succinct. What could act on metabolism and, consequently, on the capitalist system, is rarely described. Marxist descriptions of metabolism are, according to Georgescu- Roegen (1971), of the stocks-and-flows type. Funds or agents' abilities to change the system are not central. When they are mentioned, it is recalled that their capacity to change the system is limited (Gunderson, 2011). Authors rely explicitly on Marxist concepts such as the metabolic rift. This concept refers to the rupture between humanity and nature and, extensively, between the city and the countryside (Foster, 2000; Moore, 2011). The metabolic rift perspective has been since used in a large variety of case studies. Performance is measured in terms of rifts in soil nutrient cycles or in terms of structural changes in relation to global carbon, nitrogen and water cycling (Gunderson, 2011). The metabolic rift presents strong and multiple connections with other Marxist analyses, refering to the socio-economic context, such as these concerning capital or labor, and emphasizing power structures and exploitation (Foster, 2000; Gunderson, 2011).

The claimed goal is to change the system towards more social or environmental justice. To propose an alternative and support their arguments, several authors rely on comparisons with non-capitalist economies, e.g., Cuba (Clausen et al., 2015). The research-management interface is mainly based on a trickle-down model, and rely on critical analysis to generate change. Links with ongoing actions, when mentioned, associate social metabolism with environmental justice struggles lead by the civil society (Martinez-Alier et al., 2010).

3.1.3. Urban and territorial ecology

Urban and territorial ecology describe flows at local scales (e.g., territories or cities). At these scales, local authorities, economic agents, populations and living beings are described as active agents and funds. This gives rise to stakeholder analyses, sometimes inscribed in a broader historical context. Barles et al. (2007) analyzed metabolic interaction between Paris and the Seine during the industrial era. Funds at the scale of a territory are extensively described (administrative authorities, city-scale policies). Other levels are also described: lower ones (individual companies, civil society), or higher ones (changes in the technological or economic landscape, state-driven planning). Buclet (2015) described different subsystems within a territory (agri-food system, wealth creation system, etc.) and explained the dynamics in the light of global factors and individual institutions. The goal is to produce analyses and representations at the scales of local stakeholders in order to reach a sustainable development of the territory e.g., through flow relocalization. These studies regularly involve a transfer-and-translate interface with the local authorities, to whom data and management tools are provided. The terms and concepts used are often very close to those used by administrative agents, making exchanges easier.

3.2. Economic agent-based representations

Articles in this type of SEM representation describe metabolism in terms of material flows between individual economic agents. We distinguish two forms: (1) a linear representation, the supply chain, where actors are distributed according to their place in the production process, “from cradle to grave”, or from resource extraction to waste management; and (2) an ideal form, the perfect circle, in which there is no external resource or waste: the industrial symbiosis.

3.2.1. Supply-chains-based metabolism

These studies are concerned with the organizations involved during the production process of a product, from the extraction of resources to the delivery of the finished product to a consumer (or beyond). They take a functional level standpoint and distinguish processes according to the role played in the chain, e.g., production, transformation or distribution. Studies exist at all levels (local individual companies to global supply chains), and characterize metabolism through life-cycle analysis (LCA) or material flow analysis (MFA). Socio-economic context is integrated through economic and stakeholder analysis such as economically-extended MFA (Kytzia et al., 2004), social networks (Xu et al., 2016) or scenario building (Kulak et al., 2016). The goal is to help economic agents to limit environmental impacts (e.g., resource extraction, waste, pollution or carbon footprints), while maintaining or fostering economic performance. Most of the studies are related to a “transfer-and-translate” interface. The results are intended to be directly discussed with the decision makers, mainly the companies, but also trade or sector associations. The fact that the results or the tools can be directly mobilized by the actors is regularly a top priority. For example, Kulak et al. (2016) analyzed the bread supply chain using LCA to generate scenarios with experts during a collaborative design workshop, and then discussed the scenarios with farmers on a feedback loop basis. Blengini and Busto (2009) discussed the environmental impacts of alternative rice production systems using LCA and proposed their results as a tool for communication between suppliers and their customers.

3.2.2. Industrial ecology and symbiosis

Industrial ecology stems from Ayres's (2002) analogy between the ecosystems of ecological sciences and the industry. SEM representations represent products or substance flows, and focus on economic agents at different scales: an individual agent, e.g., a collective facility (Chance et al., 2018), a couple, e.g., an olive farm and a mill (Zabaniotou et al., 2015), or a large network of farmers or industries (Nowak et al., 2015; Frone and Frone, 2017). Studies are divided between retrospective case studies (Nuhoff-Isakhanyan et al., 2017) and scenarios of industrial symbiosis (a real, linear, unsustainable system is compared to a closed and ideal system). For example, Alfaro and Miller (2014) studied a small farming system at a village scale. A scenario of rural symbiosis was presented in the aim of increasing productivity and decreasing waste. While most studies do not rely on deep socio-economic analysis, some explore factors that are internal to economic agents such as knowledge, attitudes or practices. Multiple stakeholders are taken into account (e.g., farmers, extension agents) (Bellarby et al., 2017).

The goal of these approaches is to “close the loop” of materials and substances. Natural ecosystems are proposed as models for industrial activities: *“Our industrial system [would] behave like an ecosystem, where the wastes of a species [are] a resource to another species. The outputs of an industry [would] be the inputs of another, thus reducing use of raw materials and pollution”* (Frosch and Gallopoulos, 1989). The paradigmatic vision of sustainable industrial systems is characterized by minimized physical exchanges with the environment (Wassenaar, 2015). Researchers regularly work closely with companies and operators. They are involved in the choice of research directions and are the subject of particular attention in terms of translation of the results. Resource-use optimization is often considered to be synergistic with economic performance (or profit making). Researchers seek to provide data or tools that allow companies to better manage interactions within their economic ecosystem. Most of these studies rely on user-push or transfer-and-translate interfaces. In some cases involving long-term relationships, researchers take part in a research-within-management interface, aimed at building a planned industrial symbiosis (Iacondini et al., 2015).

3.3. Multi-faceted and composite representations

The articles in this type of SEM representation do not describe agri-food systems in terms of large-scale stocks and flows, nor do they propose an economic-agent-based funds and flows analysis. We present these "atypical" multi-faceted and composite representations of metabolism through three examples: (1) multi-scale analysis of agroecosystems; (2) agroecology within food systems and landscapes; and (3) pragmatic sociology and earthbound ecology.

3.3.1. Multi-scale intergated analysis of agroecosystems

This framwork is more broadly termed as Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM). It provides analysis of agroecosystems in terms of material and energy flows as well as biophysical and socio-economic funds. It provides theory and operational tools for characterization across multiple hierarchical levels of the performance of socio-economic activities (Giampietro et al., 2009). Serrano-Tovar and Giampietro (2014) characterize the socio-economic activities by a series of quantitative indicators at different scales (individual process, household, community). Humans workforce and the land are represented as funds, while flows are both material and economic. The main goal is the assessment of technical performance and better consideration of the biophysical constraints at the basis of economic activity. The sustainability is assessed in terms of viability (resources used and waste produced at rates compatible with those of the biophysical environment), feasiblity (human labour available), and desirability. The aim is to preserve the economic and ecological funds which ensure the metabolism works. In this sense, MuSIASEM is in direct continuity with Georgescu-Roegen's approaches.

When dealing with action, theoretical articles of MuSIASEM often refer to post-normal sciences. This method is intended to be a response to situations in which *"the facts [are] uncertain, values in dispute, stakes high and decisions urgent"* (Funtowicz and Jerome, 1995). It recognizes that each description of the metabolism is necessarily partial. There are mutually multiple descriptions of the metabolism, provided by different scientific communities, mutually irreducible to each other and nevertheless relevant. Post-normal science includes practices typical of research-within-management interfaces such as communication of uncertainties, taking part in social negotiation about desirable changes, and the co-evaluation of results within an extended peer community, including stakeholders. For example, Brunori et al. (2016) assess local and global food chains across different commodities and countries through multi-scale metabolic and participatory evaluation. The results are then discussed in workshops with stakeholders.

This negotiation and participatory part, although described as essential in theory (Giampietro, 2004), is nevertheless not described in every case study. Many studies follow similar methods without referring to MuSIASEM in the strict sense, nor following a post-normal approach. Gonzalez-Acevedo et al. (2016) compare different coffee systems according to ecological economic indicators (e.g., economic, energy performance and self-sufficiency), on the scale of households and society. The results are provided to coffee traders through a trickle-down interface.

3.3.2. Agroecology within food systems and landscapes

Agroecology is *"the integrative study of the ecology of the entire food system"* (Francis et al., 2003). It emphasizes the interrelatedness of all agroecosystem components and the complex dynamics of ecological processes (Altieri, 2002): agronomic and ecological analyses are combined with social or cultural aspects. Metabolic processes are given special attention (Gonźalez-Acevedo and Toledo, 2016). These processes include nutrient cycling, crop-livestock interactions (Bonaudo et al., 2014; Martin et al., 2016) and material flows in food systems (Francis et al., 2003; Vaarst et al., 2018). Whereas traditionally focused on farm and plot scale, the landscape, community and multi-scale approaches are receiving increasingly more attention. The description of the socio-economic context is based on analyses of power structures.

Science and action are considered together. Agroecology provides the basic ecological principles for how to study, design and manage agroecosystems (Altieri, 2002). It is both a science, an agricultural practice and a political movement (Wezel et al., 2009). Researchers claim normativity as their goal. They aim at a more sustainable agricultural system based on a strong dependence on ecological processes or services as well as on social justice. Action is considered broadly and involves civil society, NGOs, academics, local authorities, etc. Farmers are integrated into the construction of knowledge in participative action-research within a research-within-management interface (Ḿendez et al., 2013; Guzman and De Molina, 2015). For example, Moraine et al. (2017) propose a framework to perform integrated assessment of crop–livestock systems at the territorial level, combining ecological (crops, grasslands and animals) and social (farmers and chain actor interactions) systems. This framework is used as an intermediary object with stakeholders in participatory design approaches. However, many studies only provide elements of diagnosis or analysis in a trickle-down way. Resque et al. (2019) analyze agrobiodiversity, and how it relates to public mediated food chains. Stakeholder knowledge and perception is analyzed in relation to these programs. The results provide areas for management improvement.

3.3.3. Pragmatic sociology and earthbound ecology

In agro-food studies, this school of thought brings together constructivists approaches that have challenged previous understandings and include frameworks such as the actor-network-theory (Goodman, 2001) or convention theory (Kristensen and Kjeldsen, 2016; Coq-Huelva et al., 2012). They focuses attention on hybridity and the role of heterogeneous associations in complex networks (Goodman, 2001), and seek to understand what is happening in the process of building and stabilizing networks. Both humans and non-humans entities are considered as active agents (Callon, 1990). The researchers follow the actors in the situations they encounter, and provide qualitative descriptions of links. In agri-food studies, this implies following material flows through their transformations, in markets and technical devices. Representations describe composite consisting of heterogeneous elements including humans, materials and technical devices that flexibly adjust to one another and act collectively (Çalışkan and Callon, 2010). No scales are explicitly described.

Akrich et al. (2006) studied the process of network building around cane straw as a source of energy for households. The evolution of the straw flow is followed, and its transformations are analyzed in connection with other agents (technological tools, institutions, etc). The straw flow is not only a flow, in Georgescu-Roegen's terms, but also a real agent, that actively transforms other agents around it. Wegerif and Hebinck (2016) use an ethnomethodological approach to follow the agents implied in the food chain of a town, and trace interactions between them, highlighting transformations of food, people and ideas throughout the process. Socio-economic aspects are not considered as context, but rather considered as an integral part of the metabolism. These are described jointly as actor-networks.

The goal of pragmatic sociology is not normative, but procedural: it intends to bring attention to the network of ties that binds us to all life forms. These attachments sometimes described as "down-to-Earth", "earthbound" or "terrestrial" form the basis for a new definition of ecology (Latour and Porter, 2017). They aim to bring out different visions of metabolism concerning its sustainability (Onyas et al., 2018), resilience (Wegerif and Hebinck, 2016) or possible future arrangements (Kristensen and Kjeldsen, 2016). These works are considered as performative by the researchers. Following the internal logic of the school, we consider these works as relying on research-within-management.

4. Discussion

4.1. Limits and weaknesses

Our literature survey did not capture all the diversity of metabolic approaches. The keyword approach has made it possible to identify a variety of approaches from distant disciplines. However, it excluded relevant work only for vocabulary reasons. This is problematic since our field of study presents strong conceptual variability. Harvesting additional articles via the snowball effect has at least partially filled this gap. On the other hand, the method underestimates the non-English documents or books that were recovered only indirectly. The stock/flow/fund framework proposed by Georgescu-Roegen (1971) is sometimes difficult to operationalize. In practice, it is not always easy to distinguish whether an author refers to stocks or funds. Concerning socio-economic analyses, criteria such as quantitative/qualitative or micro/macro would also have led to a different classification. For science and technics scholars, the relationship to action is more complex than what has been described. Some authors refuse its reduction to an interface and consider instead that it is a process of translations where representations and actors mutually transform each other through a dynamic process (Callon, 1984). This type of interpretation would further require qualitative description work, which would be difficult to integrate into a simple analysis grid.

The schools of thought are constructed according to our reading of SEM representations and links with action that we perceived in the articles. The authors of the papers do not always claim to be from the schools in which they are classified. For example, the article by Mol et al. (2006) is mainly based on descriptions characteristic of the school of thought "Pragmatic sociology and earthbound ecology". However, these authors claim to rely partially on industrial ecology, without endorsing its goals.

4.2. Representation and action are deeply intertwined

Our work showed a diversity of schools, described in terms of the way they deal with SEM (representation and action) (Fig. 2). The way in which representations and action are intertwined is discussed by type of representation:

4.2.1. In space and compartment-based representations

In space and compartment-based representations scales usually correspond to administrative scales, e.g., countries or regions (Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009), which are usually "black- boxed". Action is not explicitly the main goal of these studies: researchers outline the problem and describe some of the quantities to be dealt with. The goal is normative and global, whether it is to change the economic system (Marxist ecology), or simply to drastically reduce its size (social ecology). Stakeholders are rarely involved and they are usually mobilized in a trickle-down interface. This contrasts with studies focused on smaller spatial scales such as urban or territorial ecology. They focus on smaller spatial scales and their goal is more agent-centered (e.g., sustainability of a given territory in urban and territorial ecology). Biophysical constraints are expressed at a territorial scale in a way favorable to their being taken into account by institutions: e.g., an Austrian-wide description is well suited to the Austrian authorities. Furthermore, when the metabolism is described at the scale of a given region, the administrative authorities of that region are regularly mentioned as partners. Policymakers and beyond them, governments or states, are assumed to be interested in handing collective problems such as the excessive size of SEM (Görg et al., 2017).

4.2.2. In economic agent-based representations

In economic agent-based representations authors explicitly claim their interest in action. The operational goal is agent-centered: economic, technical or environmental performance (e.g., closing the loop) is considered to be synergistic with the economic interest of companies.

Representation and actions are closely intertwined and this is reflected, in particular, by the place given to economic actors. Economic agents are given a central role since businesses are seen as the main actors able to handle change and technological innovation, and these are seen as essential for environmental improvement (Ayres and Ayres, 2002). They are considered as economic funds, analyzed as stakeholders, and considered as partners in research-management interfaces. Agents that are described as funds in SEM representations are the same as those that are considered as potential partners through user-push or transfer-and-translate interfaces.

4.2.3. In multi-faceted and composite representations

Multi-faceted and composite representations offer descriptions that are neither centered mainly on economic actors, nor on predetermined

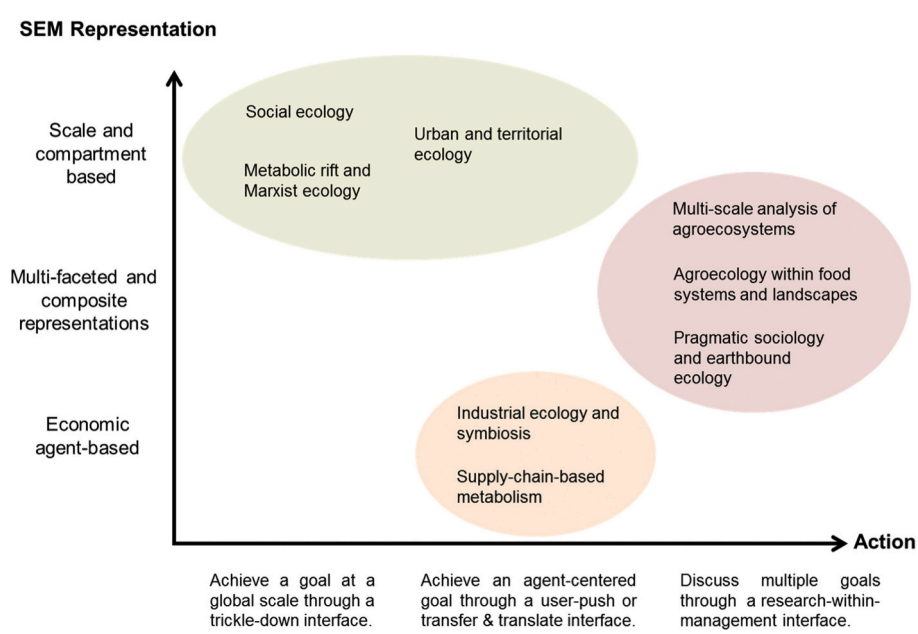


Fig. 2. Summary diagram of schools of thought according to modes of representation and action.

spaces or compartments. Multi-scale analysis of agroecosystems, agroecology or pragmatic sociology do this in different ways: they question scales, challenge the science/politics divide or integrate humans and non-humans, respectively. All rely on a representation of multiple funds and actors at different scales or in a non-scalar way. Each of these approaches proposes a renewed way of dealing with action. All these approaches explicitly consider that the relationship to action must be taken into account in scientific representations (by post-normal science, by taking into account indigenous knowledge, or by the performativity of descriptions, respectively). The authors insist on the importance of taking multiple agents into account when generating representations (choice of scales, entities to be represented), and discussing them through collective deliberation in a research-within-management interface.

4.3. The theoretical and practical limits of schools of thought

Each school of thought chooses to open different black boxes and focuses only on a part of the system. Representations focused on specific scales or actors favor certain (agricultural) models over others, e.g., a large-scale SEM representation would favor the dominant systems, masking a variety of alternative models. The fact that companies are described as central in industrial ecology helps to rule out any alternative model. Historians' work shows that this legitimization of industries through metabolic representations has roots that go back to the beginning of industrialization in the 19th century (Fressoz, 2016). Thus, each school defines different incommensurable visions of what a sustainable SEM should be and how it should be changed: schools of thought are also "schools for change". However, these positions are not definitive: there are not only variations within schools of thought, but also exchanges between them.

4.3.1. Practical cases diverge from theoretical claims

In some situations there is a discrepancy between the positions defended in the theoretical articles and what is actually described in the case studies. For example, MuSIASEM follows the proposals of post-normal science and states that researchers should take part in social negotiations and co-evaluate the results with stakeholders with a communication on uncertainties (Giampietro, 2005). However, these recommendations rarely appear in case studies. Agroecology claims that science and politics cannot be separated, and farmers, researchers and civil society must be associated in the construction of knowledge, practices and social struggles (Altieri and Toledo, 2011). Nonetheless, the case studies do not always show such a transdisciplinary posture. This difference generates dissensions and different competing narratives (Rivera-Ferre, 2018).

4.3.2. Schools of thought transform in relation to each other

The different schools of thought interact and define themselves in relation to each other. For example, agroecology presents itself as being opposed to input substitution like that proposed by industrial ecology (Rosset and Altieri, 1997), and opposes the idea that sustainability could be attained through a mono-supply chain approach (Francis et al., 2003). MuSIASEM proposes to focus on funds, as opposed to the stock and flow descriptions found in social ecology, and proposes decision-making based on social negotiation as opposed to the reductionist computer-based optimization found in industrial ecology (Giampetro, 2002). Territorial ecology considers itself different from industrial ecology seen as focusing exclusively on resource-use optimization or on industrial societies, and leaves room for non-material flows in its analysis (Buclet, 2015).

The different schools also influence each other. Social ecologists turn to multi-level analysis or downscale to get closer to actors (Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009). Urban ecologists look for quantitative tools in industrial ecology (Beloin-Saint-Pierre et al., 2017). Social agrarian metabolism is described as a fusion between agroecology and social ecology, analyzing agroecosystem components through a metabolic lens, as funds and flows (de Molina, 2020). Concepts such as agro-industrial ecology are proposed as mixes between agroecology and industrial ecology in the aim of more sustainable agricultural systems (Dumont et al., 2013; Fernandez-Mena et al., 2016).

4.4. An epistemological and methodological proposition to favor fruitful exchanges between the research communities and SEM change

SEM studies find themselves in a balance between two epistemologies, positive and practical. While the majority of researchers aim to a certain extent to produce positive or neutral results (Pauliuk and Hertwich, 2015), many SEM studies have a practical focus, judging their results by their usefulness in influencing reality.

This raises the question of unstructured methodological pluralism (Spash, 2013). In order to "unite the community", encourage "fruitful exchanges" or favor "change", "action", a certain number of authors have proposed definitions, epistemological or methodological positions and a set of attributes to be preserved in metabolic representations and in SEM in particular (Wassenaar, 2015; Pauliuk and Hertwich, 2015; Breetz, 2017; Beloin-Saint-Pierre et al., 2017). We suggest that an appealing path lies in the pragmatic philosophy.

4.4.1. A proposition anchored in pragmatism

This current of thought is born in the United States at the beginning of the 20th century with Charles Peirce, William James and John Dewey. It has made a major contribution in linking ideas and their consequences, and particularly their usefulness for action. The first pragmatists developed their ideas in opposition to the idealistic philosophers of their time. They criticized them for giving value to abstract concepts with no direct link to reality.

4.4.2. Pragmatism, an empiricist philosophy

To the idealistic attitude, pragmatism opposes an empirical one. The philosopher's work consists in inquiry, investigation. Ideas, concepts or representations have no value in themselves and must be tested in accordance with the facts. Thus, pragmatism is a generalization of the scientific and experimental spirit to the whole of our human experience.

Pragmatists propose to focus on the practical, factual consequences of our ideas. They enjoin us to *"consider the practical effects of the objects of [our] conception. Then, [to consider that our] conception of those effects is the whole of [our] conception of the object"* (Peirce and Dewey, 1923).

4.4.3. The issue of pluralism

How do pragmatists approach the issue of pluralism, which is of interest to us here? William James describes two opposing philosophical positions: monists and pluralists. For the monists, the world has an intrinsic and absolute unity. For pluralists, it is disjointed, and there are as many worlds as there are points of view. Pragmatists refuse to decide between these two extremes, seeking instead a mediating way. Wondering about *the One and the Many* from a pragmatic perspective means answering the following question: *"Granting the oneness to exist, what facts will be different in consequence? [...] What is the practical value of the oneness for us?"* (James, 1907).

4.4.3.1. A relational ontology. The pragmatic way consists in investigating what unites different elements, one by one. The world is one in the measure of the sum of the connections that we can discover in the experience. Oneness is described in the terms of links or relationship, i.e. in a relational ontology.

4.4.3.2. Multiple representations. Nevertheless, the criteria for judging links are innumerable, the experience is multiple (James, 1907). The diversity of criteria for satisfaction (or assessment) implies that there is necessarily a plurality of values, and therefore a plurality of possible representations.

4.4.3.3. Collective action and deliberation. The world is also multiple in the sense that the future of the world is indeterminate, it holds possibilities that cannot be predetermined. It always has something incomplete, something in the making. This means that the action and perspective of each human being counts. Pragmatism attaches great importance to collective action (Madelrieux and James, 2010), and especially deliberative and democratic processes that respect this pluralism (Rorty, 1999).

4.4.4. Socio-ecological metabolism from a pragmatic perspective

Our results show that the practical consequences of pragmatic thinking are already and variously taken into account by many schools of thought:

4.4.4.1. An empirical approach: metabolism as a reality rather than an analogy. Flows in industrial systems used to be compared to flows and processes internal to an organism. The reference to physiology is less used today, and it is the reference to ecology, the science which actually describes the movement of materials and energy through living communities, that is preferred (Pauliuk and Hertwich, 2015; Wassenaar, 2015). Social ecology proposes representations which describes social and natural metabolisms in the same ecological terms (Fischer-Kowalski and Rotmans, 2009; Kohlheb and Krausmann, 2009). MuSIASEM uses the funds/flows framework to investigate both human and non-human-made funds in economic processes. Pragmatic sociology and" earthbound" refer, often explicitly, to ecology.

4.4.4.2. A relational ontology through metabolic networks. Most schools refer more and more explicitly to a relational ontology. In industrial ecology and supply chains, some authors refer to "metabolic network", i.e., "a subset of a complex system of interconnected transformative processes across all scales of life" (Wassenaar, 2015), or rely on social and material network analysis (Schiller et al., 2014). In Marxist ecology, non-binary concepts such as the "metabolic shift" are recently preferred to the historic "metabolic rift", in order to focus on the transformations, rather than on the rupture between two ideal systems (Moore, 2017). In pragmatic sociology, it means abandoning levels or scales and focusing instead on intensifications and extensions of entangled dependencies (Conway, 2016).

4.4.4.3. Multiple representations: multiple scales, agents and values. Pluralism in terms of representations is widely shared: the SEM does not prescribe a specific level of aggregation or definitive boundaries (Pauliuk and Hertwich, 2015). Social ecology proposes representations at multiple scales, from local to global. In agroecology, scales such as the agroecosystem, the food system and the landscape are all considered as legitimate for investigation (Francis et al., 2003). Some schools take a step further and consider that multiple representations should be taken into account at the same time: MuSIASEM explicitly considers the existence of different "value systems" found among stakeholders. Their incommensurability implies that multiple and irreducible representations are inevitable (Giampietro et al., 2009). The same position is defended by pragmatic sociology or urban and territorial ecology which describes agents with different representations of the reality (Buclet, 2015; Latour and Porter, 2017).

4.4.4.4. Collective action and deliberation: multi-criteria-debate-based goals. Concerning action, most schools value collective action and deliberation, to a certain extent. This implies a shift from scientific-knowledge-based action to multi-criteria-debate-based one. Görg et al. (2017) propose anchoring social ecology in critical thinking and transdisciplinarity with the help of political ecology. This leads to considering several goals together, e.g., composing industrial ecology's goals with animal health, pollution or diversity, thanks to a multi-criteria analysis (Bonaudo et al., 2014). Wassenaar (2015), speaking about industrial ecology argues that goals or "desirable changes" "would best be based on locally debated criteria". Multi-faceted and composite representations adopt this posture more extensively: MuSIASEM acknowledges that decisions have to emerge from negotiation and are not a prerequisite engraved in stone. Pragmatic sociology, by taking an interest in the multiple representations of the actors and the particular situations in which they are linked, contributes to giving them a place in the social debate without imposing any normative goal. Agroecology gives a central place to the knowledge and choices of farmers, and re-anchors the choices regarding food systems on a societal scale.

5. Conclusion

This work offers some cross-sectional analysis that may be of value for SEM practitioners with an interest in social changes, including sustainability or transdisciplinary practices. It provides an understanding of the multiple schools of thought and can be used to acquire a better grasp of their sometimes implicit presuppositions. It also allows them to be discussed in relation to their choices of representation of metabolism, and in terms of goals and means of action. Our results suggest an opportunity to shift, in the study of SEM, from a positivist and value-free epistemology to pragmatism. Pragmatism provides an epistemology and methodology to deal with the multiple incompatible values at play in the transformation of SEM, which echoes a vision of Ecological Economics with weak comparability of values (Martinez-Alier et al., 1998).

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgement

The PhD scholarship of A.W. Gabriel is funded by INRAE. This study received funding from the French Environment & Energy Agency (ADEME) through the BOAT project. We would like to thank the anonymous reviewers as well as Sandrine Allain who contributed greatly to enhancing the quality of the article.

References

Akrich, Madeleine, Callon, Michel, Latour, Bruno, 2006. Sociologie de la traduction: textes fondateurs. fre. Collection Sciences Sociales. Ecole des mines de Paris, Paris.

Alfaro, Jose, Miller, Shelie, 2014. Applying Industrial Symbiosis to Smallholder Farms: Modeling a Case Study in Liberia, West Africa. J. Ind. Ecol. 18 (1), 145–154. https://doi.org/10.1111/jiec.12077.

Altieri, Miguel A., 2002. Agroecology : The Science of Natural Resource Management for Poor Farmers in Marginal Environments. Agric. Ecosyst. Environ. 93, 1–24.

Altieri, Miguel A., Toledo, Victor Manuel, 2011. The Agroecological Revolution in Latin America: Rescuing Nature, Ensuring Food Sovereignty and Empowering Peasants. J. Peasant Stud. 38 (3), 587–612. https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947.

Andrieu, N., et al., 2014. From Farm Scale Synergies to Village Scale Trade-Offs: Cereal Crop Residues Use in an Agro-Pastoral System of the Sudanian Zone of Burkina Faso. Agric. Syst. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.012.

Ayres, Robert U., Ayres, Leslie, 2002. A Handbook of Industrial Ecology. Edward Elgar Pub, Cheltenham, UK; Northampton, MA.

Barles, S., 2007. Urban Metabolism and River Systems: An Historical Perspective - Paris and the Seine, 1790-1970. English. Hydrol. Earth Syst. Sci. 11 (6), 1757–1769. https://doi.org/10.5194/hess-11-1757-2007.

Barles, Sabine, 2014. L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières. In: Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie. 5https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10090.

Barles, Sabine, 2015. The Main Characteristics of Urban Socio-Ecological Trajectories: Paris (France) from the 18th to the 20th Century. Ecol. Econ. 118, 177–185. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.027.

Barles, Sabine, Buclet, Nicolas, Territoriale, Gilles Billen. "L'écologie, 2011. Du Métabolisme Des Sociétés `a La Gouvernance Des Flux d'énergie et de Matières. In: CIST2011 - Fonder Les Sciences Du Territoire. Collège international des sciences du

territoire (CIST), Paris, France, pp. 16–22.
Bar-On, Yinon M., Phillips, Rob, Milo, Ron, 2018. The biomass distribution on Earth. PNAS. https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115.
Bellarby, J., et al., 2017. Strategies for Sustainable Nutrient Management: Insights from a Mixed Natural and Social Science Analysis of Chinese Crop Production Systems. Environ. Dev. 21, 52–65. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.10.008.
Beloin-Saint-Pierre, Didier, et al., 2017. A Review of Urban Metabolism Studies to Identify Key Methodological Choices for Future Harmonization and Implementation. J. Clean. Prod. 163, S223–S240. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.014.
Billen, G., et al., 2012. Grain, Meat and Vegetables to Feed Paris: Where Did and Do They Come from? Localising Paris Food Supply Areas from the Eighteenth to the Twenty-First Century. Reg. Environ. Chang. 12 (2), 325–335. https://doi.org/10.1007/s10113-011-0244-7.
Blengini, Gian Andrea, Busto, Mirko, 2009. The Life Cycle of Rice: LCA of Alterna- tive Agri-Food Chain Management Systems in Vercelli (Italy). J. Environ. Manag. 90 (3), 1512–1522. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.006.
Bonaudo, Thierry, et al., 2014. Agroecological Principles for the Redesign of Integrated Crop – Livestock Systems. Europe 57, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013. 09.010.
Lex Bouwman et al. "Exploring Global Changes in Nitrogen and Phosphorus Cycles in Agriculture Induced by Livestock Production over the 1900-2050 Period". Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 110.52 (2013), 20882–20887. doi: 10.1073/pnas.1012878108.
Breetz, Hanna L., 2017. Political-Industrial Ecology: Integrative, Complementary, and Crit- ical Approaches. Geoforum 85, 392–395. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.11.011.
Brunori, Gianluca, et al., 2016. Are Local Food Chains More Sustainable than Global Food Chains? Considerations for Assessment. Sustainability 8 (5), 449. https://doi.org/10.3390/su8050449.
Buclet, Nicolas, 2011. Écologie Industrielle et Territoriale: Stratégies Locales Pour Un Développement Durable. In: Environnement et Société. Villeneuve d'Ascq. Presses universitaires du Septentrion, France.
Buclet, Nicolas (Ed.), 2015. Essai d'écologie territoriale: l'exemple d'Aussois en Savoie. CNRS éditions, Paris French. OCLC: 944030575.
Çalışkan, Koray, Callon, Michel, 2010. Economization, Part 2: A Research Programme for the Study of Markets. Economy and Society. https://doi.org/10.1080/03085140903424519.
Callon, Michel, 1984. Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St Brieuc Bay. Sociol. Rev. 32 (1 suppl), 196–233. https://doi.org/10.1111/j.1467-954X. 1984.tb00113.x.
Callon, Michel, 1990. Techno-Economic Networks and Irreversibility. Sociol. Rev. 38 (1), 132–161. https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1990.tb03351.x.
Cerceau, Juliette, et al., 2014. Quel territoire pour quelle écologie industrielle? Contribution à la définition du territoire en écologie industrielle. In: Développement durable et ter- ritoires, https://doi.org/10.4000/developpementdurable. 10179. Vol. 5, n.1.
Chance, Eva, et al., 2018. The Plant-An Experiment in Urban Food Sustainability. Environ. Prog. Sustain. Energy 37 (1), 82–90.
Clausen, Rebecca, Clark, Brett, Stefano, B.L., 2015. Metabolic Rifts and Restora- tion: Agricultural Crises and the Potential. World Rev. Polit. Econ. 6 (1), 4–32.
Conway, Philip, 2016. Back down to Earth: Reassembling Latour's Anthropocenic Geopoli- tics. Global Discourse 6 (1–2), 43–71. https://doi.org/10.1080/23269995.2015.1004247.
Coq-Huelva, Daniel, García-Brenes, Manuel David, Assumpta, Sabuco-i-Cant´o, 2012. Commodity Chains, Quality Conventions and the Transformation of Agro-Ecosystems: Olive Groves and Olive Oil Production in Two Andalusian Case Studies. European Urban Regional Studies 19 (1), 77–91. https://doi.org/10.1177/0969776411428560.
Courtonne, Jean-Yves, et al., 2016. Environmental Pressures Embodied in the French Cereals Supply Chain. J. Ind. Ecol. 20 (3), 423–434. https://doi.org/10.1111/jiec.12431.
Cusso, X., Garrabou, R., Tello, E., 2006. Social Metabolism in an Agrarian Region of Catalonia (Spain) in 1860-1870: Flows, Energy Balance and Land Use. Ecol. Econ. 58 (1), 49–65. https://doi.org/10.1016/j. ecolecon.2005.05.026.
de Astarloa, D.A. D´iaz, Pengue, W.A., 2018. Nutrients Metabolism of Agricultural Production in Argentina: NPK Input and Output Flows from 1961 to 2015. Ecol. Econ. 147, 74–83. https://doi.org/10.1016/j. ecolecon.2018.01.001.
de Molina, Manuel González, et al., 2020. Agrarian Metabolism: The Metabolic Approach Applied to Agriculture. In: The Social Metabolism of Spanish Agriculture, 1900–2008. Vol. 10. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–28.
Dumont, B., et al., 2013. Prospects from Agroecology and Industrial Ecology for Animal Production in the 21st Century. Animal 7 (6), 1028–1043.
Erb, Karl-Heinz, 2012. How a Socio-Ecological Metabolism Approach Can Help to Advance Our Understanding of Changes in Land-Use Intensity. Ecol. Econ. 76, 8–14. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.02.005.
Fernandez-Mena, Hugo, Nesme, Thomas, Pellerin, Sylvain, 2016. Towards an Agro-Industrial Ecology: A Review of Nutrient Flow Modelling and Assessment Tools in Agro-Food Systems at the Local Scale. Sci. Total Environ. 543, 467–479. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.032.
Fernandez-Mena, Hugo, et al., 2019. Flows in Agro-Food Networks (FAN): An Agent-Based Model to Simulate Local Agricultural Material Flows. Agric. Syst., 102718. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102718.
Filippini, R., et al., 2016. Food Production for the City: Hybridization of Farmers' Strategies between Alternative and Conventional Food Chains. Agroecol. Sustain. Food Syst. 40 (10), 1058–1084.
Fischer-Kowalski, Marina, Haberl, Helmut, 2015. Social Metabolism: A Metric for Biophysical Growth and Degrowth. In: Martinez-Alier, Joan (Ed.), Handbook of Ecological Economics. Edward Elgar Publishing, pp. 100–138. https://doi.org/10.4337/9781783471416.00009.
Fischer-Kowalski, Marina, Huuttler, Walter, 1998. Society's Metabolism. J. Ind. Ecol. 2 (4), 107–136.
Fischer-Kowalski, Marina, Rotmans, Jan, 2009. Conceptualizing, Observing, and Influencing Social–Ecological Transitions. Ecol. Soc. 14, 2. https://doi.org/10.5751/ES-02857-140203.
Foster, John Bellamy, 2000. Marx's Ecology: Materialism and Nature. Monthly Review Press, New York.
Foster, Chris, et al., 2014. The Environmental Effects of Seasonal Food Purchase: A Raspberry Case Study. J. Clean. Prod. 73, 269–274. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.077.
Francis, C., et al., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. J. Sustain. Agric. 22 (3), 99–118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10.
Frankova, Eva (Ed.), 2017. Socio-Metabolic Perspectives on the Sustainability of Local Food Systems. Springer Berlin Heidelberg, New York, NY.
Fressoz, Jean-Baptiste, 2016. La Main Invisible A-t-Elle Le Pouce Vert ?: Les Faux-Semblants de l'écologie Industrielle Au Xixe Siècle. Techniq. Cult. 65-66, 324–339. https://doi.org/10.4000/tc.8084.
Frone, Dumitru Florin, Frone, Simona, 2017. Circular Economy in Romania: An Industrial Synergy in the Agri-Food Sector. Manage. Econ. Eng. Agric. Rural Dev. 17 (2), 103–109.
Frosch, Robert A., Gallopoulos, Nicholas E., 1989. Strategies for Manufacturing. Sci. Am. 261 (3), 144–152 10.1038/ scientificamerican0989-144.
Funtowicz, S.O., Jerome, R.R., 1995. Science for the Post Normal Age. In: Westra, Laura, Lemons, John (Eds.), Perspectives on Ecological Integrity. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 146–161 Environmental Science and Technology Library.
Gamboa, Gonzalo, 2011. Assessing the Sustainability of the Metabolic Patterns of Mayan-Q'eqchi' Peasant Households: The Polochic Valley. Latin American and Caribbean Environmental Economics Program, Guatemala Working Paper 201128.
Georgescu-Roegen, Nicholas, 1971. The Entropy Law and the Economic ProcessGerman. Harvard University Press.
Gerber, Julien-François, Arnim, Scheidel, 2018. Search of Substantive Economics: Comparing Today's Two Major Socio-Metabolic Approaches to the Economy – MEFA and MuSIASEM. Ecol. Econ. 144, 186–194. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.012.
Giampetro, Mario, 2002. Complexity and Scales: The Challenge for Integrated Assessment. Integr. Assess. 3 (3), 247–265 10.1076/ iaij.3.2.247.13568.
Giampietro, M., 2004. Multi-Scale Integrated Analysis of Agroecosystems. Advances in Agroecology. CRC Press, Boca Raton, Fla.
Giampietro, Mario, 2005. Complexity and Scales: The Challenge. Integr. Assess. 3 (2).
Giampietro, Mario, Mayumi, Kozo, Ramos-Martin, Jesus, 2009. Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM): Theoretical Concepts and Basic Rationale. Energy. 313–322 WESC 2006Advances in Energy Studies6th World Energy System Conference5th Workshop on Advances, Innovation and Visions in En- ergy and Energy-Related Environmental and Socio-Economic Issues 34.3.
Glover, Dominic, Stone, Glenn Davis, 2018. Heirloom Rice in Ifugao: An 'Anti-Commodity' in the Process of Commodification. J. Peasant Stud. 45 (4), 776–804. https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1284062.
Gomiero, Tiziano, 2017. Biophysical Analysis of Agri-Food Systems: Scales, Energy Efficiency, Power and Metabolism of Society. In: Socio-Metabolic Perspectives on the Sustainability of Local Food Systems. Vol. 7. Springer International Publishing, Cham, pp. 69–101 Eva Fraňkov´a, Willi Haas, and Simron, J. Singh.
Gomiero, Tiziano, Giampietro, Mario, 2001. Multiple-Scale Integrated Analysis of Farming Systems: The Thuong Lo Commune (Vietnamese Uplands) Case Study. Popul. Environ. 22 (3), 315–325.
González-Acevedo, Alejandra, Toledo, Víctor M., 2016. Metabolismos Rurales : indi- cadores econ´omico ecológicos y su aplicaci´on a sistemas cafeteros. Revibec : revista de la Red Iberoamericana de Economia Ecol´ogica 26, 0223–0237.
Goodman, D., 2001. Ontology Matters: The Relational Materiality of Nature and Agro-Food Studies. Sociol. Rural. 41 (2), 182. https://doi.org/10.1111/1467-9523.00177.
Görg, Christoph, et al., 2017. Challenges for Social-Ecological Transformations: Contributions from Social and Political Ecology. Sustainability 9 (7), 1045. https://doi.org/10.3390/su9071045.
Gosselin, Frédéric, et al., 2018. Ecological Research and Environmental Management: We Need Different Interfaces Based on Different Knowledge Types. J. Environ. Manag. 218, 388–401. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.025.
Gray, Benjamin J., Gibson, Jane W., 2013. Actor-Networks, Farmer Decisions, and Identity. Cult. Agricult. Food Environ. 35 (2), 82–101. https://doi.org/10.1111/cuag.12013.
Grešlov´a, Petra, et al., 2019. Agroecosystem Energy Metabolism in Czechia and Poland in the Two Decades after the Fall of Communism: From a Centrally Planned System to Market Oriented Mode of Production. Land Use Policy 82, 807–820. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.008.
Grešlová, Petra, et al., 2015. Social Metabolism of Czech Agriculture in the Period 1830–2010. AUC Geographic A 50 (1), 23–35. https://doi.org/10.14712/23361980.2015.84.
Grillot, Myriam, et al., 2018. Multi-Level Analysis of Nutrient Cycling within Agro-Sylvo-Pastoral Landscapes in West Africa Using an Agent-Based Model. Environ. Model Softw. 107, 267–280. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.003.
Gueldner, Dino, Krausmann, Fridolin, 2017. Nutrient Recycling and Soil Fertility Management in the Course of the Industrial Transition of Traditional, Organic Agriculture: The Case of Bruck Estate, 1787-1906. Agric. Ecosyst. Environ. 249, 80–90. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.038.
Gunderson, Ryan, 2011. The Metabolic Rifts of Livestock Agribusiness. Organ. Environ. 24 (4), 404–422 10.1177/ 1086026611424764.

Guzman, Gloria I., De Molina, Manuel Gonzalez, 2015. Energy Efficiency in Agrarian Systems From an Agroecological Perspective. Agroecol. Sustain. Food Syst. 39 (8), 924–952. https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1053587.
Guzman, Gloria I., et al., 2018. Spanish Agriculture from 1900 to 2008: A Long-Term Perspective on Agroecosystem Energy from an Agroecological Approach. Reg. Environ. Chang. 18 (4 SI), 995–1008. https://doi.org/10.1007/s10113-017-1136-2.
Haberl, Helmut, et al., 2019. Contributions of Sociometabolic Research to Sustainability Science. Nat. Sustain. 2 (3), 173–184. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2.
Hobbes, Marieke, et al., 2007. Material Flows in a Social Context - A Vietnamese Case Study Combining the Materials Flow Analysis and Action-in-Context Frameworks. J. Ind. Ecol. 11 (1), 141–159. https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1049.
Iacondini, Antonella, et al., 2015. Feasibility of Industrial Symbiosis in Italy as an Opportu- nity for Economic Development: Critical Success Factor Analysis, Impact and Con- strains of the Specific Italian Regulations. Waste Biomass Valoriz. 6 (5), 865–874. https://doi.org/10.1007/s12649-015-9380-5.
James, William, 1907. Pragmatism. Hackett Pub. Co, Indianapolis.
Kohlheb, Norbert, Krausmann, Fridolin, 2009. Land Use Change, Biomass Production and HANPP: The Case of Hungary 1961-2005. Ecol. Econ. 69 (2), 292–300. https://doi.org/10.1016/j. ecolecon.2009.07.010.
Krausmann, F., 2004. Milk, Manure, and Muscle Power. Livestock and the Transformation of Preindustrial Agriculture in Central Europe. Hum. Ecol. 32 (6), 735–772. https://doi.org/10.1007/s10745-004-6834-y.
Krausmann, Fridolin, 2009. Land Use and Socio-Economic Metabolism in Pre-Industrial Agricultural Systems: Four Nineteenth-Century Austrian Villages in Comparison. Inst. of Social Ecology, IFF-Fac. for Interdisciplinary Studies, Klagenfurt Univ.
Krausmann, Fridolin, et al., 2009. Growth in Global Materials Use, GDP and Population during the 20th Century. Ecol. Econ. 68 (10), 2696–2705. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007.
Kristensen, Dan Kristian, Kjeldsen, Chris, 2016. Imagining and Doing Agro-Food Fu- tures Otherwise: Exploring the Pig City Experiment in the Foodscape of Denmark. J. Rural. Stud. 43, 40–48. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.11.011.
Kulak, Michal, et al., 2016. Eco-Efficiency Improvement by Using Integrative Design and Life Cycle Assessment. The Case Study of Alternative Bread Supply Chains in France. J. Clean. Prod. 112 (4), 2452–2461. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.002.
Kuskova, Petra Greslova, 2013. A Case Study of the Czech Agriculture since 1918 in a Socio- Metabolic Perspective - From Land Reform through Nationalisation to Privatisation. Land Use Policy 30 (1), 592–603.
Kytzia, Susanne, Faist, Mireille, Baccini, Peter, 2004. Economically Extended—MFA: A Material Flow Approach for a Better Understanding of Food Production Chain. J. Clean. Prod. 12 (8-10), 877–889. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.004.
Latour, Bruno, Porter, Catherine, 2017. Facing Gaia: Eight Lectures on the New Climatic Regime. Polity, Cambridge, UK; Medford, MA.
Le Velly, Ronan, Dufeu, Ivan, 2016. Alternative Food Networks as Market Agence- ments: Exploring Their Multiple Hybridities. J. Rural. Stud. 43, 173–182 10.1016/ j.jrurstud.2015.11.015.
Lemaire, Gilles, et al., 2014. Integrated Crop–Livestock Systems: Strategies to Achieve Syn- ergy between Agricultural Production and Environmental Quality. Agric. Ecosyst. Environ. 190, 4–8. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009.
Śtephane Madelrieux and William James. Le pragmatisme de William James (Pre- sentation). French. OCLC: 762818996. Paris: Le Monde : Flammarion, 2010.
Madison, Mark Glen, 1997. Potatoes Made of Oil: Eugene and Howard Odum and the Origins and Limits of American Agroecology. Environ. Hist. 3 (2), 209–238.
Magalhães, Nelo, Fressoz, Jean-Baptiste, Jarrige, François, Le Roux, Thomas, Levillain, Gaëtan, Lyautey, Margot, Noblet, Guillaume, Bonneuil, Christophe, 2019. The Physical Economy of France (1830–2015). The History of a Parasite? Ecological Economics. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.001.
Martin, Guillaume, et al., 2016. Crop–Livestock Integration beyond the Farm Level: A Review. Agron. Sustain. Dev. 36 (3), 53 10.1007/ s13593-016-0390-x.
Martinez-Alier, Joan, Munda, Giuseppe, O'Neill, John, 1998. Weak Comparability of Values as a Foundation for Ecological Economics. Ecol. Econ. 26 (3), 277–286. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00120-1.
Martinez-Alier, Joan, et al., 2010. Social Metabolism, Ecological Distribution Conflicts, and Valuation Languages. Ecol. Econ. 70 (2), 153–158. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.024.
Mateo Mier y Teŕan Giḿenez Cacho et al, 2018. Bringing Agroecology to Scale: Key Drivers and Emblematic Cases. Agroecol. Sustain. Food Syst. 42 (6), 637–665. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1443313.
Ḿendez, V., et al., 2017. Integrating Agroecology and Participatory Action Research (PAR): Lessons from Central America. Sustainability 9 (5), 705.
Ḿendez, Ernesto V., Bacon, Christopher M., Cohen, Roseann, 2013. Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. Agroecol. Sustain. Food Syst. 18.
Miranda-Ackerman, Marco A., Azzaro-Pantel, Catherine, Aguilar-Lasserre, Alberto A., 2017. A Green Supply Chain Network Design Framework for the Processed Food Indus- try: Application to the Orange Juice Agrofood Cluster. Comput. Ind. Eng. 109, 369–389. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.031.
Mol, A.P.J., Tran Thi My Dieu, 2006. Analysing and Governing Environmental Flows: The Case of Tra Co Tapioca Village, Vietnam. Njas-Wageningen J. Life Sci. 53 (3–4), 301–317.
Moore, Jason W., 2011. Transcending the Metabolic Rift: A Theory of Crises in the Capitalist World-Ecology. J. Peasant Stud. 38 (1), 1–46. https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538579.
Moore, Jason W., 2017. Metabolic Rift or Metabolic Shift? Dialectics, Nature, and the World-Historical Method. Theory Soc. 46 (4), 285–318. https://doi.org/10.1007/s11186-017-9290-6.
Moraine, Marc, Duru, Michel, Therond, Olivier, 2017. A Social-Ecological Framework for Analyzing and Designing Integrated Crop-Livestock Systems from Farm to Territory Levels. Renew. Agric. Food Syst. 32 (1), 43–56.
Niutanen, V., Korhonen, J., 2003. Industrial Ecology Flows of Agriculture and Food Industry in Finland: Utilizing by-Products and Wastes. Int J Sust Dev World 10 (2), 133–147.
Nowak, Benjamin, et al., 2015. Nutrient Recycling in Organic Farming Is Related to Diversity in Farm Types at the Local Level. Agric. Ecosyst. Environ. 204, 17–26. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.010.
Nuhoff-Isakhanyan, Gohar, et al., 2017. Network Structure in Sustainable Agro-Industrial Parks. J. Clean. Prod. 141, 1209–1220. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.196.
Odum, Howard T., 1971. Environment, Power, and Society, 1st edition. John Wiley & Sons Inc, New York, NY.
Oliveira, Pedro Miguel, Natario, Maria Manuela, 2016. Territorial Innovation Systems and Strategies of Collective Efficiency The Case of Tagus Valley Agro-Food Complex. Eur. J. Innov. Manag. 19 (3), 362–382. https://doi.org/10.1108/EJIM-07-2014-0072.
Onyas, Winfred Ikiring, McEachern, Morven G., Ryan, Annmarie, 2018. Co-Constructing Sustainability: Agencing Sustainable Coffee Farmers in Uganda. J. Rural. Stud. 61, 12–21. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud. 2018.05.006.
Pagotto, Murilo, Halog, Anthony, 2016. Towards a Circular Economy in Australian Agri-Food Industry An Application of Input-Output Oriented Approaches for Analyzing Resource Efficiency and Competitiveness Potential. J. Ind. Ecol. 20 (5), 1176–1186. https://doi.org/10.1111/jiec.12373.
Pauliuk, Stefan, Hertwich, Edgar G., 2015. Socioeconomic Metabolism as Paradigm for Studying the Biophysical Basis of Human Societies. Ecol. Econ. 119, 83–93. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.08.012.
Peirce, Charles S., Dewey, John, 1923. Chance, Love, and Logic: Philosophical Essays. en. Ed. by Morris R Cohen, 1st ed. Routledgehttps://doi.org/10.4324/9781315823126.
Resque, Antonio L., et al., 2019. Agrobiodiversity and Public Food Procurement Programs in Brazil: Influence of Local Stakeholders in Configuring Green Mediated Markets. Sustainability 11 (5), 1425.
Rivera-Ferre, Marta G., 2018. The Resignification Process of Agroecology: Competing Nar- ratives from Governments, Civil Society and Intergovernmental Organizations. Agroecol. Sustain. Food Syst. 42 (6), 666–685. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1437498.
Rorty, Richard, 1999. Pragmatism as Anti-Authoritarianism. Rev. Int. Philos. 53 (207), 7–20.
Rosset, Peter M., Altieri, Miguel A., 1997. Agroecology versus Input Substitution: A Fundamental Contradiction of Sustainable Agriculture. Soc. Nat. Resour. 10 (3), 283–295. https://doi.org/10.1080/08941929709381027.
Ryschawy, Julie, et al., 2017. Designing Crop–Livestock Integration at Different Levels: Toward New Agroecological Models? Nutr. Cycl. Agroecosyst. 108 (1), 5–20.
Scheidel, Arnim, Farrell, Katharine N., 2015. Small-Scale Cooperative Banking and the Production of Capital: Reflecting on the Role of Institutional Agreements in Supporting Rural Livelihood in Kampot, Cambodia. Ecol. Econ. 119, 230–240. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.008.
Schiller, Frank, Penn, Alexandra S., Basson, Lauren, 2014. Analyzing Networks in Industrial Ecology – a Review of Social-Material Network Analyses. J. Clean. Prod. 76, 1–11. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2014.03.029.
Schneider, Mindi, 2017. Wasting the Rural: Meat, Manure, and the Politics of Agro-Industrialization in Contemporary China. Geoforum 78, 89–97. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.12.001.
Schneider, Mindi, McMichael, Philip, 2010. Deepening, and Repairing, the Metabolic Rift. J. Peasant Stud. 37 (3), 461–484. https://doi.org/10.1080/03066150.2010.494371.
Sellitto, Miguel Afonso, Vial, Luis Antonio Machado, Viegas, Claudia Viviane, 2018. Critical Success Factors in Short Food Supply Chains: Case Studies with Milk and Dairy Producers from Italy and Brazil. J. Clean. Prod. 170, 1361–1368. https://doi.org/10.1016/j.jclepro. 2017.09.235.
Serrano-Tovar, Tarik, Giampietro, Mario, 2014. Multi-Scale Integrated Analysis of Rural Laos: Studying Metabolic Patterns of Land Uses across Different Levels and Scales. Land Use Policy 36, 155–170. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.003.
Shastri, Yogendra, et al., 2011. Agent-Based Analysis of Biomass Feedstock Production Dynamics. Bioenergy Res. 4 (4), 258–275. https://doi.org/10.1007/s12155-011-9139-1.
Simboli, Alberto, Taddeo, Raffaella, Morgante, Anna, 2015. The Potential of Indus- trial Ecology in Agri-Food Clusters (AFCs): A Case Study Based on Valorisation of Auxiliary Materials. Ecol. Econ. 111, 65–75. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.01.005.
Soto, David, et al., 2016. The Social Metabolism of Biomass in Spain, 1900-2008: From Food to Feed-Oriented Changes in the Agro-Ecosystems. Ecol. Econ. 128, 130–138 10.1016/ j.ecolecon.2016.04.017.
Spash, Clive L., 2013. The Shallow or the Deep Ecological Economics Movement? Ecol. Econ. 93, 351–362. https://doi.org/10.1016/j. ecolecon.2013.05.016.
Tamura, Shuichi, Fujie, Koichi, 2014. Material Cycle of Agriculture on Miyakojima Island: Material Flow Analysis for Sugar Cane, Pasturage and Beef Cattle. Sustainability 6 (2), 812–835.
Tedesco, Camille, et al., 2017. Potential for Recoupling Production and Consumption in Peri- Urban Territories: The Case-Study of the Saclay Plateau near Paris, France. Food Policy 69, 35–45. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.006.
Vaarst, Mette, et al., 2018. Exploring the Concept of Agroecological Food Systems in a City-Region Context. Agroecol. Sustain. Food Syst. 42 (6), 686–711. https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1365321.
Vivien, F.-D., et al., 2019. The Hijacking of the Bioeconomy. Ecol. Econ. 159, 189–197. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01. 027.
Wassenaar, Tom, 2015. Reconsidering Industrial Metabolism: From Analogy to Denoting

Actuality. J. Ind. Ecol. 19 (5), 715–727. https://doi.org/10.1111/jiec.12349.
Wegerif, Marc C.A., Hebinck, Paul, 2016. The Symbiotic Food System: An Alterna- tive Agri-Food System Already Working at Scale. Agriculture-Basel 5 (3), 40. https://doi.org/10.3390/agriculture6030040.
Wezel, A., et al., 2009. Agroecology as a Science, a Movement and a Practice. A Review. Agron. Sustain. Dev. 29 (4), 503–515.
Wezel, Alexander, et al., 2018. Agroecology in Europe: Research, Education, Collective Action Networks, and Alternative Food Systems. Sustainability 10 (4), 1214. https://doi.org/10.3390/su10041214.
Wirsenius, Stefan, 2003. The Biomass Metabolism of the Food System: A Model-Based Sur- vey of the Global and Regional Turnover of Food Biomass. J. Ind. Ecol. 7 (1), 47–80. https://doi.org/10.1162/108819803766729195.
Xu, Wanying, et al., 2016. Understanding the Mechanism of Food Waste Management by Using Stakeholder Analysis and Social Network Model: An Industrial Ecology Perspective. Ecol. Model. 337, 63–72. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.06.006.
Yazan, Devrim Murat, et al., 2018. Cooperation in Manure-Based Biogas Production Networks: An Agent-Based Modeling Approach. Appl. Energy 212, 820–833. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.074.
Yuan, Zengwei, et al., 2011. Phosphorus Flow Analysis of the Socioeconomic Ecosystem of Shucheng County, China. Ecol. Appl. 21 (7), 2822–2832.
Zabaniotou, A., et al., 2015. Boosting Circular Economy and Closing the Loop in Agriculture: Case Study of a Small-Scale Pyrolysis-Biochar Based System Integrated in an Olive Farm in Symbiosis with an Olive Mill. Environ. Dev. 14, 22–36. https://doi.org/10.1016/j. envdev.2014.12.002.
Zhang, Yan, et al., 2012. Ecological Network Analysis of China's Societal Metabolism. J. Environ. Manag. 93 (1), 254–263. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.013.

Article 2. Residual biomass management in agricultural systems in the Drôme valley: Discussion of two programs of ecologization: industrial and earthbound (Proceedings of IFSA 2020 Conference – reporté)

ANNEXES

Table des annexes

ANNEXE 1. DONNEES ET ENQUETES.....324

ANNEXE 1.1 DONNEES PREEXISTANTES 325
ANNEXE 1.2 ENTRETIENS AUPRES DES ACTEURS DES FILIERES ET DES TERRITOIRES 329
ANNEXE 1.3 ENTRETIENS AUPRES DES AGRICULTEURS 330
ANNEXE 1.4 LE GUIDE D'ENTRETIEN 332

ANNEXE 2. CALCULS DE LA PRODUCTION DE BIOMASSES RESIDUAIRES SUR LE TERRITOIRE 341

ANNEXE 2.1 LES FILIERES ANIMALES SUR LE TERRITOIRE 341
ANNEXE 2.2 LES FILIERES VEGETALES 345
ANNEXE 2.3 LES DECHETS INDUSTRIELS 349
ANNEXE 2.4 LES DECHETS URBAINS 350

ANNEXE 3. TRAITEMENT DES DONNEES.....353

ANNEXE 3.1 TABLES DE NŒUDS ET DE LIENS DESAGREGEES 353
ANNEXE 3.2 TABLES DE NŒUDS ET DE LIENS AGREGEES 360
TABLE DE NŒUDS AGREGEE 360
TABLE DE LIENS AGREGEE 362
ANNEXE 3.3 EXEMPLES DE REQUETES SQL POUR UNE FORME D'AGREGATION 363
ANNEXE 3.4 MATRICE DE BERTIN 364

ANNEXE 4. CARACTERISATION DES MONDES DANS LE DISCOURS DES AGRICULTEURS 365

Annexe 1. Données et enquêtes

Annexe 1.1 Données préexistantes

1.1.1 Bases de données

Bases de données		Date	Détails
RA	Recensement général agricole.	2010	Surfaces par type de culture Nombre d'animaux
BDNI	Base de donnée nationale d'identification. Identification des bovins et des petits ruminants, à l'échelle de la commune.	2018	Nombre d'animaux Nombre d'UGB
DATARA	Données publiques Rhône-Alpes		Nombre de bâtiments d'élevage
ICPE	Installations classées pour la protection de l'environnement	2018	Dossier de demande d'autorisation (Installations classées ICPE) pour les élevages industriels et les IAA notamment Quantité d'effluents produits (maximum autorisé) Type et nature des effluents
Agence Bio		2018	Surfaces et cheptel par filière.
RPG	Registre Parcellaire Graphique.	2017	Surfaces par types de culture Nombre d'animaux

1.1.2 Littérature grise

Type	Date	Titre	Auteur
Document de travail	2015	Programme agricole Biovallée	Biovallée
Données statistiques	1988	Données statistiques : Territoire du Davd	AGRESTE
Données statistiques	1980	RGA Drôme	Ministère de l'agriculture
Dossier	2013	Dossier de presse Biovallée	Biovallée
Dossier de candidature	2019	Dossier de candidature TIGA Biovallée : Un écosystème rural précurseur et reproductible	Biovallée
Dossier de candidature	1994	Opérations locales agriculture-environnement : Dossier de candidature	CCVD
Dossier de demande d'autorisation	2003	Dossier de demande d'autorisation d'un élevage de volailles d'une capacité de 49200 animaux	GREL Philippe
Dossier de demande d'autorisation	2001	Dossier de demande d'autorisation d'un chenil d'une capacité de 130 chiens	Chenil de la Rochette
Dossier de demande d'autorisation	2001	Dossier de demande d'autorisation de procéder à l'extension d'un elevage de volailles pour refection d'un batiment d'élevage	Alain Freyssin
Dossier de demande d'autorisation	2001	Dossier de demande d'autorisation Lorifruit	LORIFRUIT
Mémoire étudiant	2014	Plateforme de compostage en milieu clos - Approche pluridisciplinaire pour l'évaluation du risque chimique	Lucia Tichadou
Mémoire étudiant	2011	Comment l'agriculteur participe au développement durable de son territoire à travers les circuits courts ?	Leslie Mouyeaux
Mémoire étudiant	2011	Dynamiques territoriales de transition vers l'agriculture biologique dans la vallée de la Drôme	Julia Tual
Mémoire étudiant	2008	Développer les échanges entre agriculteurs et consommateurs pour une collectivité locale : Exemple du Val de Drôme	Elina Harinck
Mémoire étudiant	2008	Stratégies de commercialisation des agriculteurs bio : entre choix individuel, filière et territoire : Les producteurs ovins et légumiers dans la Drôme	Audrey Vincent
Mémoire étudiant	2006	La méthanisation à la ferme : Etude technique professionnelle	Zuchello Frederic
Mémoire étudiant	2006	Chroniques énergétiques en val de drôme : étude de projet	Zuchello Frederic
Mémoire étudiant	2005	Développement de l'agriculture biologique en Val de Drôme	Virginie Mehay
Mémoire étudiant	2004	Foncier et politique territoriale : l'exemple de la communauté de communes du Val de Drôme	Florent PANCHER
Mémoire étudiant	2001	La mobilisation des chevriers du Val de Drôme	Stéphanie Billon
Mémoire étudiant	1997	Création d'une méthodologie de suivi-évaluation d'un programme Agri-environnement	Jean-Yves FABRY
Mémoire	1994	Gestion et perception des paysages ruraux en	Béatrice

étudiant		déprise : Le cas du Pays de Bourdeaux	MARTIN
Mémoire étudiant	1993	Intérêt du peuplement en arthropodes de quelques essences de haies composites vis à vis des vergers et des poiriers conduits en protection intégrée	Laurent Bernadette
Mémoire étudiant	1982	Les fumiers de hors sol, des engrais ?	Nadine Croizier
Mémoire étudiant	1980	Les zones de faible densité de population en Rhone Alpes : la transformation de produits à la ferme	Christian Legris
Présentation	2017	Présentation de l'étude de faisabilité pour l'association Compost' et moi	Inddigo
Présentation	2009	Présentation de l'aviculture dans la Drôme	Chambre d'agriculture 26
Rapport	2016	ETUDE DE FAISABILITE D'UNE UNITE DE METHANISATION DES BOUES D'EPURATION - Valence Romans	Cabinet Romans
Rapport	2014	PROTOCOLE GRAND PROJET RHONE ALPES BIOVALLEE BILAN AU 9 JUILLET 2014	Biovallée
Rapport	2012	Etude de faisabilité poru la mise en œuvre d'une filière agricole de biocarburants et potentiel de valorisation des co-produits (tourteaux) et d'une filière bois-énergie	FDCUMA
Rapport	2012	Proposition méthodologique de diagnostic territorial des potentiels de valorisation de déchets industriels produits dans la Biovallée ® dans la logique de l'écologie territoriale	Provademse
Rapport	2011	Biovallée- Prospective 2040	Inddigo
Rapport	2010	La Biovallée de la Drôme	CGAER
Rapport	2007	Projet Stratégique Agricole et de Développement Rural	Conseil Régional
Rapport	2007	Diagnostic territorial Projet Stratégique Agricole et de développement rural	
Rapport	2007	Diagnostic territorial PSADER Pays Diois	Pays Diois
Rapport	2007	Diagnostic PSADER - Projet Stratégique Agricole et de Développement Rural	CCVD
Rapport	2006	Agriculteurs, territoires et société, un nouveau projet : Projet Agricole Drôme 2015	CA Drôme
Rapport	2006	Agriculture : Etat des lieux des communes de la CCVD	CCVD
Rapport	2004	Mise en place d'un projet bio : étude de faisabilité	CCVD
Rapport	2003	Diagnostic territorial CDRA Vallée de la Drôme	AMYOS
Rapport	2003	Rapport de synthèse du diagnostic territorial de la Communauté de Communes de Dieulefit	ADASA
Rapport	2003	Observatoire des emplois et compétences agricoles : L'arboriculture	CA Drôme
Rapport	2003	Observatoire des emplois et compétences agricoles : La viticulture	CA Drôme
Rapport	2003	Observatoire des emplois et compétences agricoles : Elevages, productions légumières, horticole et pepinière	CA Drôme
Rapport	2000	L'agriculture dans les communes de la CCVD : Evolution sur 20 ans des structures et des	

		productions	
Rapport	1995	Projet Valorisation des Produits Locaux : Compte-rendu d'enquête	Etudiants ENSAD
Rapport	1994	Etude des potentialités pour de nouvelles productions végétales sur le Val de Drôme	Jean Harzig
Rapport	1993	La gestion des déjections avicoles en Rhone-Alpes : Bilan de la situation et perspectives d'améliorations	Didier Duivon
Rapport	1993	Diversification de l'activité des exploitations agricoles de la région Rhône-Alpes	
Rapport	1989	Evolution de la fertilité chimique des sols dans le Val de Drôme – Compte-rendu Intermédiaire	CA Drôme
Rapport	1989	Evolution de la fertilité chimique des sols dans le Val de Drôme – Compte-rendu Intermédiaire	CA Drôme
Rapport	1988	Composition des fumier, fientes, lisiers	CA Drôme
Rapport	1986	Carte Agro-pédologique : Note explicative	Syndicat d'Aménagement du Val de Drôme
Rapport	1986	Fumiers, fientes et lisiers	CA Drôme
Rapport	1985	Protocole sur l'utilisation des fientes, fumiers, lisiers, des élevages hors-sol en culture de maïs dans la Drôme	CA Drôme
Rapport	1985	Programme de Développement des Productions de Semences dans la Drôme	CA Drôme
Rapport	1985	Fumiers Fientes et lisiers Utilisation sur cultures d'été dans la Drôme	CA Drôme
Rapport	1984	Fumiers, fientes et lisiers : utilisation sur cultures d'été dans la Drôme	CA Drôme
Rapport	1981	Un contrat de Pays pour le Val de Drôme	CCVD
Rapport	1980	L'agriculture des circuits longs, l'agriculture des circuits courts : Regard sur une nouvelle complexité	F. Plassard
Rapport	1978	Val de Drome : Plan d'aménagement rural : dossier préliminaire	Syndicat d'étude et de coordination du val de drôme
Rapport	2007	CCVD : Débat d'orientation agricole	CCVD

Annexe 1.2 Entretiens auprès des acteurs des filières et des territoires

Numéro	Pseudonyme		Structure
Expert 1	Antoine	Technicien	CCVD
Expert 2	Lucile	Chargée de mission	3CPS
Expert 3	Mathieu	Animateur	FD CUMA
Expert 4	Julien	Dirigeant	Charles & Alice
Expert 5	Philippe	Technicien	CA
Expert 6	Michelle	Animatrice associative	Cap Rural
Expert 7	Vincent	Technicien	CA
Expert 8	Marc	Techicien	CA
Expert 9	Julie	Animatrice	Syndicat Caprin
Expert 10	Jacques	Elu	Val Soleil / CA
Expert 11	Lina	Technicienne	Val Soleil
Expert 12	Bastien	Elu	CA
Expert 13	Serge	Elu	CA
Expert 14	Ludovic	Elu	CA
Expert 15	Didier	Dirigeant	CUMA

Autres experts, membres du comité de pilotage de Compost' et moi

Expert 16	Pierre	Dirigeant	CUMA
Expert 17	Brigitte	Ingénieur	Bureau d'étude
Expert 18	Sylvie	Ingénieur	Bureau d'étude
Expert 19	Eric	Responsable agricole	
Expert 20	Sylvain	Représentant des agriculteurs	
Expert 21	Christophe	Représentant des agriculteurs	
Expert 22	Hugues	Responsable	Jaillance

Annexe 1.3 Entretiens auprès des agriculteurs

Numéro	Pseudonyme	Date entretien	Résumé	SAU
Agr1	Gérard(Agri1)	20/04/18	BIO - GC - 18ha	18
Agr2	Jean(Agri2)	24/04/18	BIO- Maraichage - 11ha	11
Agr3	Marc(Agri3)	13/04/18	Bio- Maraichage 7ha	7
Agr4	Michel(Agri4)	26/04/18	BIO - OVIN viande - 140ha	140
Agr5	Jeanne(Agri5)	13/04/18	CONV - Caprin lait- Volaille chaur - 19ha	19
Agr6	Claude(Agri6)	1/05/18	BIO - GC - 72ha	75
Agr7	Luc(Agri7)	30/10/18	CONV- Caprin lait - GC- 40ha	40
Agr8	Ivan(Agri8)	2/05/18	BIO - GC- PPAM - 44ha	44
Agr9	Christian(Agri9)	03/05/18	BIO - BOVIN VIANDE - 55ha	55
Agr10	Sylvain(Agri10)	03/05/18	CONV- Caprin lait - 55ha	55
Agr11	Kévin(Agri11)	29/10/2018	BIO - GC- AIL - 45ha	45
Agr12	François(Agri12)	29/10/2018	CONV - GC - Vigne - 81ha	81
Agr13	Hervé(Agri13)	30/10/2018	CONV - GC - Semences- 112ha	112
Agr14	Luc(Agri7)	30/ 10/ 2018	BIO GC - PPAM - 200ha	200
Agr15	Marie(Agri15)	18/01/2019	BIO - PPAM - 18ha	18
Agr16	Eric(Agri16)	19/01/2019	CONV- Vignes - BIO - PPAM - 20ha	20
Agr17	Brigitte(Agri17)	22/01/2019	BIO - Maraichage - 2,5ha	3
Agr18	Jean(Agri18)	22/01/2019	BIO - BOVIN LAIT - Fromage - 44ha	44
Agr19	Patrick(Agri19)	24/01/2019	CONV Porc - BIO GC - 106ha	106
Agr20	Laurent(Agri20)	24/01/2018	CONV Vignes - BIO - Ail - GC - 80ha	80
Agr21	David(Agri21)	1/02/2019	BIO Caprin lait - Volaille Chair - GC - CONV - Lanvades - 85ha	85
Agr22	Patrice(Agri22)	01/02/2019	CONV/BIO - Vignes - GC - 65ha	65
Agr23	Sylvie(Agri23)	5/03/19	CONV - Vignes - 15ha	15
Agr24	Michael(Agri24)	5/03/19	BIO- Volaille ponte - GC - 32ha	32
Agr25	Fréderic(Agri25)	6/03/19	BIO - GC - 95ha	95
Agr26	Arthur(Agri26)	6/03/2019	BIO - BOVIN LAIT - Fromages - 82ha	82
Agr27	Sophie(Agri27)	7/03/19	CONV - Volaille Ponte - 10ha	10
Agr28	Etienne(Agri28)	11/03/2019	BIO - VIGNES - NOIX - 23ha	23
Agr29	Sébastien(Agri29)	14/03/2019	BIO - OVIN LAIT - Fromages- 25ha	25
Agr30	Léo(Agri30)	15/3/2019	BIO - VIGNES - 13ha	13
Agr31	Didier(Agri31)	13/04/2018	CONV- GC - Pepiniere - 160ha	160

Annexe 1.4 Le guide d'entretien

Enquête sur le métabolisme des biomasses résiduaires et les pratiques des agriculteurs
Vallée de la Drôme
Andréa Wiktor GABRIEL
Version 29/01/19

Date:
Nom:
Commune:

Objectifs:
I. Décrire l'exploitation agricole: traits généraux, évolution
III. Caractériser les pratiques mobilisant des biomasses résiduaires
II. Décrire les principaux flux de matières permetant la subsistance de l'exploitation
IV. Comprendre les pratiques mobilisant des biomasses résiduaires, et ce qui agit dessus
V. Identifier des pistes d'évolution des pratiques, et le rapport qu'entretien l'agriculteur avec les divers agents mobilisés dans ses pratiques

I Présentation générale (10min)

- Histoire personnelle et de la structure; Collectif de travail (si salariés, Eta, CUMA, entraide**)**; matériel; parcellaire; bâtiments

II Comprendre les pratiques mobilisant des biomasses résiduaires, et ce qui agit dessus

2.1 Pratiques de succession de cultures et assolement (20min)

Pouvez-vous me parler de vos pratiques de successions de cultures (rotations) et d'assolement?

Configuration de l'assolement: configuration du parcellaire (groupé/éclaté ; les blocs et distances ; les parcelles plates/en pente mécanisables ou pas) Qualité du sol?

Rotations:

La rotation est-elle pensée? improvisée? subie?

Pratiques caractérisées

1	Pratiquer des associations de cultures sur une même parcelle *(trèfle et ray-gras; blé dur et pois, par exemple)*
2	Diversifier les périodes d'implantation des cultures *(alterner cultures d'automne/hiver et de printemps pour perturber les cycles des bioagresseurs)*
3	Augmenter le nombre d'espèces cultivées de l'assolement
4	Cultiver des plantes de service pour la biodiversité *(ex: bandes enherbées ou fleuries, prairies avec des semences naturelles)*

2.2 Pratiques de travail du sol et gestion de l'état de surface (20min)

Pouvez-vous me parler de vos pratiques de travail et de couverture du sol ?

Pratiques caractérisées

1	Labour profond et régulier : Fréquence:..... Profondeur:.....
2	Semi-direct
3	Résidus de récolte laissés à la surface? broyés?
4	Laisser les repousses du précédent *(à la place de cultures intermédiaires)*
5	Implantation de couverts végétaux d'interculture / culture dérobée *(en fonction du devenir de la culture)*
7	Enherbement des inter-rangs

2.3 Pratiques de gestion des bâtiments d'élevage et des effluents (20min)

Pouvez-vous me parler de vos pratiques de gestion des effluents d'élevages?

Pratiques caractérisées

-Quel mode d'élevage?

1	Utiliser des bâtiments sur litière paillée
2	Utiliser des bâtiments sur paille
3	Caillebotis
4	Plein air
5	Paturage ((Temporalité? Durée? Prairies permanentes/ Prairies temporaires Paturage tournant? Dynamique? En paddock?)

-Stockage et traitement des effluents

Quantité de litière? (Si une idée en nombre de "tonnes", fosse à lisier)

Type d'effluent: lisier? fumier? Quel mode de stockage?

1	Couvrir les fosses et les fumières / Laisser découvertes les fosses et fumières
2	Disposer d'une capacité de stockage permettant de mieux piloter la fertilisation
3	Évacuer rapidement les déjections hors des bâtiments
4	Pratiquer la séparation des phases
5	Pratiquer le traitement aérobie
6	Acidifier les lisiers

2.4 Pratiques de gestion des éléments minéraux et du statut organique des sols (20min)

Pouvez-vous me parler de vos pratiques de fertilisation et de gestion de la fertilité des sols?

Pour chaque culture: Quel type de produit? Combien d'unités? Quand?

Pratiques caractérisées

1	Fertiliser en utilisant en majorité des produits minéraux
2	Fertiliser en utilisant des effluents organiques d'origine urbaine ou industrielle
3	Fertiliser en utilisant en majorité des effluents organiques
4	Fertiliser en s'appuyant sur une mesure précise (épandeur à pesée,.)

5	Fertiliser en utilisant des outils d'aide à la décision pour le raisonnement des apports
6	Fertiliser en effectuant des apports localisés ou fractionnés.

- Utiliser la fixation symbiotique comme source d'azote

Pratiques caractérisées

1	Culture diversifiée avec des légumineuses
2	Culture intermédiaire
3	Apport du précédent

-Amender le sol pour améliorer ses propriétés physico-chimiques

Pratiques caractérisées

1	Enfouir les résidus de récolte
2	Amendements

2.5 Pratiques d'achat, d'échange de biomasses résiduaires (20min)

Pouvez-vous me parler de vos achat, échanges de matières organiques?

Quoi *(Préciser le produit, Quels produits entrant? Normé?)* ***Combien*** *(quelle quantité) Quand (Date de récupération ou achat)* ***Comment*** *(Quels outils, qui fait (Exploitant, ETA,.)* ***A qui?*** *(voisin, collectivité, entreprise) Toujours le même? Mise en concurrence?*

Pratiques caractérisées

1	Achat d'engrais/ de composts
2	Récupération de déchets d'industries ou de collectivités
3	Récupération de déchets agricoles
4	Échange entre agriculteurs
5	Don de fumier ou de compost

2.6 Pratiques de transformation de la biomasse résiduaire

Pouvez-vous me parler de votre pratique de transformation de matière organique (compostage ou autre?)

Quels produits entrants??

Compostage? Combien de temps?

Quelles opérations (retournement, criblage, broyage, etc)

Par qui? Combien de tas?

III Comprendre les pratiques mobilisant des biomasses résiduaires, et ce qui agit dessus

Comprendre ce qui agit sur les pratiques. Laisser l'agriculteur tisser des liens entre les différentes pratiques,

Qu'est ce qui agit dessus?
Assolement: Le conseil, les cahiers des charges des acheteurs : Rotations imposées pour certaines cultures Obligation de CIPAN, opportunités d'irrigation

Travail du sol/ résidus de cultures: Outils disponibles (absence d'outils de travail du sol superficiel), solidarité avec les éleveurs Contrainte réglementaire (subies, esquivées, dépassées) coût du carburant, Motivation individuelle, formation, qualité des terres, épuisement des sols, besoins de l'élevage,

Fertilisation: Subissez-vous une pression (clients, conseil,) pour fertiliser plus? moins? Quels outis (épandeur à pesée) en individuel? en CUMA? Epandage par une ETA? Pourquoi le choix de telle filière? (label/ bio/ etc) Contraintes réglementaires (zone vulnérable) fractionnement? limitation des apports?; formation
Modes d'élevages: Cahier des charges qui impose des modes d'élevage, dates de bandes imposés
par la filière, Contraintes réglementaires, contrôles sanitaires (salmonellose,),
Achat et échanges: *Recherchez-vous de la MO? (Manque de matière organique) Quels produits sont autorisés ou interdits par la filière? Quel avantages/ inconvénient pour chaque MO?*
Contraintes réglementaires (obligation d'exporter un effluent bio), besoin d'une comcom de se débarasser de déchets (pression, esprit civique,) Quel lien avec vous avec votre fournisseur de fumier?
Compostage: Obligation de composter en bio, obligation de couvrir les tas Contrainte spatiale (distance des parcelles,)

IV Description des principaux flux de matières garantissant la subsistance de l'exploitation (10min)

- Assolement (ha), ; rendements (cette année est-elle représentative?)
- Nombre d'animaux; nombre de bandes
- Ateliers? Activités de diversification, transformation?

- Relations commerciales dans lesquelles vous êtes impliqués /Commercialisation: intégration, circuit court, etc A qui se fait la vente? Contractualisation? Intégration? Quelles sont les modalités du contrat?

- Fournisseurs: Achat d'intrants, échanges, etc Les principaux fournisseurs, sauf engrais

Entrées	Productions animales et végétales / Pâturages	Sorties
Intrants: (quoi/qté/à qui)	Production: Surface ou nb animaux Rendement Type de parcelle/ de batiment	(quoi/qté/à qui)

V Identifier des pistes d'évolution des pratiques des agriculteurs

5.1 Comment voyez vous votre activité dans 5 ans, dans 10 ans?

5.2 Quels problèmes, menaces et opportunités représentent ces flux de biomasses pour vous? Perceptions de l'évolution du territoire et des problèmes de l'agriculture?

5.3 Vous arrive-t-il de parler de ces enjeux avec d'autres agriculteurs? Quels acteurs peuvent (ou ne peuvent pas) jouer un rôle?

5.4 Pour chaque agent cité comme mobilisé dans les pratiques, quelles sont les perspectives, changements possibles? *Quel rôle joue ou pourrait être amenée à jouer la CCVD/ Biovallée dans vos pratiques agricoles?* *- Formations, Compost' et moi, Chambre d'agriculture, cooopératives, abattoirs, conseillers techniques privés, syndicats, CIVAM, collectivités, élus, associations, services agricoles du département, les voisins,* 5.5 Comment évoluent votre rapport avec ces acteurs du territoire? 5.6 Stratégies d'alliance: participez-vous ou envisagez-vous de participer à des projets avec d'autres agriculteurs ou des acteurs des filières et territoires? Dans quel but?

IV Récupération de données

Utilisez-vous MesParcelles (ou Isagri, etc)? Est-il possible de récupérer les données?

Puis-je récupérer les comptes? / Bilans comptables

Annexe 2. Calculs de la production de biomasses résiduaires sur le territoire
Annexe 2.1 Les filières animales sur le territoire

2.1.1 Production de fumier de ruminants

Les filières caprine et ovine

-Justification

Pour les filières caprine et ovine, nous nous appuyons sur les données issues du recensement agricole 2010. En 2010, il est dénombré 19 110 brebis et 7044 chèvres (RA 2010) sur le territoire. Il s'agit des données les plus récentes disponibles.

Les échanges avec les personnes rencontrées pour les filières considérées nous ont permis de caractériser les systèmes de production : En production caprine, la distinction bio/non-bio n'est pas pertinente dans la Drôme : les pratiques d'élevage sont souvent comparables. Il y a peu d'hétérogénéité entre les exploitations. Les chèvres sont, en moyenne, la moitié du temps au pâturage et l'autre moitié en chèvrerie (Julie(expert9)).

Traditionnellement, l'élevage d'ovin viande s'appuie fortement sur le pâturage. L'élevage en bergerie, plus intensif, se développe, aussi bien en lait et en viande, notamment du fait de la présence de loup et du renchérissement du coût du travail : l'élevage en bâtiment demande moins de main d'œuvre, et facilite la protection du troupeau. On pose l'hypothèse que les brebis sont 50% du temps en bâtiment (Julie(expert9)).

Une chèvre laitière ou une brebis produit en moyenne 3.5 kg de fumier/jour en chèvrerie (Leclerc, 2001)

-Résultats

	Nombre d'animaux	Nombre de jours au pâturage	Production de fumier en tonnes par an	C/N	Ntot	Coeff. equiv. N chimiq.	Equiv. UA (en kg)
Source	*RA 2010 et Agence bio (2010 – 2017)*	*Expertise*	*Production de fumier = NombreAnimaux × ProductionFumier ParAnimalParJour × Nombre JoursEnEtableParAn*	*CA Occitanie*	*Leclerc 2001*		*TonnesDeFumer x Ntot x Coeff equiv. N chimique*
Chèvres	7 044	362/2	**7500 T**	**10**	**6.1**	**0.2**	**9150**
Dont bio	1098 (2010) 1994 (2017)						
Brebis	19 110	362/2	**12 206 T**	**23**	**6.7**	**0.2**	**16 356**
Dont bio	4106 (2010) 6321 (2017)						

La filière bovine

- Justification

Pour la filière bovine, nous disposons de données plus récentes et exhaustives : la BDNI 2016. Néanmoins, les données obtenues ne distinguent pas les différentes catégories d'animaux : seul le nombre d'individus et le nombre d'UGB sont mentionnés.

On pose l'hypothèse que 100% des bovins sont sur litière, 50% du temps au pâturage.

En première approximation, un UGB produit en moyenne 13.5T de fumier par an en stabulation libre 100% litière (Loyon, Inventaire des quantités de fumier bovin stockable au champ en France, 2015**).**

-Résultats

Nombre d'individus	Nombre de UGB	Production de Fumier bovin annuelle (Tonnes/an)	C/N	Ntot	Coeff. equiv. N chimiq.	Equiv. UA (en kg)
Source		*[Temps au pâturage]*[ProductionFumier ParAnParUGB]= ½ x 13,5 = 6.75*	*Leclerc 2001*			
5863	2004.9189	**13 534 T**	**14**	5.5	0,23 [0.15 – 0,30]	**17 121**

2.1.2 Production de fientes et de fumiers de volaille

Il y a 254 ateliers de production avicole sur le territoire (DATARA 2019), dont 58 ateliers de pondeuses et 184 en production de volaille de chair. Ces deux types d'ateliers représentent ainsi plus de 95% des bâtiments de la filière volaille sur le territoire : On approximera donc la production d'effluents de la filière avicole par la filière volaille de chair et la filière poules pondeuses.

Le fumier de volaille de chair se répartit en production conventionnelle et alternative

-Justification

La production volaille de chair sur la zone d'étude représente 606215 têtes (RA 2010), réparties en 96 exploitations, et 189 bâtiments (DATARA 2019), soit 48% des exploitations Drômoises (200 exploitations, Bastien(expert12)).

A l'échelle Drômoise, la surface totale en volaille de chair est de 301 156 m2 (Recensement Agricole 2010), pour 610 bâtiments (DATARA 2019), En considérant que la surface totale est restée stable sur la période, on évalue la surface moyenne d'un bâtiment. A titre de comparaison, l'ordre de grandeur classique des bâtiments est de 440 m2 en label et bio et plutôt de 1000 m2 en conventionne (Dominique(expert16)).On pose l'hypothèse que les bâtiments ont en moyenne la même taille dans la Drôme et dans la Vallée de la Drôme.

La production de volaille de chair se partage en différentes filières. L'élu aviculture du département oppose « poulet conventionnel », en se référant aux bâtiments sans parcours, ou « poulet alternatif » en se référant aux bâtiments avec parcours, qu'ils soient agriculture biologique ou Label Rouge. La faible différence entre les systèmes de productions bio ou label ne justifie pas de les distinguer dans nos calculs de quantités de BR produite.

Les parcours seuls, avec ou sans abris sont inclus dans une troisième filière décrite comme « fermière » par l'élu.

- Résultats

Filière	TonneFumierParM2 Fumier en t/m2/lot	Nombre de lots /an	Nombre de bâtiments VDD	Nombre de m2 VDD	Tonnes de Fumier Par An Par Batiment	T de fumier/ an	C/N	Ntot	Coeff. equiv. N chimiq.	Equiv. UA
Source	*Plan prévisionnel de fumure Azote, CA Didier[Agri31]agne, 2017*	*expertise*	*DATARA 2019*	*[Nombre m2 Drôme] * [Nombre Batiments VDD]/[Nombre batiments Drome]*	*NbM2Par Batiment x TonneFumierParM2 x NombreDeLots*	*Tonnes DeFumierParAnParBatiment * NbBatiments*	*Analyses SATEGE, CA Nord -Pas-deCalais*		*Leclerc 2001*	
Poulet conventionnel (Poulet standard lourd (40j) fumier)	0.029	6	80 (+18 en volière)	39520	= 494 x 0.029 x 6 = 86	**6880**	9.3	22	0,55 [0.5 - 0,6]	**83 248**
Poulet alternatif (Poulet Label ou poulet bio)	0.035	3	86	42484	= 494 x 0,035 x 3 = 52	**4472**				**54 111**

La filière ponte, **exclusivement avec parcours**

-Justification

La filière poules pondeuses représente 2 432 386 places à l'échelle de la Drome (Itavi, 2018), réparties en 200 exploitations (expertise Chambre d'Agriculture).

Alors que les bâtiments se répartissent en 4 filières (Agriculture Biologique, Plein Air, Volière et Cage), seules deux sont présentes dans la vallée de la Drôme : Les filières agriculture biologique et Plein air. Elles totalisent 58 bâtiments, à l'échelle de la vallée de la Drôme, et 185 à l'échelle de la Drôme (DATARA 2019). A l'échelle de la Drôme, ces 185 bâtiments avec parcours totalisent 720 562 places (Itavi 2018), soit 3894 places par bâtiment en moyenne. On pose l'hypothèse que les bâtiments dans la vallée de la Drôme ont la même capacité moyenne que ceux à l'échelle de la Drome. Le volume de fientes sèches de pondeuses avec accès à un parcours est en moyenne de 0,015 T/ place de fiente (Expertise Itavi). La production totale annuelle est approximée à **3387 T de fientes sèches.**

-Résultats

Filière	Nombre de places (Drôme)	Nombre de bâtiments (Drôme)	Type de bâtiment	Nombre de bâtiments AVEC	Nombre de place par bâtiment	Volume de Fiente par Place (T/place/an)	Volume de Fiente par Bâtiment	Volume de fiente produit par an	C/N	Ntot	Coeff. equiv. N chimiq.	Equiv. UA
Source	*Itavi, 2018*	*DATARA 2019*	*DATARA 2019*	*NbPlaceDrome/NbBatimentDrôme*	*Expertise Itavi*	*VolumeDeFienteParPlace * NombreDePlaceParBatiment*	*[Volume de Fiente par Place] x [Nombre de place par batiment] x[Nombre de batiments]*	*Leclerc 2001*	*CA Brtea gne 2017*			
Agriculture biologique	239,449	185	Bâtiments avec parcours	58	3895	0,015	58.47	**3 387**	**7.8**	**40**	**0,55 [0.5 - 0,6]**	**74 514**
Plein air	481,113											
		2	Parcours avec abri									
Volière	32,000	1	Bâtiment avec volière sous filet									
Cage	1,679,824	34	Batiment sans parcours									

2.1.3 Une filière porcine anecdotique

Cheptel TOTAL	Somme de Effectif en têtes	Nombre de portées (expertise)	M3 de lisier/truie/an + suite (Source : Plan prévisionnel de	ProxyConversionTotalPorcinEnTonne	M3 de lisier produit	C/N	Ntot	Coeff. equiv. N chimiq.	Equiv. UA
Source	*RA communal 2010*		*Leclerc 2001*				*Analyses SATEGE, CA Nord - Pas-deCalais*	*Leclerc 2001*	
total porcins	4524			1.458					
Truies reproductrices (calculé/12 - expertise)	377		17,5		**6597.5**	2.3	3.6	0,55 [0.5 - 0,6]	**13 063**

Annexe 2.2 Les filières végétales

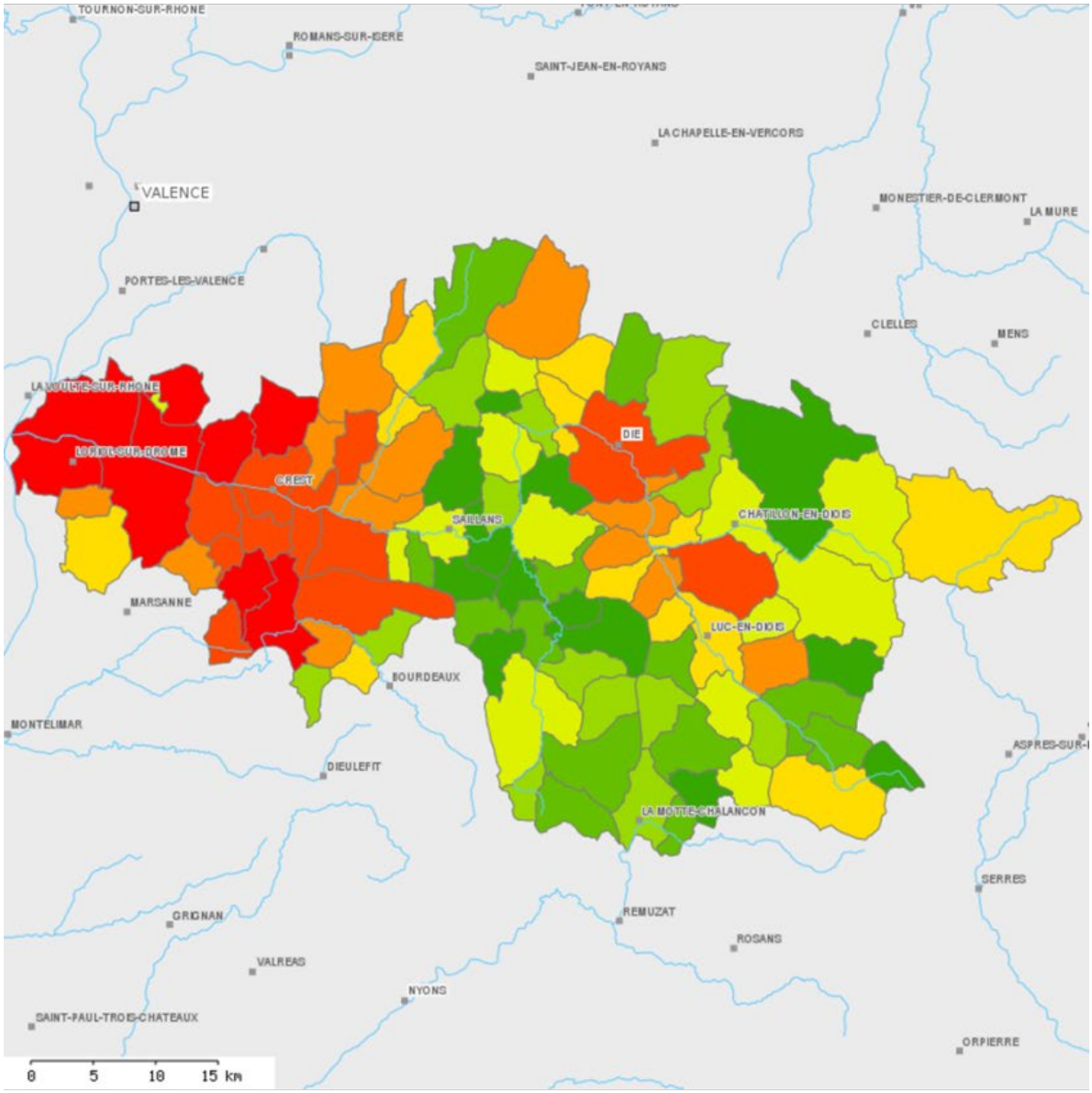
2.2.1 Production de paille en céréaliculture

On calcule la production de pailles de céréales pour trois types de cultures : le blé, l'orge et avoine.

Nos entretiens révèlent que dans les deux-tiers des cas, les pailles sont exportées de la parcelle.

Céréales	**Quantités produites par hectare**	**Surfaces cultivées dans la vallée de la Drôme** (en ha)	**Quantité de paille produite** (en tonnes/an)	**Quantité de paille exportée** (en tonnes/an)
Source	*Leclerc, 2001*	*ASP 2017*		
Blé	3,1 [2.2 - 4]	4444	**13 776**	**9 184**
Orge	2,75 [1.9 - 3.6]	2103	**5 783**	**3 855**
Autres céréales	2,37 [1.4 - 3.3] (avoine)	2828	**6 702**	**4 468**
Total				**17 507**

Production de pailles de céréales (tonnes/an)



- de 0 à moins de 6
- de 6 à moins de 21
- de 21 à moins de 40
- de 40 à moins de 93
- de 93 à moins de 184
- de 184 à moins de 434
- de 434 à moins de 912
- de 912 et plus
- Absence de données

- Rivières
- Préfecture
- Sous-Préfecture
- Chef-lieu de canton

2.2.2 Déchets végétaux et sarments en viticulture et arboriculture

Cultures pérennes	Quantités produites par hectare	Surfaces cultivées dans la vallée de la Drôme (en ha)	Quantité de BR produite (en tonnes/an)
Source	*Leclerc, 2001*	*ASP 2017*	
Viticulture		1744	
Arboriculture		1179	

Annexe 2.3 Les déchets industriels

Type de biomasse	Producteur	Tonnage (unité)	Détails	Source
Issues de céréales	Valsoleil	**?**		1
Drèches	Jaillance	**1280**		3
	Charles et Alice	**1200T**		1
	Brasserie manivelle	**80T**		2
	Autres brasseries artisanales	**~500T**		
Pailles	Herbarom	**1100T**		1
	Coop Distillation Vercheny	**250**		2
Abats	Royal Bernard	**8585T**	280 000 poulets/ semaine (2020). Un poulet fait en moyenne 1,850kg. Les viscères, abats, plumes représentent 32,5%, soit 8585T par an.	1
	Abattoir de Die	**~ 2000T**		2
Boues et eaux d'origine animale	Royal Bernard	**~ 100T**		1
	Abattoir de Die	**24T**		2
	Troupeou	**~ 5T**		2
Eaux de rinçage de fruits	Charles et Alice	**800T**		1
Pulpes	Charles et Alice	**400T**		1
Cartons	Biotop	**400T**		
Terres de filtration	Biotop	**100T**		
Petit lait	Eurial	**?**		

Sources : 1- Entretiens individuels avec les opérateurs

2 – Entretiens avec des acteurs indirects

3 - Rapport « Etude de faisabilité d'une unité collective de compostage dans la vallée de la Drôme » Cabinet Inddigo, 2017

Production de déchets par les acteurs industriels

Type	Producteur	Tonnage /an	% MS	Sources
Déchets verts	CCVD	**4 500 T**		2
	3CPS	**1 500 T**		2
	Diois	**???**		2
Déchets ménagers	CCVD	**2 150 T**		2
	3CPS	**1 200 T**		2
Boues de stations	Crest	**1211**	21	1
	Allex	**3361**	4	2
	Livron	**144**	94	2
	Loriol	**300**	26	2
	Saillans	**560**	2.5	2
	Montoison	**990**	1.2	1
	Beaufort sur Gervanne	**160**	5	2
	Puy Saint Martin	**107**	7.5	2
	Saou	**5**	5	2
	Die	**5**	63	2
	Recoubeau	**160**	2.5	2

Sources : 1 - Rapport « Etude de faisabilité d'une unité de méthanisation des boues d'épuration » – Cabinet Merlin 2016

2 – Rapport « Etude de faisabilité d'une unité collective de compostage dans la vallée de la Drôme » Cabinet Inddigo, 2017

Production de déchets par les collectivités locales

	Tonnage entrant	Tonnage sortant	Matières traitées	Source
Fertidrome (Groupe Jamonet) – Chatuzange – le Goubet	7200 44t/j	2500	Boues de STEP, effluents industries agroalimentaires de transformaiton de fruits, effluents de volailles et notamment contaminés (salmonelles)	1, 3
SYTRAD – Etoile sur Rhône	66 400		Déchets ménagers notamment de la vallée de la Drôme	2, 3
Valorsol – (Groupe Cheval) – Marche	49,3t/j	28,5t/j	Déchets verts privés, Production d' Amendement organique labellisé NF utilisable en bio	3
Biovalor (Pont-sur-Isère)	55t/j 11 000T (déchets verts 9000 T de boues)	5400T	Traitement des boues de STEP, déchets verts	3, 4

Sources : 1 – « Plateforme de compostage en milieu clos - Approche pluridisciplinaire pour l'évaluation du risque chimique » Mémoire pour l'obtention du diplôme de médecine agricole, Lucia Tichadou (2014)

2- Communication institutionnelle (2020)

3 – Registre des établissements autorisés ICPE (2018)

4- Autorisations préfectorales

Annexe 2.5 Calcul des apports de biomasse résiduaire

Apports en agriculture biologique

Dans cette partie, on cherche à approximer la demande en BR pour la fertilisation.

De manière à caractériser une demande « plancher », nous nous focalisons sur l'agriculture biologique qui ne dispose pas d'alternative chimique. Les besoins des cultures bio sont calculées en se basant sur les apports moyens, identifiés au moyen des entretiens. L'agriculture biologique représente 30% de la SAU. Depuis 2012, la réglementation de l'agriculture biologique impose d'épandre les effluents issus d'élevages en AB sur des terres en agriculture biologique ou en conversion. Les agriculteurs bio sont les premiers consommateurs de biomasses résiduaires, et en particulier des effluents d'élevage.

Le tableau ci-dessous détaille la part de la SAU en Bio, à l'échelle de la vallée de la Drôme. Dans le cadre de nos calculs, on considère que la répartition des surfaces bio est homogène, par types de cultures, à l'échelle du territoire.

Libellé	**Surfaces AB certifiée et en conversion en ha**	**Part de AB sur SAU**	**Apports moyens en termes de fertilisation en tonnes /ha/an**	**Apports moyens en termes de fertilisation en unités d'azote/ha/an**	**Besoins sur le territoire en tonnes/an**	**Besoin en unités d'azote/an**
	Agence bio 2018	Agence bio 2018, calcul BOAT	Entretiens	Entretiens		
TOUTES PV	16839.95	0.3074			**64604.4245**	**529901.3**
Autres	704.2	0.3287				
Surfaces fourragères	12064.61	0.3766	1.05	10	**12667.8405**	**120646.1**
Fruits	525.15	0.319	2	20	**1050.3**	**10503**
Grandes cultures	2487.26	0.195	15.2	135	**37806.352**	**335780.1**
Légumes frais	199.87	0.2184	34	170	**6795.58**	**33977.9**
PPAM	393.92	0.4443	8.4	50	**3308.928**	**19696**
Vigne	464.91	0.2903	6.4	20	**2975.424**	**9298.2**

Les besoins de fertilisation organique ne sont pas répartis de manière homogène : les secteurs ou la céréaliculture est la plus développée (entre Crest et Loriol) présentent des besoins importants.

Annexe 3. Traitement des données
Annexe 3.1 Tables de nœuds et de liens désagrégées

Table de nœuds désagrégée

Id	N1	N1_NAME	AGGREGATION	Territoire	BIO	SAU	PRODUCTION	UTILISATION	ECHANGE	TRANSFORMATION	MAX
2	1001	Agriculteur	50006	1	1	18	0	128	128	0	128
3	1001	Agriculteur	50005	1	1	11	0	30	50	51	50
4	1001	Agriculteur	50005	1	1	7	5	53	75	80	75
5	1001	Agriculteur	50001	1	1	140	1000	620	20	1000	1000
6	1001	Agriculteur	50003	1	0	19	160	127	53	73	160
7	1001	Agriculteur	50005	1	1	75	0	640	832	700	832
8	1001	Agriculteur	50005	1	0	40	175	135	0	175	175
9	1001	Agriculteur	50005	1	1	44	0	367	525	420	525
10	1001	Agriculteur	50001	1	1	55	120	180	106	100	180
11	1001	Agriculteur	50003	1	0	55	350	210	2	350	350
12	1001	Agriculteur	50006	1	1	45	0	235	385	350	385
13	1001	Agriculteur	50002	1	0	81	0	360	600	500	600
14	1001	Agriculteur	50004	1	0	112	0	371	485	360	485
15	1001	Agriculteur	50005	1	1	200	0	720	670	450	720
16	1001	Agriculteur	50006	1	1	18	0	64	64	100	64
17	1001	Agriculteur	50004	1	0	20	0	180	230	165	230
18	1001	Agriculteur	50005	1	1	3	0	57	85	80	85
19	1001	Agriculteur	50001	1	1	44	100	100	0	167	100
20	1001	Agriculteur	50005	1	0	106	1000	1482	540	720	1482
21	1001	Agriculteur	50004	1	0	80	0	315	400	125	400
22	1001	Agriculteur	50004	1	1	85	160	112	40	120	160
23	1001	Agriculteur	50006	1	0	65	0	129	185	175	185
24	1001	Agriculteur	50005	1	0	15	0	22	33	20	33
25	1001	Agriculteur	50003	1	1	32	150	50	100	0	150
26	1001	Agriculteur	50004	1	1	95	0	405	625	550	625
27	1001	Agriculteur	50004	1	1	82	300	272	1250	450	1250
28	1001	Agriculteur	50002	1	0	10	300	0	300	0	300
29	1001	Agriculteur	50002	1	1	23	0	60	70	40	70
30	1001	Agriculteur	50002	1	1	25	400	404	4	0	404
31	1001	Agriculteur	50004	1	1	13	0	30	72	70	72
32	1001	Agriculteur	50001	0	0	160	150	350	300	350	350
33	1001	Agriculteur	50001	1	0	0	0	0	0	250	0
34	1001	Agriculteur	50001	1	1	5	3	3	0	0	3
35	1001	Agriculteur	50001	1	1	70	50	50	0	0	50
36	1001	Agriculteur	50001	1	0	30	210	0	0	0	210
37	1001	Agriculteur	50001	1	1	0	120	120	0	0	120
38	1001	Agriculteur	50006	1	1	220	0	0	3	0	3
39	1001	Agriculteur	50001	1	1	32	64	64	0	64	64
40	1001	Agriculteur	50001	1	1	27	25	0	0	0	25

41	1001	Agriculteur	50001	1	0	107	100	100	0	100	100
42	1001	Agriculteur	50001	1	0	40	0	0	0	0	0
43	1001	Agriculteur	50001	1	1	50	504	0	0	0	504
44	1001	Agriculteur	50002	1	1	26	0	0	0	0	0
45	1001	Agriculteur	50002	1	1	22	0	20	20	0	20
46	1001	Agriculteur	50003	1	0	42	750	100	670	750	750
47	1001	Agriculteur	50001	1	0	64	70	210	10	0	210
48	1001	Agriculteur	50002	1	0	20	0	8	8	0	8
49	1001	Agriculteur	50005	1	1	14	0	0	82	0	82
50	1001	Agriculteur	50002	1	0	27	0	0	0	0	0
51	1001	Agriculteur	50001	1	0	100	0	0	0	0	0
52	1001	Agriculteur	50003	1	0	55	250	142	0	250	250
53	1001	Agriculteur	50001	1	0	50	200	210	10	0	210
54	1001	Agriculteur	50003	1	0	70	200	200	10	0	200
55	1001	Agriculteur	50002	1	0	150	0	0	0	0	0
56	1001	Agriculteur	50002	1	0	15	0	250	250	0	250
102	1001	Agriculteur	50004	1	0	0	0	0	0	0	0
103	1003	Transformateur	10036	0	0	0	0	0	0	0	0
104	1005	Commerce	10051	1	0	0	0	0	0	0	0
105	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
106	1005	Commerce	10053	0	0	0	0	0	0	400	0
107	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
108	1003	Transformateur	10034	1	0	0	0	0	0	1000	0
109	1001	Agriculteur	50006	1	0	0	0	0	0	0	0
110	1002	Particulier	10022	1	0	0	0	0	0	0	0
111	1001	Agriculteur	50006	1	0	0	0	0	0	0	0
112	1004	Collectivite	10041	0	0	0	0	0	0	0	0
113	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
114	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
115	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
116	1004	Collectivite	10041	1	0	0	0	0	0	6650	0
117	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
118	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
119	1002	Particulier	10023	1	0	0	0	0	0	0	0
120	1002	Particulier	10022	1	0	0	0	0	0	0	0
121	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
122	1005	Commerce	10052	1	0	0	0	0	0	0	0
123	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
124	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
125	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
126	1003	Commerce	10036	0	0	0	0	0	0	0	0
127	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
128	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
129	1002	Transformateur	10023	1	0	0	0	0	0	0	0
130	1005	Commerce	10052	0	0	0	0	0	0	0	0
131	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0

132	1004	Collectivite	10041	1	0	0	0	0	0	0	0
133	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
134	1003	Transformateur	10036	0	0	0	0	0	0	0	0
135	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	481	0	0	0	481
136	1003	Transformateur	10032	1	0	0	0	0	0	0	0
137	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
138	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	730	0	0	0	730
139	1002	Transformateur	10023	1	0	0	0	0	0	0	0
140	1005	Commerce	10051	0	0	0	0	0	0	0	0
141	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	4200	0	0	0	4200
142	1004	Collectivite	10041	1	0	0	0	0	0	2750	0
143	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
144	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	100	0	0	0	100
145	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
146	1003	Transformateur	10038	0	0	0	0	0	0	45000	0
147	1001	Agriculteur	50006	1	0	0	0	0	0	0	0
148	1003	Transformateur	10039	1	0	0	0	0	0	0	0
149	1001	Agriculteur	50003	1	0	0	0	0	0	0	0
150	1001	Agriculteur	50006	1	0	0	0	0	0	0	0
151	1002	Collectivite	10021	0	0	0	0	0	0	0	0
152	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
154	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
155	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	0	0
156	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
157	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
158	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
159	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
160	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
161	1001	Agriculteur	50006	1	0	0	0	0	0	0	0
162	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
163	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
164	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
165	1002	Particulier	10022	1	0	0	0	0	0	0	0
166	1001	Agriculteur	50006	1	0	0	0	0	0	0	0
167	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
168	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
169	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
170	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
171	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
172	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
173	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
174	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
175	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
176	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
177	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
178	1003	Transformateur	10032	1	0	0	0	0	0	1200	0

179	1003	Transformateur	10034	1	0	0	0	0	0	1100	0
181	1003	Transformateur	10039	0	0	0	0	0	0	0	0
182	1003	Transformateur	10032	1	0	0	0	0	0	3000	0
183	1003	Transformateur	10039	0	0	0	0	0	0	0	0
184	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	1214	0
185	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	3361	0
186	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	144	0
187	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	300	0
188	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	560	0
189	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	1000	0
190	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	160	0
191	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	107	0
192	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	5	0
193	1004	Collectivite	10042	1	0	0	0	0	0	160	0
194	1004	Collectivite (Hors-territoire)	10043	0	0	0	0	0	0	65000	0
195	1003	Transformateur	10032	1	0	0	0	0	0	0	0
196	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
197	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	125	0	0	125	125
198	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	50	0	0	50	50
199	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	100	0
200	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
201	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
202	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	50	0
203	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	50	0
204	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
205	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
206	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
207	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
209	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
210	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	50	0
211	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
212	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	100	0	0	100	100
213	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	50	0
214	1001	Transformateur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
215	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
216	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	50	0
217	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
218	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	60	0
219	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
220	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	200	0
221	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
222	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
223	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
224	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	100	0

226	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
227	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
228	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
229	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
230	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
231	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
232	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
233	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
234	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
235	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	100	0
236	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
237	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
238	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
239	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	100	0
240	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
241	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
242	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
243	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	85	0
245	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	77	0	0	0	77
246	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	77	0	0	0	77
247	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	167	0	0	0	167
248	1005	Commerce	10052	0	0	0	77	0	0	0	77
249	1003	Commerce	10038	0	0	0	0	0	0	0	0
250	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
251	1005	Commerce	10052	0	0	0	0	0	0	0	0
252	1001	Agriculteur	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
253	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
254	1003	Transformateur	10036	0	0	0	0	0	0	0	0
255	1003	Transformateur	10036	0	0	0	0	0	0	0	0
256	1003	Transformateur	10032	1	0	0	0	0	0	0	0
257	1003	Transformateur	10032	1	0	0	0	0	0	0	0
258	1004	Collectivite	10041	1	0	0	0	0	0	0	0
259	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
260	1001	Agriculteur	10019	1	0	0	0	0	0	0	0
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10019	1001	0	10019	0	0	0	0	0	0	0	0
10020	1001	0	10020	0	0	0	0	0	0	0	0
10021	1002	0	10021	0	0	0	0	0	0	0	0
10022	1002	0	10022	0	0	0	0	0	0	0	0
10023	1002	0	10023	0	0	0	0	0	0	0	0
10031	1003	0	10031	0	0	0	0	0	0	0	0
10032	1003	0	10032	0	0	0	0	0	0	0	0

10033	1003	0	10033	0	0	0	0	0	0	0	0
10034	1003	0	10034	0	0	0	0	0	0	0	0
10035	1003	0	10035	0	0	0	0	0	0	0	0
10036	1003	0	10036	0	0	0	0	0	0	0	0
10037	1003	0	10037	0	0	0	0	0	0	0	0
10038	1003	0	10038	0	0	0	0	0	0	0	0
10039	1003	0	10039	0	0	0	0	0	0	0	0
10041	1004	0	10041	0	0	0	0	0	0	0	0
10042	1004	0	10042	0	0	0	0	0	0	0	0
10043	1004	0	10043	0	0	0	0	0	0	0	0
10051	1005	0	10051	0	0	0	0	0	0	0	0
10052	1005	0	10052	0	0	0	0	0	0	0	0
10053	1005	0	10052	0	0	0	0	0	0	0	0
50001	0	0	50001	0	0	0	0	0	0	0	0
50002	0	0	50002	0	0	0	0	0	0	0	0
50003	0	0	50003	0	0	0	0	0	0	0	0
50004	0	0	50004	0	0	0	0	0	0	0	0
50005	0	0	50005	0	0	0	0	0	0	0	0
50006	0	0	50006	0	0	0	0	0	0	0	0

Table de liens désagrégée

Id	SOURCE	TARGET	Type	Produit	Weight
1	102	2	Echange	Fumier bovin composté	100
2	2	102	Echange	Foin	35
3	103	2	Vente	OrgaBMX	6
4	104	2	Vente	"""9-5-0"""	2
5	27	2	Echange	Fumier bovin	20
6	2	27	Echange	Paille	10
7	105	3	Echange	Fumier bovin	50
8	3	105	Echange	Fourrage	1
9	106	4	Vente	Fumier bovin	70
10	22	4	Vente	Paille	1
11	103	4	Vente	Orga3	0.1
12	104	5	Vente	Farine animale	20
13	108	6	Don	Pailles de lavandes	3
14	6	109	Vente	Compost	30
15	6	110	Vente	Compost	15
16	6	111	Don	Compost	10

17	104	7	Vente	"""10-0,5-1"""	20
18	112	7	Vente	DV	600
19	113	7	Vente	Fumier mouton	120
20	114	7	Vente	Fumier poulet	120
21	115	7	Don	Fumier cheval	72
22	119	8	Don	Fumier cheval	50
23	116	9	Vente	DV	240
24	25	9	Vente	Fumier poule	100
25	118	9	Echange	Fiente poule	50
26	104	9	Vente	Farine animale	15
27	119	9	Don	Fumier cheval	120
28	116	10	Don	DV	100
29	104	10	Vente	"Farine de Plume ""12-2-0"""	6
30	11	120	Don	Compost	5
31	121	11	Vente	Paille	90
32	122	12	Vente	"""5-5-8"""	25
33	123	12	Vente	Fumier volaille	160
34	124	12	Vente	Fumier volaille	200
35	126	13	Vente	"""4-6-16"""	40
36	125	13	Vente	Fumier mouton	60
37	116	13	Vente	DV	500
38	127	14	Vente	Fiente poule	24
39	128	14	Don	Lisiers porc	100
40	129	14	Don	Sciures	1
41	147	14	Don	Fumier poule	1
42	155	14	Don	Boues	1
43	116	14	Vente	DV	350
44	130	15	Vente	Vinasse betterave	200
45	131	15	Vente	Fumier volaille	250
46	132	15	Indemnisation	DV	450
47	133	16	Vente	Fumier bovin	60
48	130	16	Vente	Vinasse betterave	4
49	134	17	Vente	Compost poule	30
50	134	17	Vente	Compost cheval	30
51	135	17	Vente	Fumier bovin	65
52	136	17	Don	Drêches bière	80
53	108	17	Don	Paille lavande	30
54	104	17	Vente	FertiNagro	1
55	137	18	Vente	Fiente sèche bio	3
56	138	18	Vente	Fumier bovin semi-composté	50
57	139	18	Don	Sciures	7
58	140	19	Vente	Paille	30
59	141	20	Vente	Fumier de volaille	200
60	142	20	Indemnisation	DV	340

61	143	21	Echange	Fumier dindon	120
62	21	143	Echange	Paille	1
63	134	21	Vente	Farine viande	1
64	144	21	Vente	Fientes bio	150
65	145	21	Vente	Fientes bio	70
66	146	21	Vente	Ovinalp	30
67	108	21	Don	Pailles lavande	40
68	104	21	Vente	Farines viande	30
69	104	22	Vente	"""15-15-15"""	1
70	14	22	Vente	Paille	20
71	157	22	Vente	Paille	20
72	158	22	Vente	Paille	20
73	159	22	Vente	Paille	20
74	160	22	Vente	Paille	20
75	104	23	Vente	GP10	10
76	147	23	Vente	Fientes	175
77	146	23	Vente	Ovinalp	1
78	104	24	Vente	"""9-4-1"""	5
79	148	24	Echange	Drêche	8
80	149	24	Echange	Fumier bovin bio	40
81	150	24	Vente	Fumier brebis	1
82	151	26	Indemnisation	DV	550
83	104	26	Vente	"""9-5-0"""	75
84	108	27	Don	Drêches	250
…	…	…	…	..	…
390	104	10020	Vente	PAT	1260
391	106	10019	Vente	Fumier bovin	400

Annexe 3.2 Tables de nœuds et de liens agrégées

Table de nœuds agrégée

Id	Label	timeset	sau	production	utilisation	echange	transformation
10020	Agriculteurs hors-territoire		0	0	0	0	0
10021	Autres collectivités		0	0	0	0	0
10022	Particuliers		0	0	0	0	0
10023	Acteurs du tourisme et loisirs		0	0	0	0	0
10032	Transformateurs alimentaires		0	0	0	0	4200
10034	Transformateurs non-alimentaires		0	0	0	0	2100
10036	Fabricants d'engrais hors du territoire		0	0	0	0	0
10038	Fabricants de compost hors du territoire		0	0	0	0	45000
10039	Transformateurs hors du territoire		0	0	0	0	0
10041	Sites de compostage		0	0	0	0	9400
10042	Sites de traitement des eaux usées		0	0	0	0	7011
10043	Sites de traitement des déchets urbains		0	0	0	0	65000
10051	Cooperatives d'approvisionnement		0	0	0	0	0
10052	Négoces		0	77	0	0	0
10053	Transporteurs		0	0	0	0	400
50001	Quasi-autonomes		974	2716	2007	446	2031

50002	Substituants	399	700	1102	1252	540
50004	Hubs	487	460	1685	3102	1840
50005	Importateurs nets	515	1180	3506	2892	2696
50007						
50008						
50009	Producteurs-échangeurs	639	7371	1385	1600	2048

Table de liens agrégée

Source	Target	Type	Id	Weight	produit	type produit	c	n	e
10053	50005	Directed	9	70	Fumier bovin	FU	0	71	0
50004	50005	Directed	10	1	Paille	DVC	1	0	0
10036	50005	Directed	11	1	Orga3	EI	0	0	1
10051	50001	Directed	12	30	Paille	DVC	31	0	0
10051	50005	Directed	17	5	Engrais	EI	0	0	6
10041	50005	Directed	18	340	DV	DV	341	0	0
10020	50005	Directed	21	75	Compost	CA	0	76	0
10023	50005	Directed	22	7	Sciures	DV	8	0	0
10041	50001	Directed	28	200	DV	DV	201	0	0
10036	50002	Directed	35	40	"""4-6-16"""	EI	0	0	41
10041	50002	Directed	37	500	DV	DV	501	0	0
10020	50004	Directed	38	150	Fumier	FU	0	151	0
10023	50004	Directed	40	1	Sciures	DV	1	0	0
10042	50004	Directed	42	1	Boues	DU	1	0	0
10041	50004	Directed	43	350	DV	DV	351	0	0
10052	50005	Directed	44	200	Vinasse betterave	DVC	201	0	0
10036	50004	Directed	49	1	Farine viande	EIA	0	0	1
10032	50004	Directed	52	80	Drêches bière	DI	81	0	0
10034	50004	Directed	53	250	Drêches	DI	251	0	0
10051	50004	Directed	54	75	"""9-5-0"""	EI	0	0	76
10038	50004	Directed	66	30	Ovinalp	EIA	0	0	31
50004	50004	Directed	70	1	Paille	DVC	1	0	0
10021	50004	Directed	82	550	DV	DV	551	0	0
10051	50004	Directed	411	1					
50004	10020	Directed	91	1	Paille	DVC	1	0	0
50004	10022	Directed	93	5	Compost	CA	0	6	0
10052	50004	Directed	412	-1					
10038	50002	Directed	109	250	Compost végétal	CV	251	0	0
10032	50002	Directed	111	1	Drêches	DI	1	0	0
50001	50002	Directed	113	1	Paille	DVC	1	0	0
10052	50002	Directed	115	15	Engrais	EI	0	0	16
10052	50005	Directed	413	1					
10032	10039	Directed	120	2000	Drêches	DI	2001	0	0
10052	50002	Directed	414	1					
10041	10043	Directed	125	1200	Biodéchets	DU	1201	0	0
10042	10021	Directed	127	160	Boues	DU	161	0	0
10036	50001	Directed	141	10	Engrais - bacteriosol	EI	0	0	11
10051	50002	Directed	143	1	Engrais	EI	0	0	1
10052	50001	Directed	147	10	Engrais	EI	0	0	11
10051	10020	Directed	390	1259	PAT	EIA	0	0	1260
50009	50004	Directed	394	150	Fumier bovin	FU	0	151	0
50009	50002	Directed	395	20	Fientes de poule	FI	0	21	0
50009	10022	Directed	396	5	Compost	CA	0	6	0
50009	50009	Directed	397	60	Fumier bovin	FU	0	61	0
50009	50005	Directed	398	1	Fumier bovin	FU	0	1	0
10036	50009	Directed	400	10	Engrais - bacteriosol	EI	0	0	11
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
10052	50009	Directed	410	3	Engrais	EI	0	0	4

Annexe 3.3 Exemples de requêtes SQL pour une forme d'agrégation

Requête « Nœuds Agrégée »

```
SELECT NoeudsCarto.AGGREGATION AS Id, NoeudsCarto.N1, [Requête Id -> label (carto)].Label, Sum(NoeudsCarto.SAU) AS SAU, Sum(NoeudsCarto.PRODUCTION) AS PRODUCTION, Sum(NoeudsCarto.UTILISATION) AS UTILISATION, Sum(NoeudsCarto.ECHANGE) AS ECHANGE, Sum(NoeudsCarto.TRANSFORMATION) AS TRANSFORMATION, Sum(NoeudsCarto.Max) AS [Max], Count(NoeudsCarto.Id) AS CompteDeId

FROM NoeudsCarto INNER JOIN [Requête Id -> label (carto)] ON NoeudsCarto.AGGREGATION = [Requête Id -> label (carto)].Id

GROUP BY NoeudsCarto.AGGREGATION, NoeudsCarto.N1, [Requête Id -> label (carto)].Label

HAVING (((NoeudsCarto.AGGREGATION)<>0) AND ((NoeudsCarto.N1)<>0));
```

Requête « Liens Agrégée »

```
SELECT LiensCarto.Id, [Liens Requête SOURCE (Carto)].AGGREGATION AS SOURCE, [Liens Requête TARGET (Carto)].AGGREGATION AS TARGET, LiensCarto.Type, LiensCarto.Produit, LiensCarto.Weight

FROM [Liens Requête TARGET (Carto)] INNER JOIN ([Liens Requête SOURCE (Carto)] INNER JOIN LiensCarto ON [Liens Requête SOURCE (Carto)].Id = LiensCarto.Id) ON [Liens Requête TARGET (Carto)].Id = LiensCarto.Id

GROUP BY LiensCarto.Id, [Liens Requête SOURCE (Carto)].AGGREGATION, [Liens Requête TARGET (Carto)].AGGREGATION, LiensCarto.Type, LiensCarto.Produit, LiensCarto.Weight;
```

Requête « Id(Carto)-> Label(carto) »

```
SELECT NoeudsCarto.Id, NoeudsCarto.Label

FROM NoeudsCarto;
```

Requête « Liens Requête TARGET (Carto) »

```
SELECT LiensCarto.Id, LiensCarto.TARGET, NoeudsCarto.AGGREGATION

FROM LiensCarto INNER JOIN NoeudsCarto ON LiensCarto.TARGET = NoeudsCarto.Id;
```

Requête « Liens Requête SOURCE (Carto) »

```
SELECT LiensCarto.Id, LiensCarto.SOURCE, NoeudsCarto.AGGREGATION, NoeudsCarto.SAU, NoeudsCarto.PRODUCTION, NoeudsCarto.UTILISATION, NoeudsCarto.ECHANGE, NoeudsCarto.TRANSFORMATION, NoeudsCarto.Max

FROM NoeudsCarto INNER JOIN LiensCarto ON NoeudsCarto.Id = LiensCarto.SOURCE;
```

Annexe 3.4 Matrice de Bertin

IdR	Label	Type	Engrais commerciaux	Azote	Carbone
24	Michael(Agri24)	1	forte	export	0 échange
31	Didier(Agri31)	1	forte	0 échange	import
27	Sophie(Agri27)	1	forte	export	import
12	François(Agri12)	1	forte	import	import
25	Fréderic(Agri25)	1	forte	0 échange	import-export
13	Hervé(Agri13)	1	forte	import	import-export
28	Etienne(Agri28)	1	forte	import	import-export
23	Sylvie(Agri23)	2		import	0 échange
18	Jean(Agri18)	2		import	import
3	Marc(Agri3)	2		import	import
6	Claude(Agri6)	2		import	0 échange
8	Ivan(Agri8)	2		import	import
14	Luc(Agri7)	2		import	import
17	Brigitte(Agri17)	2		import	0 échange
19	Patrick(Agri19)	2		import	import
32	Bernard(Agri32)	2		import	0 échange
7	Luc(Agri7)	2		import	import
1	Gérard(Agri1)	3		import	export
11	Kévin(Agri11)	3		import	export
22	Patrice(Agri22)	3		import	export
4	Michel(Agri4)	3		export	import
5	Jeanne(Agri5)	3		export	import
10	Sylvain(Agri10)	3		export	import
29	Sébastien(Agri29)	3		export	import
15	Marie(Agri15)	4		import-export	export
26	Arthur(Agri26)	4		import-export	import
30	Léo(Agri30)	4		import-export	import
21	DAVID(Agri21)	4		0 échange	import-export
16	Eric(Agri16)	4		import	import-export
20	Laurent(Agri20)	4		import	import-export
9	Christian(Agri9)	5		0 échange	0 échange
2	Jean(Agri2)	5		0 échange	0 échange

Annexe 4. Caractérisation des mondes dans le discours des agriculteurs

4.1 Monde industriel, centré sur l'efficacité à assurer la production

Les flux sont caractérisés selon des critères physico-chimiques et quantifiés

Dans le monde industriel, les flux sont principalement définis par leur efficacité, à assurer une production :

> *« Je prends ces engrais car ils fonctionnent bien, ils sont bien assimilables » (Kévin(Agri11))*

Leurs caractéristiques techniques, et en particulier leur composition en nutriments, en premier lieu l'azote : recherche de "l'azote au meilleur prix", d'un produit "efficace" mais aussi le phosphore et le potassium, et pas uniquement :

> *« il y a là dedans des oligo-éléments, de la magnésite, du bore.. C'est pas donné, ça vaut 500 -600€/T. Mais bon, c'est des bons produits. Puis le produit est régulier, d'une année sur l'autre. » (François(Agri12))*

La qualification des flux s'effectue sur des critères quantitatifs, en premier lieu la quantité de matières, mais aussi la quantité de substances, ou leur comportement, c'est-à-dire leurs propriétés physico-chimiques.

Les BR titrant fortement en azote comme la majorité des engrais commerciaux, les fientes et les fumiers de poules sont vues comme « bonnes ». Au contraire, celles qui sont peu performantes sur ces critères quantitatifs, ou alors dont les bénéfices sont peu mesurables en pratique sont considérées comme « mauvaises ».

Dans le cadre du monde industriel, un bon flux de BR se doit de ne pas produire de gâchis, de nuisances ou de pertes : les déchets verts brûlés représentent un mauvais flux de BR, alors qu'un épandage « efficace » est valorisé.

Une diversité d'outils, mesures et objets techniques, soumis à un impératif d'efficacité

Le monde industriel est extrêmement outillé. S'y retrouvent l'ensemble des facteurs de production. Les outils et matériels au sens propre y jouent un rôle central : on compte notamment les tracteurs, bennes, tractopelle, etc. Le contrôle quantitatif de l'épandage implique l'usage d'un épandeur « moderne » « à pesée ».

Le sol et sa fertilité sont aussi pris en charges dans ce monde, notamment au moyen d'outils comme les analyses de sols, les analyses de fumiers, les logiciels de gestions de parcelles comme Géofolia ou MesParcelles.

Les personnes, qualifiées par leur fonction dans la production : des conseillers techniques, de techniciens, d'ingénieurs : « Les conseillers travaillent sur la fertilité par le biais d'analyses du sol: Essentiellement la fertilité chimique. Ces indicateurs sont utilisés pour calculer les apports d'azote. » (Lina(expert11)) Les autres acteurs humains sont décrits comme des professionnels, et sont caractérisés selon leurs compétences techniques, ou leur fonction dans la production.

Dans ce monde, les êtres comme les objets sont testés en fonction de leur efficacité sur des critères techniques.

> *"Avant, je vendais [ma paille] à un agriculteur de Die, mais ce n'était pas quelqu'un de sérieux: il ne fauchait pas au bon moment". (Gérard[(Agri1)])*

Le flux se doit d'être dirigé vers des cultures qui sont elles même « productives » et « efficaces » : des cultures « exigeantes » ou « techniques », notamment les cultures semencières, ou légumières (le maïs semence, la culture d'ail, en particulier).

Par extension, l'équipement de l'exploitation participe à distinguer un « bon » agriculteur d'un « mauvais » : Le bon agriculteur est équipé pour gérer au mieux ses biomasses, alors que le mauvais est à la merci d'un matériel défaillant, qui l'empêche de contrôler son système de production, et de gérer, selon des critères industriels, ses BR. Un agriculteur peu technique, mal équipé, qui « ne sait pas ce qu'il épand » est dévalorisé.

La plante est elle-même caractérisée comme demandeuse d'azote, et à la recherche d'efficacité : « La plante, c'est comme pour nous, si on a une morphologie, il faut la nourrir !" "la plante, on la nourrit pas, elle rentre en stress ! et ça fait quoi ? ça fait rien !" »

4.2 Monde marchand, centré sur la concurrence et le prix

Les flux sont caractérisés par leurs prix : les BR sont des biens rares et convoitées

Dans le monde marchand, les BR sont définies par leur prix: l'argent est mesure de toute chose. Les BR peuvent être échangées. Les flux adossés aux échanges marchands y jouent un rôle important.

Les bonnes BR sont des biens rares et convoités. Dans notre panel d'agriculteurs, les fumiers de poules ou de chèvres se révèlent être de tels produits : De nombreux agriculteurs « en cherche[nt], mais n'en trouvent pas ». Alors que d'autres sont considérés comme sans valeurs, tels les fumiers de cheval, et non recherchés.

Ce qui permet de distinguer une bonne d'une mauvaise biomasse, c'est la concurrence : forte dans un cas, et inexistante dans l'autre. Elle forme la valeur de référence du monde marchand. La concurrence participe à la qualité du produit : elle permet d'obtenir le meilleur prix.

> *On achète soit à Agridrôm, soit à Valsoleil. On fait jouer la concurrence "ça leur fait du bien" "la dernière fois, Valsoleil avait fait une erreur sur une facture. Je les ai appelé, ils m'ont dit oui oui" "ils n'ont pas corrigé" Voilà.*

Dans le monde marchand, réussir à conclure une nouvelle affaire, générer de nouveaux flux est considéré comme un succès. Au contraire, échouer à trouver un partenaire commercial, et se rabattre sur le faire de « faire des stocks » est considéré comme un échec (Patrice[(Agri22)]).

Acheteurs, vendeurs, mise en concurrence

Les fonds représentent l'ensemble des agents impliqués dans des relations marchandes,

tour à tour clients, concurrents, acheteurs ou vendeurs, réunis sur un marché.

Dans ce monde, la concurrence, sur un marché est la valeur de toutes choses. Elle donne s grandeur, « Je fais toujours jouer la concurrence, ça leur fait du bien [aux négoces] ! » (Michel(Agri4)). Au contraire, un manque de concurrence affaiblit les entreprises et l'offre: "En Allemagne il y a 5 fois plus de négoces [..] ils s'adaptent à tout le monde. Ici, […] ici ils sont trop cons pour commercialiser [un engrais] ils demandent de s'adapter" (Jean(Agri2))

La concurrence suppose que les BR soient suffisamment détachées de toute autre forme d'attachement (domestique, etc) pour permettre le jeu de la concurrence avec les autres.

Dans le cadre des biomasses résiduaires, le matériel n'est pas particulièrement déterminant :

Alors que la majorité des agriculteurs ne disposent pas de bennes ou de camions, permettant la réalisation effective de l'achat ou de la vente de BR, les échanges sont rendus possibles par le recours à une tierce-partie, d'un prestataire, ou d'un loueur.

4.3 Monde civique, centré sur le collectif et l'intérêt général

Les flux sont caractérisés par leurs rapports à des intérêts collectifs

Les flux sont aussi caractérisés en fonction de leur capacité à représenter autre chose qu'un intérêt particulier, et à s'inscrire dans un intérêt plus large : Pour un agriculteur, « je trouve ça bien de participer à la collectivité, et récupérant les déchets verts ». Les collectivités, décharges municipales, stations d'épurations, font partie des acteurs locaux de ce monde.

Il peut s'agir aussi de flux qui participent à une solidarité, un agriculteur dit par exemple au sujet de son fournisseur de fumier : « c'est normal qu'il partage son fumier entre plusieurs agriculteurs. On en a tous besoin. » (Eric(Agri16)).

Le service peut concerner l'ensemble de la communauté comme par exemple dans le cas de dons de composts entre voisins, ou lorsqu'il implique une limitation des pollutions aux nitrates, qui impactent tout le territoire.

Parmi les attributs valorisés des flux, figure la transparence des échanges, ou leur caractère équitable. Au contraire, les échanges sont dénoncés lorsqu'ils ne respectent pas ces critères :

> *« J'ai appris en discutant avec d'autres agriculteurs […] qu'ils s'étaient fait livrer gratuitement. [Alors que moi j'ai payé. C'est] à la tête du client.. Et c'est là que c'est pas normal. […] C'est bien une façon de faire de l'intercommunalité. Il n'y a que dans ces trucs là qu'on en voit ça. C'est un problème politique, en fait. »*

Les organisations collectives, règles et institutions comme fonds structurants

Le monde civique est peuplé d'êtres qui ne sont pas des personnes, ni des outils en eux-mêmes. Ce sont les personnes collectives qui sont principalement représentées. Les flux sont régis par de règles communes, des chartes, de la réglementation, qui jouent un rôle actif et durable dans leur perpétuation.

Celle-ci émanent directement de l'intérêt collectif, comme par exemple dans le cadre de la charte Nature et Progrès, débattue démocratiquement et con-construite entre agriculteurs. La réglementation joue un rôle central dans ce monde : elle sert à qualifier les flux de biomasses qui sont conformes à la réglementation (respectant les arrêtés préfectoraux, les dates d'épandage, inscrits sur un cahier d'épandage, etc), de ceux qui ne le sont pas. Les fonds qui permettent de se mettre en conformité avec la réglementation, comme par exemple une « plateforme agréée » de compostage sont valorisés.

Dans ce monde, les fonds qui agissent indirectement, et de manière collective sur les flux sont particulièrement valorisés. Par exemple, les organisations collectives : la participation aux instances de Nature et Progrès, les délibérations collectives (assemblée générale de compost et moi). Les actions collectives, comme par exemple la mobilisation d'agriculteurs adhérents d'une coopérative pour un changement d'approvisionnement de composts, entrent dans ce monde.

C'est aussi dans ce monde que s'inscrit la dénonciation de la réglementation, lorsqu'elle est considérée comme arbitraire ou éloignée de l'intérêt général : Par exemple, l'obligation de composter le fumier non-bio pour son usage en agriculture biologique peut être jugée comme une contrainte « idéologique », imposée par une « minorité »

> *"Aujourd'hui, c'est n'importe quoi, la seule chose qui compte, c'est que les papiers soient bien. Bon, quand il y avait des gars qui mettaient 200-250 UA, je comprends, mais là (Michel[(Agri4)])*

Néanmoins, même dans ces cas, la réglementation est décrite comme un fond structurant de la pratique « s'il n'y avait pas la réglementation, je ne composterais pas ».

4.4 Monde de l'opinion centrée sur l'approbation des autres

Les flux sont caractérisés par l'opinion : une « bonne » BR est l'objet d'imitations, une « mauvaise » de rumeurs

Dans ce monde, la caractérisation des flux, et de leur grandeur, vient uniquement de l'opinion des autres. La célébrité fait la grandeur. Les flux de biomasses sont considérés en fonction de l'opinion que les gens en ont.

Lorsque l'opinion est positive, et la BR fait l'objet de l'approbation collective elle peut faire l'objet d'imitations :

> *« Par rapport aux autres, on voit qu'on est bien, car on voit d'autres agriculteurs se mettre à utiliser le même engrais que nous. » (Kévin[(Agri11)])*

Lorsqu'au contraire elle est négative, elle peut prendre la forme de « rumeurs », de « on dit » : « la qualité des déchets verts se dégrade, il parait ».

Les marques, la communication comme fonds structurants

La marque joue un rôle important, en particulier pour les produits commerciaux. « J'achète

toujours le CSF, Et je ne suis pas le seul à l'utiliser. Ceux qui l'utilisent, je vous le garanti, ils en sont contents. » (François(Agri12))

La renommée peut s'appuyer sur de la communication, des présentations, des formations, qui donnent l'occasion de faire connaitre les produits ou les pratiques : par exemple des journées portes ouvertes de la CUMA Terre Avenir, organisée par un agriculteur adhérent, et qui est l'occasion de présenter le retourneur d'andain à de nouveaux adhérents.

Les agriculteurs se font eux même les porte-paroles d'opinions, et propagandistes de certaines pratiques: ils communiquent, et participent à la plateforme Agriliens, mise en place par le service communication de la CCVD. Ils le font aussi dans le cadre de leurs pratiques d'affichage :

> "le bio c'est uniquement pour les subventions. Je ne l'affiche pas au marché, je parle de Nature et progrès, qui portent des vraies valeurs" (Marc(Agri3))

L'opinion peut dicter des choix techniques : « à la base de mes choix de pratiques, il y avait mes idées sur l'environnement, sur la bio ».

Un fond est bon s'il réussit à faire connaître le produit.

4.5 Monde inspiré, centré sur le ressenti et la vie intérieure

Des flux dictés par les émotions, l'inspiration, le ressenti

Les flux sont définis selon des critères relevant de l'inspiration : l'agriculteur « travaille au feeling » (Marc(Agri3)), ou revendique d'agir sous le coup de « l'improvisation » (Ferent). Ces biomasses sont qualifiées selon des critères propres au « ressenti ». Et le compost jeune, « ça me convient ».

Les valeurs propres à d'autres formes de grandeurs, et en particulier les formes industrielles sont rejetées comme inadaptées : « Les analyses […] j'en ai fait, mais c'est difficile de calculer la rentabilité de [ces fumiers] [..] c'est la foi qui sauve » (Ivan(Agri8)).

> *« J'ai fait des analyses de sol au début, mais ça ne sert à rien: car ce qu'on y lit est hallucinant. Il faudrait [soi-disant] faire des amendements dingues. Pour le compost, tu fais dix formations, t'as dix avis différents.[…] C'est pour ça que moi je fais comme je le sens. Le compost jeune, ça me convient. »*

Les valeurs de l'opinion ou les valeurs marchandes sont aussi rejetée. Le fait d'être perçu comme irrationnel participe à la légitimité :

> *« Un jour, j'en avais marre d'être seul dans mes vignes. [alors] on a mis un poulailler mobile, avec des poules qui me suivent dans les vignes quand je bosse. Les gens du monde agricole … mon ouvrier, il a halluciné […] L'année dernière, j'ai fait vingt pourcents de récolte. Je me suis dit, c'est mort. [J'ai du] aller chercher quarante mille euros de trésorerie. Mais ça ne m'a pas empêché de continuer à travailler comme je l'aime, à faire les poules... Je n'ai pas changé, et je n'économise pas sur le superflu. » (Léo(Agri30))*

Les capacités de l'individu et ses croyances comme fonds

L'inspiré oppose aux facteurs de production industriels sa propre sensibilité et son observation:

> *[La fertilisation], je le fais à l'observation, selon les récoltes, selon la vigueur de la vigne. A certains endroits 5T/ha, à d'autres 500kg/ha. J'observe beaucoup pendant les vendanges. Je mets des amendements homéopathiques, mis en fonction de ce que je vois. Il y a beaucoup de reliquats de l'année dans les vignes. Dans tous ces choix, c'est l'observation qui joue. (Léo(Agri30))*

La capacité à s'adapter, à faire face à l'imprévu est valorisée :

> *On essaye de raisonner, mais ça se passe rarement comme prévu]… On met une légumineuse en tête de rotation, "puis on jongle", en fonction de la richesse du sol, de l'enherbement… on le fait au feeling (Ivan(Agri8))*

> *.." "il faut s'adapter, c'est ça le bio" "Et si on me dit que ce n'est pas structuré, je m'en fous" "Quand on travaille avec de la matière organique, avec le vivant, on ne sait jamais" (Michel(Agri4))*

Les croyances se traduisent par une prolifération d'agents agissants comme dans les « cornes de bouse » ou le « travail avec la lune », « la vitalité des sols », dont certains sont rattachés à des cadres ésotériques comme la biodynamie.

> *En biodynamie, j'ai suivi des formations qui étaient bien barrées. Mais il y a toujours un bon sens qui me parle. A des jeunes, quand je leur parle, ça leur semble une évidence. Je ne vais pas chercher à traiter, mais à comprendre. Par exemple, si tu as tout les ans un champignon, dans un bouquin de biodynamie, ils diront que c'est du à un excès de vie. Je vais chercher à limiter l'apport en azote. Ca m'empêche pas d'avoir eu du mildiou cette année. […] L'industrie chimique a fait perdre le bon sens paysan. Il est bien connu qu'en lune descendante, il y a moins de sève. Moi, avant tout, je regarde, et ça dépend de ce que je fais. Je sais que mieux vaut faire que d'attendre le moment idéal. Quand je dis à mon parrain que je travaille avec la lune, il rigole mais n'empêche, il va chercher les champignons quand la lune est pleine ! (Léo(Agri30))*

Le rapport inspiré au monde laisse aussi une place renouvelée à la biodiversité, dans les choix de pratiques, et notamment les engrais verts

> *J'ai deux passions. La première ce sont les chèvres. La deuxième, les abeilles. On ne vit pas qu'avec des fleurs, mais c'est important... Je le fais encore plus maintenant, car je vois qu'il y a moins d'élevages.. Depuis deux ans, je fais des ruches.. et je vois bien que chaque fleur a son utilité. Dans les fauches, je laisse peut être un peu plus fleurir les foins.. Je sème de la phacélie pour les abeilles. Si j'étais en montagne ça serait différent. Mais ici il n'y a pas beaucoup de fleurs..(Pascal)*

4.6 Monde domestique, centré sur les traditions, le connu et le local

Les flux sont dictés par la tradition et l'habitude

L'ordre est établi par référence à la tradition, et à la hiérarchie : Par exemple, un agriculteur parlant de ses pratiques d'épandage de fumier, les considère comme bonne car « c'est comme ça qu'ont toujours fait les anciens ici » (Gérard(Agri1)). « J'achète toujours le même à CSF. Oui oui. Mon père déjà le faisait. » (François(Agri12)). Ces relations se retrouvent dans le

cercle familial, mais pas uniquement : « le patron », « l'ancien », « le fondateur » d'une entreprise ou d'un réseau sont valorisés :

> *J'achète toujours mes engrais chez CSF. Ils étaient utilisés là où l'étais salarié agricole, avant. Mon patron prenait ça. [..] quand je me suis installé ça m'a semblé naturel (Kévin(Agri11))*

Les pratiques sont mues par l'habitude « On met une luzerne en tête de rotation, (..] puis il y a une grosse part d'habitude. "on est un peu figé dans nos habitudes" Quand il y a un technicien qui vient avec des idées, on est réticent.. » (Ivan(Agri8))

La confiance, la discrétion et les relations longues sont privilégiées :

> *Je ne fais pas jouer la concurrence, car je n'ai pas confiance dans les autres.. Bio3g.. le vendeur, je ne le connaissais pas, il est venu, il ne faisait que parler, je n'ai pas eu confiance. La coop on les connait (Etienne(Agri28))*

Ces critères propres au monde domestique font privilégier les BR proches, au détriment des lointaines « où on ne sait pas d'où vient le produit », où les liens sont distendus, les partenaires inconnus, ou la concurrence empêche toute relation ancrée dans la durée.

Les anciens et la famille comme fonds structurants

Les objets ne sont pas appréhendés dans leur grandeur propre, comme c'est le cas dans le monde industriel, mais en tant qu'ils concourent à l'établissement de relations hiérarchiques

Pour certains agriculteurs biologiques, les grands, qui étaient là "dès le début de la bio", sont considérés avec révérence, et leur avis attend, pour légitimer des pratiques.

> *L'ancien propriétaire récupérait déjà les déchets verts, et compostait. C'était l'un des fondateurs de la coop. Nous, on a tout découvert, avec les conseils des anciens. » (Arthur(Agri26))*

Un autre agriculteur décide de suivre les conseils de ses voisins, en raison de leur ancienneté dans la bio :

> *Jusqu'à il y a 3 ans, je mettais l'engrais (accepté en bio) sur les céréales, la luzerne, mais Y et O [le couple d'allemand], qui sont en bio depuis toujours, m'ont dit : ta terre manque d'humus. L'engrais, sur le long terme ce n'est pas bon. Il m'ont dit qu'il faut du fumier. Moi-même, je m'étais rendu compte de rien, je trouvais que tout allait. Mais bon.*

De manière similaire, les agriculteurs semenciers, et notamment les producteurs d'ail semence se reconnaissent entre-eux, accordent une préséance aux « anciens ».

La confiance prime, au détriment des valeurs marchandes. Le fait de rendre service aux anciens est valorisé : « Je fais faire des travaux.. mais on ne s'échange jamais d'argent. » (Gérard(Agri1) est quasi en retraite) « On fait de l'entraide avec un voisin, un retraité, sans facture ni rien » (Marc(Agri3))

« On ne fait pas trop d'échanges.. Juste avec un gars, tous les deux ans, je lui donne 10T de compost. c'est un retraité. Contre 1ha de luzerne » (Michel(Agri4)).

Maison du doctorat de l'Université Paris-Saclay
2ème étage aile ouest, Ecole normale supérieure Paris-Saclay
4 avenue des Sciences,
91190 Gif sur Yvette, France

ÉCOLE DOCTORALE
Agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES)

Titre : Le pluralisme des voies d'écologisation de la gestion des biomasses résiduaires en agriculture : analyse à partir des réseaux métaboliques et étude de cas dans la vallée de la Drôme

Mots clés : économie écologique, pragmatisme, bioéconomie, réseaux métaboliques, systèmes agricoles

Résumé : Les biomasses résiduaires (BR) (ex. effluents d'élevage, résidus de cultures, déchets verts et urbains) jouent un rôle clé en agriculture. La modernisation de l'agriculture depuis le XIXe siècle a profondément transformé leur métabolisme, entraînant appauvrissement des sols, pollutions, perte d'autonomie des exploitations agricoles et des territoires en matière de fertilisation.
Aujourd'hui, des faits scientifiques solides démontrent la nécessité d'une écologisation de la gestion des BR, mais la nature de cette écologisation fait débat. Des visions radicalement différentes de ce que devraient être les bases biophysiques du fonctionnement de nos sociétés coexistent et mettent en tension nos communautés humaines et scientifiques. Cette thèse vise à apporter un cadre analytique pour une mise en dialogue des multiples voies d'écologisation : les réseaux métaboliques.

L'étude a été conduite dans la vallée de la Drôme, terrain emblématique du développement de l'agriculture biologique. Les productions diversifiées, les flux de BR ainsi que les multiples valeurs accordées au métabolisme par les agriculteurs offrent un terrain d'exploration permettant de penser les contradictions, les tensions mais aussi les complémentarités pour l'action entre deux voies d'écologisation contrastées : d'une part la voie ingénieuriale de l'optimisation et du "bouclage des flux" (l'écologie industrielle) et d'autre part, le fait de cultiver des attachements avec le reste du vivant au travers de multiples valeurs, au delà du seul utilitarisme économique (l'écologie des terrestres).

Cette étude dresse les perspectives d'une écologisation plus pragmatique, qui ne ferait pas l'économie du pluralisme des savoirs.

Title: The pluralism of ways of ecologization of residual biomass management in agriculture: an analysis based on metabolic networks and case study in the Drôme Valley

Keywords: ecological economics, pragmatism, bioeconomics, metabolic networks, agricultural systems

Abstract: Residual biomass (RB) (e.g. livestock effluents, crop residues, green and urban waste) plays a key role in agriculture. The modernization of agriculture since the 19th century has profoundly transformed their metabolism, leading to soil impoverishment, pollution and loss of autonomy of farms and territories in terms of fertilization.
Today, solid scientific facts prove the need for an ecologization of RB management, but the nature of this ecologization is debated. Radically different visions of what should be the biophysical basis of the functioning of our societies coexist and put our human and scientific communities in tension. This thesis aims to provide an analytical framework for a dialogue between the multiple pathways of ecologization: the metabolic networks.

The study was conducted in the Drôme valley, a region well knowned for the development of organic agriculture. The cartography of production and flows of RB as well as the description of the multiple values given by farmers to the metabolism of RB allow us to think the tensions and complementarities between two contrasting paths of ecologization: the engineering path of optimization and "closing the loop" (industrial ecology) and cultivating bounds with the rest of the living through multiple values, beyond economic utilitarianism (the earthbound).

This thesis draws up the perspectives of a more pragmatic path towards ecologization.

Maison du doctorat de l'Université Paris-Saclay
2ème étage aile ouest, Ecole normale supérieure Paris-Saclay
4 avenue des Sciences,
91190 Gif sur Yvette, France