



HAL
open science

Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique

Jeanne Cadiou

► To cite this version:

Jeanne Cadiou. Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique. Sociologie. Université Paris-Saclay, 2023. Français. NNT : 2023UP-ASB029 . tel-04190138

HAL Id: tel-04190138

<https://pastel.hal.science/tel-04190138v1>

Submitted on 29 Aug 2023

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 déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique

Development of French biogas policy: implications for sustainable agriculture

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n°581 Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé
(ABIES)

Spécialité de doctorat : Sciences agronomiques
Graduate School : Biosphera. Référent : AgroParisTech

Thèse préparée dans l'UMR **SAD-APT** (Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech)
et à l'**IDDR**, sous la direction de **Jean-Marc MEYNARD**, Directeur de Recherche
émérite, et le co-encadrement de **Pierre-Marie AUBERT**, Chercheur

Thèse soutenue à Paris, le 20 avril 2023, par

Jeanne CADIOU

Composition du Jury

Membres du jury avec voix délibérative

Philippe MARTIN Professeur, AgroParisTech (Université Paris-Saclay)	Président
Guillaume MARTIN Directeur de Recherche, INRAE (centre Occitanie-Toulouse)	Rapporteur & Examineur
Gabrielle BOULEAU Chercheuse (HDR), INRAE (Université Gustave Eiffel)	Rapporteur & Examinatrice
Frédéric ZAHM Chercheur, INRAE (centre Nouvelle-Aquitaine – Bordeaux)	Examineur
Jean-Philippe STEYER Directeur de Recherche, INRAE (centre Occitanie-Montpellier)	Examineur
Charlotte HALPERN Chercheuse, Sciences Po	Examinatrice

Titre : Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique

Mots clés : Effets systémiques, leviers/freins sociotechniques, politique intersectorielle, perspective multi-échelles

Résumé : Depuis le début du XXI^e siècle, la production de biogaz par méthanisation a fortement augmenté dans le monde, soutenue par des politiques de transition énergétique, agricoles et de gestion des déchets. En France, la politique de la méthanisation est associée à une politique de transition agroécologique mais sa contribution à cette transition est sujette à débat. Pour discuter le rôle de la méthanisation dans la transition agroécologique, cette thèse propose d'analyser les effets agroenvironnementaux de la méthanisation, en lien avec la faisabilité sociotechnique et socio-politique de son développement vertueux sur un territoire. A travers une démarche interdisciplinaire - à l'interface de la sociologie de l'action publique et de l'agronomie - cette thèse investigate les déterminants des effets du biogaz en mettant en relation quatre échelles : celles de la ferme, du proche territoire agricole, d'une région et de la France. Nous montrons qu'une vision de la durabilité du biogaz centrée sur les effets directs des techniques de production domine aussi bien dans l'analyse scientifique de ses effets, que dans la compréhension politique de sa contribution à la transition agroécologique.

De plus, les enjeux agroécologiques ont eu une place mineure dans la construction de la politique publique de la méthanisation, comparativement aux enjeux énergétiques. En conséquence, les acteurs de la filière méthanisation française prennent insuffisamment en charge les enjeux complexes de son développement, tandis que les acteurs de l'environnement sont peu équipés pour penser les leviers et garde-fous d'une méthanisation « vertueuse ». Ainsi, nous montrons que la méthanisation, en venant s'adosser aux systèmes agricoles, parfois améliore, parfois dégrade la durabilité, sans être un levier systématique vers l'agroécologie. L'attractivité du digestat en agriculture biologique est un levier intéressant de transition de l'agriculture, mais qui demande à être analysé au prisme des dynamiques de massification. L'analyse de la contribution du biogaz à la transition agroécologique et l'accompagnement de la filière doivent donc être repensés, à l'aune d'une meilleure compréhension des effets systémiques du développement de celle-ci en agriculture. Cette thèse se conclut sur des pistes de réflexions pour construire une politique d'un biogaz durable en agriculture.

Title: Development of French biogas policy: implications for sustainable agriculture

Keywords: Systemic effects, socio-technical levers, cross-sectoral policy, multi-level perspective

Abstract: Since the beginning of the 21st century, the production of biogas by anaerobic digestion (AD) has increased significantly worldwide, supported by the energy and agricultural transitions and waste management policies. In France, AD policy is associated with sustainable agriculture policy, but its contribution to this sustainability transition is subject to debate. To discuss the role of biogas in sustainable agriculture, this thesis analyzes the agri-environmental effects of AD in relation to the socio-technical and socio-political feasibility of its (virtuous) development on a given territory. Through an interdisciplinary approach at the nexus of sociology of public action and agronomy, this thesis investigates the determinants of the effects of AD by interlinking four scales: the farm, the nearby agricultural territory, the region and the country. We show that the vision of the sustainability of AD centered on the direct effects of the production techniques dominates both the scientific analysis of its effects and the political understanding of its contribution to the

transition of agriculture. Moreover, agri-environmental issues have had a minor place in the construction of the biogas policy, compared to energy issues. As a result, the actors of the French AD sector inadequately address the complex issues of its development, and environmental actors are ill-equipped to think about the levers for and safeguards of sustainable biogas production. Thus, we show that by adding to agricultural systems, AD sometimes improves but also sometimes degrades sustainability, and is not a systematic lever towards sustainability. The attractiveness of digestate in organic farming could be a lever for an agricultural transition, but the impacts of upscaling need to be further assessed. The analysis of the contribution of biogas to sustainable agriculture and the support of the sector must therefore be rethought in the light of a better understanding of the systemic effects of its development on agriculture. This thesis concludes with some reflections on how to build sustainable AD policy for agriculture.

Financements

Cette thèse a été cofinancée par l'ADEME et l'IDDRI. Elle a bénéficié du soutien du gouvernement français au titre du programme « Investissements d'avenir », administré par l'Agence nationale de la recherche (ANR) sous la référence ANR-10-LABX-14-01. La doctorante a aussi bénéficié de financements de l'INRAE (UMR SAD-APT) et du Centre de Politique de la Terre dans le cadre du projet Meth'InTerE (dirigé par Pascal Grouiez).

La doctorante a été accueillie au sein de l'UMR SAD-APT de l'INRAE et de l'équipe Agriculture de l'IDDRI.



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Remerciements

En premier lieu merci à toutes les personnes rencontrées tout au long de cette thèse, qui m'ont consacré de leur temps pour un entretien, en particulier un grand merci aux agriculteurs que je suis allée rencontrer sur leurs exploitations. Ces temps d'enquêtes furent très riches scientifiquement et humainement. J'espère parvenir aujourd'hui à restituer un travail qui pourra vous intéresser.

Je remercie bien sûr mes deux directeurs de thèse, Jean-Marc Meynard et Pierre-Marie Aubert. J'ai beaucoup apprécié nos discussions qui cherchaient à faire dialoguer et articuler ces deux mondes de la sociologie et de l'agronomie. J'ai beaucoup appris, tout au long de ces trois années et demies. Merci Jean-Marc pour la supervision quotidienne, les conseils avisés des petits détails aux grandes idées, les discussions passionnantes et éclairantes, et ta patience attentive tout au long de la thèse. Merci Pierre-Marie pour les échanges toujours extrêmement stimulants, pour ton aide à la réflexivité et à la prise de recul nécessaire sur un terrain controversé. Une pensée particulière au talent de commentateur de Jean-Marc, dans ses relectures, célèbre dans le vaste réseau de ses doctorants et doctorantes. Au-delà de ce duo, je suis reconnaissante à tous les collègues et amis de l'INRAE, de l'IDDRI et des collectifs de doctorants et doctorantes, dont les conversations scientifiques ou amicales m'ont accompagnée, et ont joué un rôle clef, dans mon cheminement de thèse. Je ne cite que, côté INRAE, Tianzhu (que de *pomodoro*), Viviane (que de questionnements), Paola, Corentin, Fabrice, Faustine et Yannick (animation doctorale salvatrice) ; et côté IDDRI, Baptiste, Jérôme, William, Elise, Johannes, Juliette, Lucilia, Damien, Alexandre, Nathalie, ... mais elles et ils sont si nombreux. Un merci particulier pour les organisateurs des JDD de SAD-APT, ces journées de recul furent particulièrement revigorantes, au milieu de ces périodes covid. Merci aussi à toutes les personnes qui ont facilité sur le plan matériel et logistique ma thèse à l'INRAE (Florence), comme à l'IDDRI (Aurore), et particulièrement mes entrées sur le terrain (merci à la famille de Sabine). Je ne peux pas oublier les services publics de la BNF et du CROUS, si facilitateurs, en particulier en période de rédaction...

Outre les personnes déjà citées, je voudrais remercier les chercheuses et chercheurs qui ont participé dans mon comité de thèse ou ailleurs, de près ou d'un peu plus loin, à me faire réfléchir et à me motiver dans ma recherche, chacun et chacune à leur manière : particulièrement Pascal Grouiez, Philippe Lescoat, Nicolas Béfort, Xavier Poux, Jeanne Pahun, Sarah Lumbroso, Francesco Accatino, Viviane Trèves... Merci beaucoup également aux relecteurs et relectrices de la dernière heure, à la recherche des coquilles résiduelles du manuscrit. Et par avance je remercie mes rapporteurs, examinateurs et examinatrices de thèse, pour le temps passé à évaluer mon travail.

Ces années de thèse n'auraient pas été les mêmes, sans la présence de nombreuses amitiés pour me soutenir dans les coups de mou, partager les joies de la thèse, et surtout, m'aider à l'oublier un peu. Je ne cite que Jérôme, Louise, Mathilde, Alix et Sixtine.

Merci enfin à ma famille si bienveillante et présente dans les hauts et les bas de la thèse. Votre soutien affectif et matériel inconditionnel, ainsi que les moments heureux passés ensemble, m'ont toujours permis d'avoir une grande liberté de choix, je vous en suis très reconnaissante.

*«Between the idea
And the reality
Between the motion
And the act
Falls the shadow »*

T.S. Eliot (1888-1965) – *The Hollow Men* (1925)
Dans *La terre vaine et autres poèmes* (Points Poésie, 2006)

Sommaire

Financements	3
Remerciements	4
Introduction et problématisation	9
Chapitre 1 : Démarche de recherche : Quelle posture et quel terrain ?	26
Chapitre 2 : De l'importance de considérer les dynamiques agricoles dans les discours sur le futur de la méthanisation	40
Chapitre 3 : Les promesses dans la construction de la politique publique de la méthanisation agricole	61
Chapitre 4 : Effets de la méthanisation sur des systèmes de production agricoles	107
Chapitre 5 : Dynamiques sociotechniques territoriales de la mise en œuvre de la politique du biogaz en Grand Est	185
Chapitre 6 : Discussion générale de thèse	260
Conclusion générale	275
Table des illustrations	277
Annexes	281
Bibliographie	295

Table des matières détaillées

Financements	3
Remerciements	4
Introduction et problématisation	9
1 <i>La méthanisation dans les transitions : une juxtaposition de différentes promesses</i>	9
2 <i>Le cadre politique de la méthanisation : un élément structurant de son développement</i>	11
3 <i>La politique du biogaz en France et les controverses sur son rôle dans la transition agricole</i>	13
4 <i>Des enjeux agroenvironnementaux complexes et inégalement explorés</i>	15
5 <i>Problématique de thèse</i>	23
Chapitre 1 : Démarche de recherche : Quelle posture et quel terrain ?	26
1 <i>La perspective de l'ASGE : une approche écocentrée pour analyser le déploiement et les impacts d'une politique environnementale</i>	26
2 <i>Architecture de la thèse : mobiliser l'ASGE pour évaluer une des dimensions de la politique de méthanisation et discuter des pistes de changement</i>	28
3 <i>Présentation de la démarche de recherche</i>	30
Chapitre 2 : De l'importance de considérer les dynamiques agricoles dans les discours sur le futur de la méthanisation	40
RESUME EN FRANÇAIS	40
ABSTRACT	41
KEYWORDS	41
HIGHLIGHTS	41
INTRODUCTION, CONTEXT AND PREVIOUS RESEARCH	41
THEORETICAL PERSPECTIVE	43
1 <i>Futures studies in the regime of techno-scientific promises</i>	43
2 <i>Farming systems research</i>	44
MATERIAL AND METHODS	45
1 <i>Building the corpus</i>	45
2 <i>Data collection and analysis</i>	47
RESULTS	48
1 <i>Contrasting views of the potential of biogas production</i>	48
2 <i>Disparate consideration of the 10 sustainability themes</i>	49
3 <i>A vision of sustainability developed mainly through normative rhetoric on the evolution of agricultural systems</i>	52
4 <i>A positive correlation between the depth of analysis of the system's dynamics and the clear identification of sustainability issues</i>	54
GENERAL DISCUSSION OF CHAPTER 2	55
1 <i>Biogas sustainability issues to consider, at the three levels</i>	55
2 <i>The normative rhetoric concerning changes in practices comes up against the diversity of the AD development contexts</i>	58
3 <i>Agency in these futures studies</i>	59

4	<i>Ways for improving futures studies at the crossroad of different sectors</i>	59
CONCLUSION		60
Chapitre 3 : Les promesses dans la construction de la politique publique de la méthanisation agricole		61
INTRODUCTION		61
CADRE THEORIQUE		62
MATERIEL ET METHODE		64
RÉSULTATS		66
1	<i>Présentation des grandes séquences de la politique de méthanisation agricole</i>	66
2	<i>Brève histoire de la méthanisation dans la seconde moitié du XXe siècle en France : ébauche d'une politique publique</i>	71
3	<i>Séquence 1 : Un soutien règlementaire qui se construit entre promesse Déchets et promesse ENR (2002-2011)</i>	73
4	<i>Rupture 2008/2011 : intéressement des professionnels du gaz</i>	79
5	<i>Séquence 2 : Un soutien croissant à la filière porté par la promesse ENR (2011 à 2018/2020)</i>	84
6	<i>Rupture 2018/2020 : la promesse Agroécologique échoue à justifier le coût de financement du biogaz</i>	95
7	<i>Nouvelle rupture et nouvelle séquence : une promesse ENR Biométhane relégitimée avec la guerre russo-ukrainienne ?</i>	103
DISCUSSION GENERALE DU CHAPITRE 3		103
1	<i>Repolitiser l'analyse de la politique publique du biogaz pour tenir compte d'enjeux multisectoriels</i>	103
2	<i>Particularité de la place de la promesse agroécologique en France</i>	104
3	<i>Une prise en compte différenciée des enjeux agro-environnementaux entre injection et cogénération ?</i>	106
Chapitre 4 : Effets de la méthanisation sur des systèmes de production agricoles		107
INTRODUCTION		107
CADRES THEORIQUES : APPORTS CROISES DE L'AGRONOMIE SYSTEME ET DE LA FARMING SYSTEM RESEARCH		107
MATERIEL ET METHODE		110
1	<i>Choix et caractéristiques du terrain d'étude</i>	110
2	<i>Recueil de données</i>	115
3	<i>Analyse des données</i>	117
RÉSULTATS		124
1	<i>Un atelier de méthanisation, de nouveaux enjeux pour l'agriculteur</i>	124
2	<i>Influence de la méthanisation sur la gestion de l'azote</i>	135
3	<i>L'agri-méthaniseur fait évoluer son assolement et la conduite de ses cultures, en relation avec sa stratégie d'approvisionnement du méthaniseur</i>	152
4	<i>Chez les éleveurs, la méthanisation, entre concurrence et soutien à l'élevage</i>	168
5	<i>Grandes logiques d'évolution des systèmes de production des agriculteurs méthaniseurs</i>	179
DISCUSSION GENERALE DU CHAPITRE 4		183
Chapitre 5 : Dynamiques sociotechniques territoriales de la mise en œuvre de la politique du biogaz en Grand Est		185
INTRODUCTION ET CONTEXTE DE RECHERCHE		185

CADRES THEORIQUES	185
MATERIEL ET METHODE	187
RESULTATS	192
1 <i>La gestion effective directe : nouvelles dynamiques de gestion de la biomasse sur le proche territoire et nouveaux enjeux de durabilité.....</i>	193
2 <i>La gestion effective indirecte : une alliance objective de 4 « familles » d'acteurs autour de 2 enjeux, pour développer la méthanisation en Grand Est</i>	218
3 <i>La gestion intentionnelle : Les acteurs de l'environnement ont peu de moyens pour suivre et prendre en charge la durabilité dans le développement de la filière.....</i>	240
DISCUSSION GENERALE DU CHAPITRE 5.....	253
1 <i>Contribution des promesses au développement du biogaz.....</i>	253
2 <i>Une politique publique peu apte à prendre en charge les nouveaux enjeux agroenvironnementaux ...</i>	254
3 <i>Liens de la méthanisation au régime agricole dominant</i>	257
Chapitre 6 : Discussion générale de thèse	260
1 <i>Appréhender la durabilité de la méthanisation.....</i>	260
2 <i>Enjeux d'une politique de méthanisation durable en France</i>	266
3 <i>Apports et limites de l'approche de recherche</i>	272
Conclusion générale	275
Table des illustrations	277
1 <i>Table des figures</i>	277
2 <i>Table des tableaux</i>	278
3 <i>Table des encadrés.....</i>	279
Annexes	281
1 <i>Liste des sigles.....</i>	281
2 <i>Données complémentaires.....</i>	283
3 <i>Informations sur les entretiens semi-directifs menés durant la thèse</i>	289
Bibliographie.....	295

Introduction et problématisation

1 La méthanisation dans les transitions : une juxtaposition de différentes promesses

La technologie de méthanisation¹ est mobilisée ces dernières décennies, de par le monde, comme une réponse à plusieurs enjeux de transition. Son développement juxtapose ainsi différentes *promesses sociotechniques*. En première approche (nous y reviendrons section 5.1), nous parlerons de promesse comme d'une construction narrative permettant de problématiser le développement d'une technologie – ici la méthanisation agricole – comme réponse à un problème ou à un défi sociétal. Une telle construction narrative permet en retour de mobiliser des acteurs et des ressources en vue précisément de favoriser le développement de ladite technologie.

Une première promesse associée à la méthanisation est celle d'une nouvelle ressource énergétique renouvelable dans la transition énergétique : la méthanisation consiste en la fermentation anaérobie de biomasse, donc de ressources renouvelables et non fossiles (Figure 1, Encadré 1). Cette fermentation conduit à la production d'un biogaz riche en biométhane, qui est un vecteur énergétique « stockable ». Dans certains scénarios de transition énergétique européens, ce biogaz stockable joue un rôle clef dans la gestion des pics de consommation des énergies intermittentes et des usages non électrifiables (comme les transports lourds). Dans d'autres pays, comme en Chine, il s'inscrit davantage dans un modèle d'autoconsommation énergétique pour répondre aux besoins en énergie des habitants. Cette **promesse « Energie renouvelable »** (ENR) est souvent associée à la promesse « Climat » : la méthanisation est alors un levier d'atténuation du changement climatique à travers le traitement de biodéchets agricoles ou industriels émetteurs de méthane.

Une seconde promesse est la promesse de gestion des déchets, qui fait de la méthanisation une brique d'une économie circulaire. Les intrants de la méthanisation sont des produits (cultures), des coproduits ou sous-produits (par exemple des effluents d'élevage, sous-produit inhérent à la production laitière), ou encore des biodéchets issus de la consommation de biomasse dans l'activité humaine. La méthanisation peut contribuer à l'économie circulaire d'un territoire à travers la valorisation énergétique de ces produits, sous-produits et déchets, et une bonne gestion du digestat qui en est issu (voir la définition du digestat dans l'Encadré 1). C'est aussi une manière de valoriser aux plans énergétiques ou agronomique des déchets. Avec la **promesse « Déchets »**, la méthanisation s'inscrit dans une dynamique de recyclage des nutriments ou d'optimisation de la gestion des déchets. En Chine ce moyen de traiter les déchets s'insère également tout au long du XX^e siècle dans un objectif d'amélioration de l'hygiène publique.

Une troisième promesse est celle d'un biogaz générateur d'un revenu de diversification en agriculture. En France cette **promesse « Revenu »** est un élément de la politique agricole nationale (Stratégie nationale bas-carbone). Plus largement cette promesse s'étend à celle d'une stimulation économique (emploi, revenu) que la production et la vente d'énergie apportent en milieu rural.

¹ Comme précisé dans l'Encadré 1, la méthanisation désigne la technologie qui permet de produire du biogaz. Le biogaz est donc un produit de la méthanisation. Les deux termes « méthanisation » et « biogaz » sont employés alternativement dans cette thèse, pour alléger le texte et faciliter la lecture, mais ils se réfèrent à la même technologie.

Enfin la quatrième promesse, qui va nous intéresser le plus dans cette thèse, est celle d'une méthanisation facilitant la transition de l'agriculture vers l'agroécologie. Cette **promesse « Agroécologique »** agrège les idées de gestion des déchets et d'atténuation du changement climatique, mais propose plus largement l'idée que cette technologie va être initiatrice de modes de production agricole plus durable. La méthanisation permettrait de répondre aux limites environnementales des modèles agricoles actuels (pollutions azotées, non circularité des cycles du C et de l'N, consommation de pesticides et émissions de gaz à effet de serre (GES)), grâce aux apports de solutions techniques sur les fermes, mais aussi grâce à l'augmentation du revenu des agriculteurs qui en réalisent la mise en œuvre. En France cette promesse est résumée par des acteurs publics comme privés à travers la formule suivante : « Une méthanisation levier de transition agroécologique ».

La méthanisation est ainsi une technologie qui s'est développée à l'interface de plusieurs secteurs (Gustafsson & Anderberg, 2021a; Huttunen et al., 2014). D'un pays à l'autre, le nombre et le rôle des différents domaines politiques impliqués varient. Ces promesses y sont ainsi diversement portées par des politiques publiques et privées : celles-ci sont plus ou moins orientées sur certaines de ces promesses, et privilégient certains modèles et certaines fonctions sociétales (transition énergétique des transports, gestion de l'azote en agriculture, brique de l'économie circulaire etc.).



Figure 1 : La méthanisation des matières a lieu dans un digesteur (dôme à gauche), le biogaz produit est épuré dans le cabanon d'épuration (à droite). (Source : autrice).

L'Encadré 1 décrit plus précisément la technologie de méthanisation. Dans cette thèse, nous nous intéressons au biogaz dit « agricole ». D'un point de vue juridique, en France un biogaz est défini comme agricole lorsqu'il est issu de la méthanisation d'au moins 50% d'intrants, en volume, issus de

l'agriculture, et que le capital de la plateforme de méthanisation est détenu à au moins 50% par des acteurs réalisant une activité agricole (Article D311-18 - Code rural et de la pêche maritime, 2017).

Définitions et diversité des systèmes techniques de méthanisation (digestion anaérobie)

La méthanisation est une réaction physicochimique en conditions anaérobies de dégradation de substrats organiques par des microorganismes. Elle s'opère dans une structure appelée méthaniseur. Cette réaction conduit à la production de deux phases : une phase gazeuse appelée « biogaz », composé principalement de méthane (CH₄), de dioxyde de carbone (CO₂) et d'eau (H₂O) ; et une phase organique résiduaire appelée digestat (Gregorie et al., 2020; Moletta, 2015). Le digestat contient donc tous les autres éléments présents dans les intrants du méthaniseur. Le biométhane du biogaz peut être utilisé comme source d'énergie à travers deux procédés de valorisation : la cogénération qui consiste à produire de l'électricité et de la chaleur via une turbine à gaz ; et l'injection qui consiste à purifier le biométhane du biogaz afin de l'utiliser dans le réseau de gaz ou sous forme de carburant liquéfié. Le digestat peut avoir différents usages. Il est couramment épandu sur des terres agricoles. Il possède des propriétés agronomiques de fertilisant et d'amendement organique (Grillo et al., 2021; Koszel & Lorencowicz, 2015).

La méthanisation est une technologie qui peut mobiliser divers procédés (mésophile, thermophile), différentes technologies (voie sèche/voie liquide ; valorisation du biogaz en injection/cogénération) et différentes pratiques (pré-traitement des intrants, post-traitements des digestats ; épandages des digestats). Elle peut traiter une diversité de matières entrantes (biodéchets agroalimentaires ou de station d'épuration, coproduits agro-industriels ou agricoles, cultures énergétiques) dans des structures de tailles variables, de la micro-méthanisation (quelques dizaines de kilowatt de puissance installée maximum) aux grands méthaniseurs territoriaux ou industriels (jusqu'à plusieurs mégawatt de puissance installée). On différencie la méthanisation agricole qui traite une majorité de matières agricoles (résidus, coproduits, cultures, déchets), de la méthanisation industrielle qui traite une majorité de matières issues de l'industrie agroalimentaire ou des déchets.

Par ailleurs, on distingue la production de biogaz de décharge, issu de la fermentation des matières organiques contenues dans les déchets des décharges, de la production de biogaz par méthanisation, où le procédé de méthanisation permet de favoriser le processus de *digestion anaérobie* pour produire spécifiquement du biométhane. Le chapitre 3 montrera que la technologie de méthanisation s'est développée en France dans le pas de la valorisation du biogaz de décharge.

Encadré 1 : Présentation de la technologie de méthanisation.

2 Le cadre politique de la méthanisation : un élément structurant de son développement

Depuis les années 2000, la production mondiale de biogaz s'est fortement développée avec, entre 2000 et 2017, une multiplication par quatre de l'énergie produite, de 78 à 364 TWh (Brémond et al., 2020; World bioenergy association, 2019). Les contextes politiques et les enjeux du développement de la méthanisation sont très variés, allant de pays en situation de pauvreté énergétique à des pays utilisant massivement des énergies fossiles. A peu près la moitié de la production de biogaz est localisée en Europe (Schmid et al., 2019), la Chine et les Etats-Unis étant les deux autres principaux

producteurs (Lu & Gao, 2021; Scarlat et al., 2018). En Europe, la production de biogaz a été multipliée par 7 entre 2000 et 2017 avec une plus faible évolution entre 2016 et 2019 (World bioenergy association, 2019). Le nombre de méthaniseurs en 2020 atteint 20 000 (Arnau et al., 2021), dont près de la moitié sont localisés en Allemagne (Fachverband Biogas (Association allemande du biogaz), 2021). La production de biogaz y atteint 191 TWh en 2021 (Arnau et al., 2021). Le plan « REPowerEU » de la Commission Européenne, lancé en mars 2022 à la suite de l'invasion Russe en Ukraine, fixe par ailleurs un objectif de 350 TWh de biogaz d'ici 2030 – soit un accroissement de plus de 75% en 8 ans. En Asie, le biogaz est surtout produit au sein de petits méthaniseurs domestiques (Lu & Gao, 2021; Mittal et al., 2018; Tagne et al., 2021). La Chine, en tête de file compte en 2017, 40 millions de méthaniseurs domestiques et environ 100 000 méthaniseurs industriels (Lu & Gao, 2021). En 2018, les méthaniseurs traitent principalement des effluents d'élevage (IEA, 2020). En Afrique, de nombreux pays comme l'Afrique du Sud ou le Kenya mettent en place des politiques publiques, plus ou moins fructueuses, pour encourager le développement de la méthanisation domestique et industrielle (Kemausuor et al., 2018; Rupf et al., 2017; Surendra et al., 2014; Tagne et al., 2021; Tolessa et al., 2020). Aux Etats-Unis, la production de biogaz est principalement issue de la récupération du gaz de décharge, mais le pays porte un intérêt croissant à la méthanisation d'intrants agricoles (IEA, 2020). En Amérique latine, une diversité de modèles se côtoient aussi : certains pays comme le Mexique ou la Bolivie ont soutenu l'installation de petits méthaniseurs, d'autres comme le Brésil ou l'Argentine ont plutôt vu se développer des grandes installations industrielles (Scarlat et al., 2018). La production de biogaz est ainsi très hétérogène d'un pays à l'autre, en ce qui concerne la taille des méthaniseurs, leurs intrants (agricoles, agroindustriels, biodéchets) et les usages de l'énergie (électricité, carburant, gaz) (Arnau et al., 2021; Scarlat et al., 2018).

Les politiques publiques sont structurantes du développement de la production de biogaz dans le monde (Chung et al., 2022; D'Adamo et al., 2020; European Commission. Joint Research Centre., 2017; Kanda et al., 2022; Mittal et al., 2018). Sur le marché européen, sans subventions, l'énergie issue du biogaz n'était pas, jusqu'à la crise actuelle, compétitive économiquement par rapport aux énergies qu'elle concurrence (gaz naturel, électricité nucléaire, électricité issue du charbon etc.) (Horschig et al., 2016). Des cadres législatifs ont ainsi été mis en place pour soutenir le développement du biogaz. Les politiques publiques de soutien au biogaz peuvent porter sur de nombreux aspects : intrants, taille des installations, durabilité, usage final de l'énergie (Schmid et al., 2019; Zhu et al., 2019). Les effets de ces politiques sur l'organisation des filières biogaz sont par conséquent très divers d'un pays à l'autre. De plus, ces politiques évoluent continûment avec le développement du biogaz, de même que les connaissances sur les impacts économiques, sociaux et environnementaux du biogaz.

En Europe, les politiques publiques du biogaz se sont structurées principalement autour des objectifs de production d'énergie renouvelable et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. En 2005, le « plan d'action dans le domaine de la biomasse » de l'Union européenne donnait pour objectif de doubler entre 2003 et 2010 la part issue de biomasse dans la consommation énergétique de l'Union (Tritz, 2013). La directive du 23 avril 2009 « EnR I » (Directive 2009/28/EC on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, 2009), a institué de premiers objectifs applicables à la production de biogaz, objectifs relevés en 2018 par la directive « EnR II » (Directive (EU) 2018/ 2001 of 11 December 2018, 2018) : elle fixe un objectif, à 2030, d'au moins 32 % d'énergie produite à partir de sources renouvelables, dont au moins 14% dans le secteur des transports et au moins 40 % dans celui du chauffage et du refroidissement. Les politiques européennes d'amélioration de la gestion des

déchets incitent également à la valorisation du biogaz issu du gaz de décharge et des biodéchets (Landfill Directive ; Waste Framework Directive ; Circular Economy Package). En 2019, près de trois quart des mesures soutenant le biogaz en Europe sont de nature financière (Banja, Jégard, et al., 2019).

La politisation européenne a joué un rôle important dans le développement des bioénergies (biocarburants, énergies bois biomasse, biogaz) (Vogelpohl et al., 2022). La directive EnR I avait introduit pour les biocarburants des critères de durabilité sur les émissions GES. La directive EnR II a renforcé les exigences de durabilité et leur traçabilité pour toutes les filières « bioénergétiques » et biomasse : les exigences concernent les implications environnementales de la mobilisation de biomasse agricole ou forestière, le niveau de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES) à atteindre, ainsi que l'efficacité énergétique des installations. Concernant le biogaz, des exigences portent sur les intrants pour les installations d'une puissance installée de plus de 800kW électriques ou d'un débit de 200Nm³ CH₄² : les intrants ne doivent pas être issus de territoires de grande valeur en termes de biodiversité, de territoires présentant un important stock de carbone, ou de territoires ayant le caractère de tourbière (Directive (EU) 2018/ 2001 of 11 December 2018, 2018). Les traductions nationales de ces directives encadrent plus précisément les exigences agroenvironnementales de son développement (Banja, Sikkema, et al., 2019). Dans ce cadre politique européen, la méthanisation est donc présentée comme une technologie qui a toute sa place dans les transitions environnementales. Des objectifs de volume sont fixés par ces politiques, mais la place réelle de la méthanisation dans les transitions dépend de la manière dont chaque pays s'approprié ces grands objectifs et conditionne le développement de la méthanisation à des exigences techniques, économiques et environnementales.

3 La politique du biogaz en France et les controverses sur son rôle dans la transition agricole

En France, la politique du biogaz inscrit tout à la fois la méthanisation dans les promesses Energie renouvelable (ENR), Déchets, Revenu agricole et Agroécologie. Développée à la fin des années 1990 à travers la cogénération dans une optique de gestion des déchets et d'atténuation du changement climatique, son soutien s'est ensuite axé vers la transition énergétique, à la fin des années 2000. Après 2010 et jusqu'à 2020, le soutien des pouvoirs publics à la méthanisation s'est orienté davantage vers l'injection, afin d'améliorer l'efficacité énergétique de la filière. Avec le plan Energie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA) de 2012, la méthanisation est aussi mise en avant comme un élément de la transition agroécologique à travers la valorisation des effluents d'élevage, le recyclage de l'azote et la diversification des activités agricoles. Dans les projections sur le développement du biogaz, (ADEME et al., 2018; Couturier et al., 2016; Ministère de la Transition écologique, 2018), le secteur agricole apparaît comme un des principaux fournisseurs d'intrants. Dans ces projections, la mobilisation d'intrants agricoles en méthanisation s'inscrit dans les promesses citées précédemment, qui sont considérées en synergie. Cependant ces promesses gagnante-gagnantes contrastent avec les résistances et les critiques qui montent des territoires (Bourdin, 2020; Schumacher et al., 2019) (cf. Figure 2). Les oppositions locales aux projets dénoncent des nuisances sociales (nuisances olfactives et sonores, encombrement des routes alentours) et économique (perte de valeur du foncier), mais aussi environnementales (Bourdin et al., 2019).

² L'installation en injection produit un volume de CH₄ de 200 norme mètre cube heure. On utilise le débit pour caractériser sa puissance. L'installation en cogénération est davantage caractérisée par sa puissance installée électrique en kWe.



Figure 2 : Illustration d'une mobilisation contre un projet de méthanisation en France - Source : Article de La France Agricole (2022) « Méthanisation, les campagnes sous tension ». © PhotoPQR/Presse Océan/MaxPPP.

Les critiques environnementales formulées portent sur la pollution des eaux par le digestat [Articles scientifiques : (Aissani et al., 2013; Nkoa, 2014) ; presse (Ouest-France, 2020)] ; la concurrence entre production d'énergie et alimentation, liée aux cultures dédiées pour les méthaniseurs [Articles scientifiques : (Lijó et al., 2017; Svoboda et al., 2013) ; presse (Les clefs de la transition énergétique, 2020; SPLann!, 2022) ; le rôle de la méthanisation dans la transition des systèmes agricoles (verrouillage de systèmes non durables versus levier de transition agroécologique) [Article scientifique : (Carrosio, 2014) ; presse (Lallouët-Geffroy, 2019)]. Le coût élevé du méthane produit, en regard de ses effets environnementaux, était également critiqué en France [presse : (Kirsch, 2022)] avant que la guerre en Ukraine n'inverse la tendance des prix, et le rende moins cher que le gaz fossile. Ces oppositions peuvent conduire dans certains cas à l'arrêt de projets de méthanisation.

Nous nous proposons, dans ce mémoire de thèse, d'analyser le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France, et ses implications pour la transition agroécologique. Autrement dit, il s'agit d'analyser la réalité de la promesse agroécologique qui sous-tend voire justifie, au moins pour partie, le déploiement des politiques publiques de méthanisation, en documentant simultanément (i) l'évolution des mesures de soutien à la méthanisation agricole ; (ii) le rôle de ces mesures dans le déploiement « réel » de la méthanisation ; (iii) les effets agro-environnementaux induits par le développement de la méthanisation.

Les critiques sur la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation ont pour terrains des controverses qui traversent, voire divisent, l'ensemble des champs sociaux (associations environnementales, milieux académiques, monde agricole, acteurs économiques et politiques) et cela aussi bien au niveau national que dans les territoires. Elles se cristallisent autour de la question de l'impact environnemental « réel » de la méthanisation. Ces controverses sont elles-mêmes liées à la

difficulté à évaluer les impacts directs et indirects du développement du biogaz. Dans les sections suivantes, nous montrons en effet que l'importante littérature scientifique sur la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation agricole aborde une diversité d'enjeux environnementaux, mais qu'aucune synthèse ne semble pour le moment émerger.

4 Des enjeux agroenvironnementaux complexes et inégalement explorés

La spécificité de l'énergie renouvelable issue de la méthanisation est son ancrage matériel double en agriculture : de par la provenance de ses intrants, et de par le besoin de terres pour épandre le digestat. Ses effets agroenvironnementaux sont donc liés à l'amont, à l'aval et à la gestion du méthaniseur. Notre revue de littérature porte sur les effets de la méthanisation agricole, c'est-à-dire d'une méthanisation qui s'adosse à des systèmes agricoles et qui traite une majorité d'intrants agricoles. Elle concerne trois dimensions : les effets agroenvironnementaux ou « biophysiques » (4.1) ; la transformation des systèmes agricoles intégrant un atelier méthanisation (4.2) ; la dynamique des systèmes sociotechniques agricoles plus larges (4.3).

4.1 Revue de littérature : les effets agroenvironnementaux de la méthanisation agricole

La méthanisation modifie le **cycle du carbone** sur l'exploitation et le territoire. Les enjeux d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES), liés au méthaniseur, sont documentés dans plusieurs revues de littérature sur les analyses de cycle de vie (Ingrao et al., 2019; Vasco-Correa et al., 2018). Les diversités méthodologiques et de délimitation des systèmes induisent des résultats variables, mais la tendance générale est une diminution des émissions de GES (Bacenetti et al., 2016; Moinard, 2021; Vasco-Correa et al., 2018) : la méthanisation limite les émissions de méthane des effluents entrants et le biogaz se substitue à des énergies fossiles émettrices de GES. Le bilan carbone dépend cependant beaucoup de la situation prise en référence et des pratiques (origine et nature des intrants, couverture des fosses, gestion des fuites) (Moinard, 2021).

Les travaux qui étudient **l'évolution de la matière organique** du sol s'intéressent aux effets de la substitution de l'épandage d'intrants non méthanisés par du digestat, et aux effets de la méthanisation de couverts intermédiaires (sujet particulièrement traité en France). La revue de littérature de (Launay et al., 2022) sur les couverts intermédiaires à vocation énergétique montre, à partir de l'analyse d'un nombre encore restreint d'études, que l'usage de couverts intermédiaires à vocation énergétique en méthanisation a un impact généralement positif sur le stockage de carbone dans le sol, comparé à leur incorporation (apports de C racinaire). L'évolution de la biomasse exportée (cultures et résidus de cultures) pour la méthanisation peut également affecter ce bilan négativement.

Les travaux sur **l'effet amendant du digestat**, suite à la substitution de l'épandage de résidus (effluents d'élevage, pailles, ...) par du digestat, sont encore peu nombreux. Peu d'essais au champ avec des apports de digestat à long terme ont été réalisés. La littérature existante s'accorde sur le fait que la méthanisation augmente la stabilité de la matière organique retournée au sol (Moinard, 2021). Si la méthanisation peut influencer les propriétés amendantes des digestats, les quelques études existantes (Bodilis et al., 2015; Thomsen et al., 2013; Wentzel & Joergensen, 2016) montrent qu'à moyen et long

terme le stockage de carbone serait a priori similaire avec ou sans méthanisation. Cependant comme le résume Moinard (2021), il n’y a pas de consensus bien étayé sur le rôle de la méthanisation d’effluents d’élevage sur le stockage de matière organique dans le sol, notamment sur le long terme.

En lien avec l’évolution de la nature et du volume de matière organique retournée au sol, un enjeu fort de la durabilité de la méthanisation est son impact sur **la vie des sols**. Peu de travaux ont encore été publiés sur ce sujet, les travaux existants regardant des communautés de la micro- et macrofaune (vers de terre) variées, principalement lors d’analyses *in vitro* et sur des périodes de temps courtes (Piutti et al., 2022). Les effets des digestats sur l’activité biologique et donc la fertilité des sols restent à explorer à court et long termes (Moinard, 2021; Piutti et al., 2022; Sadet-Bourgeteau et al., 2020) en lien avec l’introduction de cultures intermédiaires et l’évolution de la matière organique incorporée au sol (Launay et al., 2022).

La méthanisation peut également modifier profondément le cycle de l’azote. Les modifications identifiées concernent le bouclage du cycle, les émissions de N_2O , la lixiviation des nitrates et la pollution de l’eau. Toute une littérature porte sur la sortie d’Haber-Bosch, via la **substitution de l’N minéral par de l’azote des digestats** (Clements et al., 2012; Koszel & Lorencowicz, 2015; Nkoa, 2014). Le procédé de méthanisation est conservatif en azote et augmente, dans le digestat, la part d’azote sous forme minérale en solution, par rapport aux intrants (effluents d’élevage, cultures ou biodéchets). Cela rend le digestat proche d’un engrais minéral en termes de propriétés fertilisantes azotées (Drosg et al., 2015; Guilayn et al., 2019; Möller, 2015). Cependant l’épandage de digestat induit de la volatilisation d’azote ammoniacal. Or l’ammoniac est à l’origine de pollution (eutrophisation, acidification et précurseur de particules fines). Selon les conditions et pratiques d’épandage de digestat les facteurs d’émissions mesurés sont toutefois très variables (Moinard, 2021). Les résultats de la littérature sont ambivalents quant à l’augmentation ou la diminution des risques de volatilisation après méthanisation d’un lisier (Moinard, 2021). Des pratiques sont documentées pour limiter la volatilisation d’ammoniac (Carton & Bulcke, 2021; Lukehurst et al., 2010; Maris et al., 2021). Concernant **les émissions de N_2O** , une riche littérature témoigne d’une grande sensibilité des émissions aux conditions d’étude (pédoclimat, pratiques, tassements du sol, temps depuis l’épandage). Les émissions de N_2O du digestat de lisiers sont en général plus faibles que celles des lisiers (Moinard, 2021; Möller, 2015; Nkoa, 2014) et parfois similaires à celles-ci. L’azote du digestat peut aussi être à l’origine de **lixiviation de nitrates** (Nicholson et al., 2017). La lixiviation des nitrates est source de pollutions de l’eau, et de risques d’eutrophisation (Purswani & Llorente, 2021). Les pratiques d’épandage, le type de sol et les conditions météorologiques influencent ces risques de lixiviation (Möller, 2015). Rübiger et al., (2020) suggèrent qu’à quantité d’azote équivalente, les digestats peuvent causer une lixiviation légèrement supérieure à celle d’un engrais minéral. A l’inverse, plusieurs auteurs documentent une diminution de la lixiviation sous l’effet de cultures intermédiaires (CIVE³ d’hiver) en comparaison avec un sol nu (Igos et al., 2016; Szerencsits et al., 2015). Ces résultats sont des résultats expérimentaux, dans le cadre d’une fertilisation raisonnée. Les travaux de Hoang et al., (2020) sont particulièrement intéressants au regard de ces 4 enjeux du cycle de l’azote car ils montrent en s’appuyant sur des modélisations que les bénéfices et pertes s’évaluent différemment selon que l’on regarde au niveau de la ferme, ou en tenant compte des liens du méthaniseur à d’autres fermes. Ils montrent aussi que les effets agroenvironnementaux sur le recyclage de l’azote et les émissions azotées varient

³ CIVE : Culture intermédiaire à vocation énergétique

significativement selon les intrants méthanisés. L'import d'azote via des intrants méthanisés peut en effet modifier significativement le bouclage du cycle et le recyclage de l'azote (Moinard, 2021). Certains travaux montrent également que l'évolution des pratiques culturales et des systèmes de culture en lien avec la méthanisation (évolution de la rotation, réintroduction ou suppression de légumineuses, maintien ou retournement de prairies) peuvent affecter les dynamiques du cycle de l'azote présentées précédemment (Stinner et al., 2008). Par exemple, l'introduction de CIVE dans les rotations, et leur méthanisation, provoquent une diminution de la minéralisation de l'azote, une diminution de la lixiviation (Launay et al., 2022), et une diminution des émissions de N₂O (Stinner et al., 2008). L'évolution des rotations culturales peut jouer sur les conditions d'épandage (dates, conditions météorologiques) (Quakernack et al., 2012) de même que sur la quantité d'engrais de synthèse total utilisée (Möller et al., 2011). Enfin un enjeu fort du bouclage du cycle de l'azote est l'introduction de légumineuses dans les rotations, mais les effets de la méthanisation sur la culture de légumineuses sont encore peu documentés.

Les effets de la méthanisation sur la compaction des sols sont très peu explorés dans la littérature, alors que l'évolution des pratiques d'épandage augmente les risques de tassement au regard du poids du matériel d'épandage et des volumes de digestat épandus (Lantz & Börjesson, 2014). Un sol tassé conduit à des pertes de rendement et d'activité biologique des sols, et accroît les consommations d'azote et les risques d'émission de N₂O (Meynard et al., 1981; Sitaula et al., 2000). Ces auteurs identifient des solutions techniques à mettre en œuvre pour limiter ces risques, comme l'épandage sans tonne.

Très peu de travaux empiriques documentent les effets de la méthanisation sur la biodiversité, que ce soit au niveau des parcelles, des fermes ou des paysages. En France, l'étude de Carton & Levavasseur, (2022) en Ile de France montre en moyenne une légère diminution de la diversité des familles cultivées, en lien avec l'augmentation des graminées dans la rotation (CIVE d'hiver). En Allemagne, les travaux sur les évolutions des assolements ont montré une simplification des assolements régionaux (surtout lié au développement du maïs) (Lüker-Jans et al., 2017), qui tend à diminuer la biodiversité des systèmes cultivés. Concernant les effets de la méthanisation sur l'usage de pesticides sur les cultures, peu d'études ont encore été menées. Lazarus & Rudstrom (2007) montrent que la digestion de fumier peut réduire les risques de germination des graines qu'il contient. De manière générale, certaines études font l'hypothèse, dans leurs évaluations, que les CIVE conduisent à augmenter l'usage de produits phytosanitaires (Bacenetti et al., 2014), d'autres estimant que l'introduction de couverts dans la rotation diminue la pression adventice à l'échelle de la ferme (Graß et al., 2013).

Enfin, un enjeu encore peu exploré concerne l'effet de la méthanisation sur le prélèvement d'eau à l'échelle de la parcelle ou des bassins versants. Une augmentation de la consommation d'eau liée à des CIVE pourrait réduire les quantités d'eau drainées par le sol, et la recharge des nappes phréatiques, pouvant avoir des effets sur la croissance des cultures d'été (Graß et al., 2013). Les pluies de printemps pourraient permettre la recharge de ces nappes (Marsac et al., 2019).

Pour étudier les impacts de la méthanisation, les approches par modélisation - incluant les analyses de cycle de vie - sont souvent utilisées comme le montrent les travaux qui en ont fait la revue (Abu et al., 2020; Bacenetti et al., 2016; Esnouf et al., 2021; Hijazi et al., 2016; Hoang et al., 2020). La modélisation suscite d'importants espoirs, car elle offre des visions synthétiques et quantifiées des impacts multiples

de la méthanisation. Elle permet, comme dans la revue d'analyses de cycle de vie d'Hijazi et al. (2016), de mesurer les effets conjoints et les compromis possibles entre effets. Ces modélisations sont aussi intéressantes car elles permettent de mesurer des impacts à différentes échelles : les travaux évaluent des effets au niveau du méthaniseur, de la ferme (comme dans Carton & Levavasseur (2022) et Esnouf et al., (2021)), de la chaîne de valeur du biogaz (Abu et al., 2020; Hoang et al., 2020) ou du territoire (projets en cours basés sur le modèle MAELIA, Michau et al., 2019). Ces approches sont aussi précieuses pour comparer les effets environnementaux, à court ou long terme, de différents intrants ou pratiques. Les impacts étudiés concernent majoritairement le bilan carbone (GES, usage des sols, stockage de carbone) et le cycle de l'azote (émission de N₂O, lixiviation) (Abu et al., 2020; Bacenetti et al., 2016; Hijazi et al., 2016; Michau et al., 2019; O'Keeffe & Thrän, 2020; Pugesgaard et al., 2014; Rübiger et al., 2020; Tuomisto et al., 2012). Cependant ces approches présentent plusieurs limites. Ces modélisations ne considèrent pas encore certains enjeux agroenvironnementaux comme la vie des sols, la biodiversité des paysages ou la compaction des sols. Les changements de pratiques associés à la méthanisation sur les fermes sont encore peu pris en compte dans les modélisations – sans doute parce que ces changements de pratiques sont encore peu étudiés. De plus, la lourdeur du paramétrage et de l'analyse ne permet généralement pas de prendre en compte la diversité des pratiques, des fermes ou des territoires. Les impacts de la méthanisation ne sont, de ce fait, le plus souvent analysés que sur des exploitations ou des territoires particuliers, peu nombreux.

4.2 Revue de littérature : les effets de la méthanisation sur les systèmes agricoles

Il existe encore peu de travaux empiriques sur les évolutions des systèmes agricoles liés au développement de la méthanisation. Sur les évolutions d'assolement, la majorité des travaux concernent l'Allemagne. Les effets d'un développement de la méthanisation y ont été documentés sur l'augmentation des surfaces de maïs et la diminution des surfaces de prairies permanentes (Lüker-Jans et al., 2017; Vergara & Lakes, 2019). La conversion des prairies permanentes en terres labourables a des effets agroenvironnementaux négatifs comme la perte de carbone du sol (Tang et al., 2020). En France, à notre connaissance, seules deux études empiriques, de Carton & Levavasseur, (2022) et ADEME & Solagro (2018), ont été menées sur l'évolution des systèmes de production. La première montre qu'en région Ile-de-France des évolutions significatives des assolements et des itinéraires techniques affectent les cycles de l'azote et du carbone, avec en moyenne une légère augmentation du stockage de carbone, et une très légère augmentation de la matière organique sur 30 ans ; concernant le cycle de l'azote, l'usage des digestats permet à court terme une économie significative d'azote. La seconde étude, MethaLAE⁴, montre une volatilisation d'ammoniac (stockage et épandage) stable ou à la baisse (moyenne de -8kg/ha), pour la majorité des exploitations, ainsi qu'une baisse moyenne de 11% du solde azoté par rapport aux bilans de référence des fermes. Ces deux études, portent respectivement sur un modèle spécifique de méthanisation végétale en injection, et sur une diversité d'unités en « cogénération », mises en service au plus tard en 2014. En Allemagne des travaux ont été menés sur les effets agroenvironnementaux de la méthanisation en agriculture biologique (Blumenstein et al., 2015; Siegmeier et al., 2015). A travers une approche systémique par modélisation qualitative, Siegmeier et al. (2015) montrent qu'une « intensification écologique » des exploitations est possible, grâce à l'augmentation du rendement des cultures et l'amélioration possible de la gestion de l'azote sur les fermes, tout en réduisant le travail et le coût de l'énergie. Ces travaux pointent

⁴ Le programme MethaLAE est un programme CASDAR de recherche appliquée coordonné par Solagro. Il signifie « la méthanisation, levier de la transition agroécologique ».

l'existence d'effets indirects sur les fermes (adaptation des rotations, évolutions de la consommation d'azote), qu'il faudrait davantage investiguer sur le plan agronomique.

De manière générale, une des difficultés de l'évaluation des effets agroenvironnementaux est de saisir comment les changements au niveau du système agricole, induits par la méthanisation (par exemple évolution de la rotation ou de l'allocation des ressources financières) vont conduire à des évolutions des pratiques agricoles et des impacts sur l'agroécosystème (Siegmeier et al., 2015). Quelques travaux documentent de nouvelles dynamiques de gestion des systèmes de production, en Italie (Carrosio, 2014; Cavicchi, 2016) ou du territoire agricole, en Allemagne (Britz & Delzeit, 2013; Lüker-Jans et al., 2017) : ces auteurs mettent en évidence des boucles de rétroaction liées au développement de la méthanisation qui conduisent à des effets agroenvironnementaux divers (pollution de l'eau et de l'air, baisse de la biodiversité) et non attendus. Carrosio, (2013) souligne d'ailleurs le besoin, au-delà de la durabilité technique, d'analyser les facteurs institutionnels qui peuvent soutenir ou freiner le déploiement durable de la méthanisation en agriculture. Quelques travaux proposent des analyses des dynamiques socio-économiques (Grouiez et al., 2020), politiques (Appel et al., 2016) et institutionnelles (Carrosio, 2013b; Markard et al., 2012) des systèmes de méthanisation. Ils montrent que ces variables peuvent influencer fortement les choix de gestion de l'exploitation des agri-méthaniseurs⁵ et donc l'évolution des pratiques, en interaction avec le contexte pédoclimatique et agricole du territoire.

4.3 Revue de littérature : une méthanisation transformatrice des systèmes sociotechniques agricoles ?

Un troisième bloc de littérature, plus indirectement lié à notre sujet de recherche, a attiré notre attention. La littérature des *Sustainable transition studies* pose la question du rôle des technologies et des innovations dans la transition de nos sociétés (cf. Encadré 2). Lazarevic and Valve (2020) ont réalisé, dans ce champ de littérature, une revue des travaux sur les niches⁶ technologiques du biogaz. Ils ont montré que dans la majorité de la littérature sur le management des niches d'innovations (*strategic niche management, multi-level perspective*), la fonction sociétale de la méthanisation est "*a priori liée à la production d'énergie*". Les travaux n'étudient pas les innovations sociotechniques que la méthanisation peut induire dans les autres régimes⁷ au sein desquels elle s'ancre – notamment physiquement pour un régime agricole fournisseur d'intrants (Sutherland et al., 2015). La méthanisation pourrait pourtant avoir un potentiel transformatif dans le régime agricole, comme cela est défendu par des acteurs de la filière en France. Selon Hoolohan et al. (2018) et Lazarevic & Valve (2020), une vision réductrice d'une innovation, en fait à l'interface de plusieurs fonctions sociétales, peut empêcher l'appréhension des risques et bénéfices de cette technologie, par rapport aux autres objectifs sociaux et environnementaux. Dans la même veine, Huttunen et al. (2014) et Niskanen & Magnusson (2021) soulignent l'importance de prendre davantage en compte l'agentivité des acteurs

⁵ Le terme agri-méthaniseur est un néologisme personnel employé pour contracter les termes agriculteurs-méthaniseurs. Il permet une lecture plus fluide du manuscrit.

⁶ Dans ce champ de la littérature, les niches sont définies comme les lieux d'innovations qui, à travers leurs interactions avec les systèmes en place, peuvent ou non être à l'origine de dynamiques de transition vers plus de durabilité.

⁷ Un régime correspond à un système sociotechnique stabilisé (cf. Encadré 2), c'est-à-dire les collectifs d'acteurs et leurs interactions, leurs réseaux, les technologies qu'ils utilisent, leurs pratiques et connaissances, leurs représentations collectives, les normes et règles qu'ils adoptent (Rip et Kemp 1998) et qu'ils négocient (Geels et al. 2016), ce système stabilisé étant orienté vers la réalisation d'une grande fonction sociétale.

des différents régimes impliqués, en particulier les agriculteurs, dans l'étude de la mise en œuvre de la politique du biogaz et de ses effets.

Aperçu du champ des *Sustainable transition studies*

Ces dernières années, la littérature sur les transitions sociotechniques s'est considérablement étoffée. Elle propose différents modèles d'analyse du déploiement d'une technologie et de la gouvernance de ce déploiement. Ce cadre conceptuel postule que les innovations émergent et se diffusent au sein des systèmes sociotechniques, définis comme des collectifs d'acteurs et leurs interactions, leurs réseaux, les technologies qu'ils utilisent, leurs pratiques et connaissances, leurs représentations collectives, les normes et règles qu'ils adoptent (Rip et Kemp 1998) et qu'ils négocient (Geels et al. 2016). Le déploiement d'une nouvelle technologie ne dépend pas seulement de dispositions techniques ou matérielles (disponibilité de technologies complémentaires) mais des évolutions institutionnelles dans les structures, les idées, les normes et les valeurs d'une société (Rip et Kemp 1998). Un ou des systèmes sociotechniques configurent ainsi les dynamiques d'innovation associées au développement d'une activité de méthanisation. Le cadre offert par cette notion permet d'analyser quelles interactions la méthanisation renforce, crée ou transforme et quels facteurs freinent ou stimulent la transition vers plus de durabilité. Pour caractériser l'interdépendance stable entre les éléments d'un système sociotechnique, Rip (1995) introduit la notion de régime. Le « régime sociotechnique » est un système sociotechnique stabilisé autour d'une trajectoire technologique. Un régime n'est pas exempt de tensions internes ou de pression externe. La niche sociotechnique est au contraire un "espace protégé" au sens où elle est moins sujette aux interdépendances et verrouillages des régimes. Une niche n'est pas a priori transformatrice d'un seul régime. Elle peut mobiliser des solutions co-évolutives liées à plusieurs régimes et fonctions sociétales, et ses liens au(x) régime(s) sont plus ou moins forts (Sutherland et al., 2015).

Encadré 2 : Présentation succincte du cadre théorique général des transitions sociotechniques.

4.4 Synthèse des enjeux de connaissances

La revue de littérature que nous avons menée montre que les travaux académiques sur la durabilité du biogaz se répartissent en 3 grandes catégories.

- Une majorité des travaux s'interroge sur un ou plusieurs effets agro-environnementaux du développement de la méthanisation, en raisonnant à système agricole constant : ils font l'hypothèse que l'évolution des pratiques liée à l'arrivée du méthaniseur est circonscrite à quelques pratiques. Ils évaluent l'effet de ces évolutions sans intégrer les interactions systémiques qui relient les pratiques les unes aux autres. En général, les divers niveaux de performance technique sont étudiés à l'échelle de la parcelle (cf. 4.1).
- Une seconde catégorie de travaux, plus minoritaire, s'interroge sur la manière dont la méthanisation transforme les systèmes agricoles, à l'échelle de la ferme et/ou du territoire (cf. 4.2). Ces travaux s'appuient sur l'analyse des dynamiques socio-économiques, politiques ou culturelles impulsées par le développement de la méthanisation sur un territoire. Ils montrent que les choix des exploitants liés à la méthanisation peuvent transformer les exploitations agricoles et les territoires dans lesquels elles s'inscrivent. La Figure 3 résume ces deux grandes approches.

- La troisième catégorie de travaux intéresse moins directement cette thèse, mais apporte des éléments utiles à notre réflexion. Ancrés dans la perspective des *Sustainable transition studies*, ils interrogent le rôle de la méthanisation dans les transformations sociotechniques de grandes fonctions sociétales (production d'énergie, production alimentaire), souvent à l'échelle d'un pays. Ces travaux abordent cependant, majoritairement, les effets de la méthanisation sous un prisme énergétique.

L'analyse de cette littérature nous amène à 3 constats, aux fondements de cette thèse. Premièrement, la littérature manque d'approches systémiques qui décrivent la complexité des transformations au sein des fermes et des territoires. Cette faible exploration est liée à l'adoption fréquente d'approches réductionnistes, centrées sur certaines transformations techniques et/ou certains de leurs impacts. Les raisonnements sont aussi souvent conduits dans le cadre d'analyses expérimentales ou de modélisation, en raisonnant « *toutes choses égales par ailleurs* ». Cela conduit à un morcellement dans la production de connaissance, qui rend difficile l'identification des manques de connaissances. Ce constat a aussi été fait par Siegmeier et al. (2015) dans ses travaux sur les effets de la méthanisation en agriculture biologique. Deuxièmement, ces approches ne permettent pas de conclure clairement quant à l'impact positif ou négatif du développement de la méthanisation sur l'agroenvironnement, pour deux raisons principales : (a) sur certains des enjeux considérés, face à la diversité des situations, les travaux ne sont pas conclusifs (par exemple sur la biodiversité du sol, ou l'effet amendant du digestat) ; (b) le bilan global d'impact dépend de la manière dont on hiérarchise les nombreux enjeux de durabilité les uns par rapport aux autres. Or cette hiérarchie relève d'un choix normatif entre des effets multiples que peu d'auteurs explicitent. Troisièmement, le développement de la méthanisation apparaît pouvoir avoir un potentiel transformatif important du régime sociotechnique agricole, à travers des effets structurels sur les systèmes agricoles. Ce potentiel transformatif apparaît fortement relié aux politiques publiques de la méthanisation (cf. Introduction). L'effet de ce développement pour le régime sociotechnique agricole a encore peu été étudié.

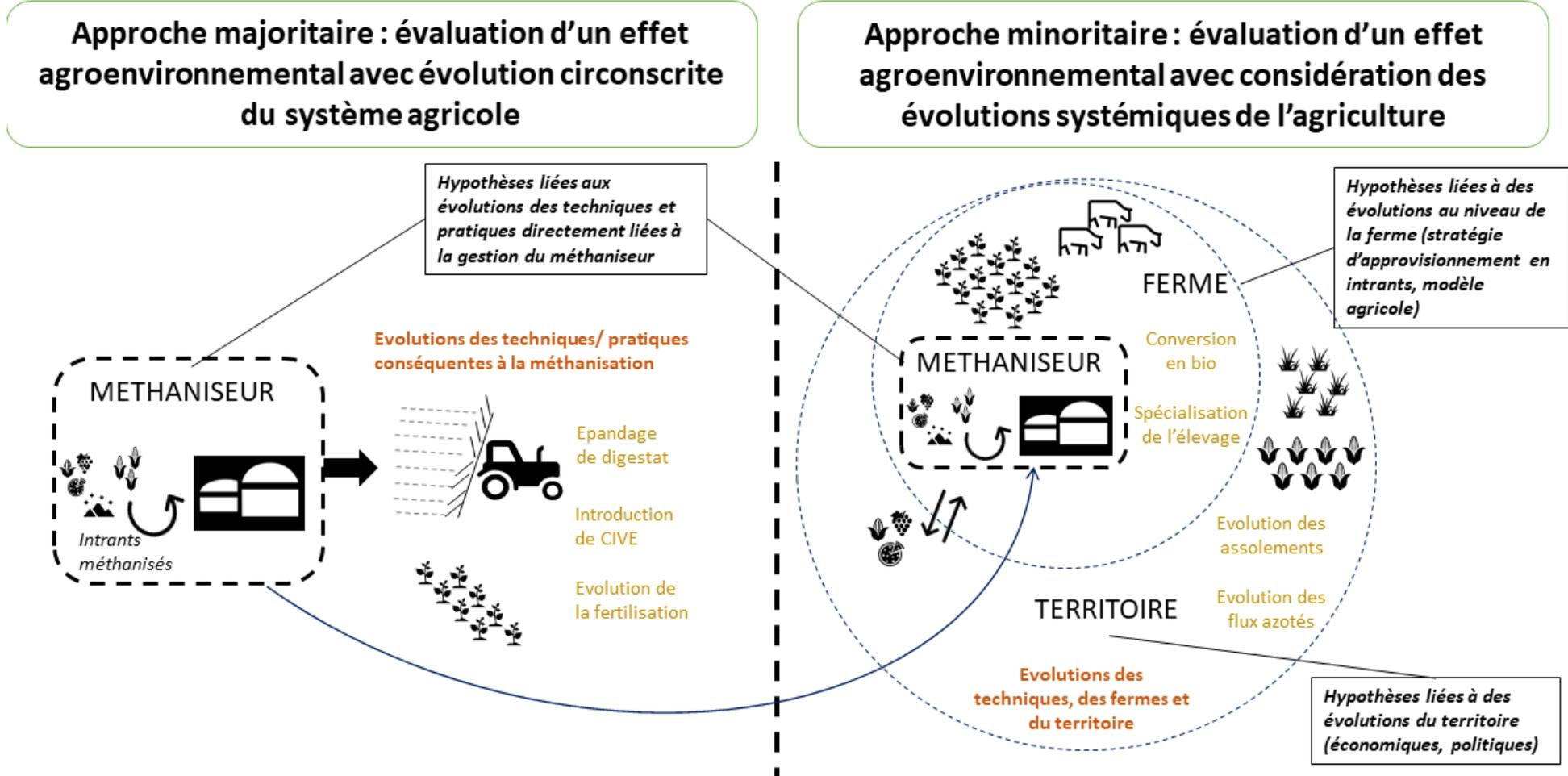


Figure 3 : La figure présente les deux grandes approches des travaux académiques sur la durabilité de la méthanisation.

Légende : La partie gauche de la figure illustre l'approche majoritaire dans la littérature d'une évaluation de la durabilité en regardant un effet agroenvironnemental, à partir d'hypothèses liées à quelques évolutions techniques introduites par le méthaniseur. La partie de droite de la figure illustre l'autre approche minoritaire dans la littérature : l'étude des effets en considérant des évolutions techniques, mais aussi économiques, sociales ou politique au niveau des fermes et des territoires. Dans cette thèse, nous nous inspirerons de la seconde approche.

5 Problématique de thèse

5.1 Questions de thèse

Nous avons mis en évidence ci-dessus la place complexe de la méthanisation, entre transition agricole et transition énergétique. Au regard des promesses et objectifs politiques d'un biogaz agroécologique en France, mais plus généralement face aux dynamiques de développement fort du biogaz agricole de par le monde, il est nécessaire de davantage mettre au jour les changements ou les continuités que peut induire la méthanisation dans les modes de production agricole et dans leur durabilité. Il s'agit ainsi de saisir la mesure dans laquelle (et les conditions sous lesquelles) les différentes promesses de la méthanisation peuvent être « réalisées ». Le rôle structurant des politiques publiques, dans le développement de la méthanisation, appelle à analyser la durabilité du biogaz en lien étroit avec le cadre politique qui influence son développement. Dans ce contexte, **cette thèse interroge conjointement (i) les effets de la méthanisation sur la dynamique des systèmes agricoles ; (ii) le rôle des politiques publiques dans le déploiement de la méthanisation et les effets observés.** Notre ambition est de contribuer à améliorer l'analyse de la durabilité de la méthanisation agricole, pour mieux identifier les enjeux d'une politique d'une méthanisation durable en France. La thèse s'inscrit ainsi dans un registre interdisciplinaire assumé (Agronomie système, sociologie de l'action publique).

L'hypothèse centrale qui préside aux analyses qui vont suivre est que pour appréhender les enjeux agroenvironnementaux de la méthanisation, il faut s'intéresser aux dynamiques socio-politiques et sociotechniques auxquelles contribuent (et dans lesquelles sont pris) les acteurs du développement de cette méthanisation. En d'autres termes, discuter le rôle de la méthanisation dans la transition agricole nécessite de s'intéresser à deux dimensions : l'évaluation de sa durabilité agroenvironnementale et les conditions sociotechniques et socio-politiques de son développement.

Nous accordons dans notre travail une place particulière aux promesses, pour analyser le lien entre la construction de la politique publique de la méthanisation et ses effets. La littérature sur le régime des promesses technoscientifiques défend l'idée qu'une promesse technoscientifique porte une option technologique prometteuse dans un régime d'innovation descendant (Joly, 2010, 2015; Joly et al., 2011). Le régime des promesses technoscientifiques est caractérisé par une « construction narrative » qui problématise les enjeux du développement de la technologie comme réponse à un ou plusieurs « problèmes » sociétaux. Cette construction narrative est nécessaire pour soutenir et entretenir la ou les promesses de la technologie, qui doi(ven)t affronter les intérêts et techniques en place, et ne peu(ven)t se construire sur des seules considérations économiques de court terme (Joly et al., 2011). Cette construction narrative problématise donc la promesse au sens où elle explique en quoi l'option technologique permet de répondre à des grands défis de société ; et elle encadre, dans le même temps, les défis techniques, institutionnels et comportementaux qui doivent être relevés pour développer ces options. Cette promesse peut justement constituer une ressource stratégique pour rassembler, orienter les ressources et organiser des mobilisations collectives (Berkhout, 2006) – sous contrainte de crédibilité et de légitimité suffisante de la promesse.

Dans cette thèse, nous définirons le concept de promesse comme :

- Une construction narrative que des acteurs énoncent ;

- Cette construction narrative donne à voir comment le développement d'une technologie permet de répondre à un / plusieurs objectifs présentés comme *problématique* pour la société ;
- Cette promesse est mobilisée dans le but de soutenir son développement, en particulier pour justifier une intervention publique de soutien.

Les promesses peuvent être portées par des acteurs tout au long du cycle de la politique publique (mise à l'agenda, formulation du problème public, décision politique, mise en œuvre, évaluation). C'est notamment avec cette notion de promesse que nous analysons les dynamiques de déploiement de la politique du biogaz, aussi bien dans la construction de la politique publique que dans sa mise en œuvre. Ce terme de promesse sera ainsi mobilisé en lien avec les 4 promesses évoquées en introduction, et dont la démonstration empirique sera réalisée dans la thèse.

La thèse formule ainsi trois hypothèses, qui donnent chacune lieu à un questionnement :

- (i) La promesse Agroécologique – un biogaz levier de transition des systèmes agricoles - en France, s'est incarnée dans un ensemble de discours prospectifs portant chacun une ou plusieurs promesses (parmi les 4 mentionnées plus haut). Nous faisons l'hypothèse que ces discours, dans la formulation de la promesse Agroécologique, ne prennent en charge que partiellement les enjeux environnementaux associés à son développement. Cela est dû notamment au fait qu'ils s'intéressent essentiellement aux changements de pratiques et à leurs impacts à la parcelle, plutôt qu'aux transformations induites aux échelles du système de production et du système sociotechnique.
- (ii) Cette promesse Agroécologique du biogaz a joué un rôle clef dans la formulation de la politique de méthanisation agricole, qui soutient son développement.
- (iii) Il existe une diversité d'effets agroenvironnementaux du développement du biogaz en agriculture, dont la magnitude et le caractère positif ou négatif sont déterminés par les transformations induites par la méthanisation au-delà des seules pratiques, à l'échelle des fermes et des territoires, sous l'effet notamment de la mise en œuvre locale des politiques publiques⁸.

Nous cherchons ainsi à répondre aux 3 sous-questions suivantes :

- (i) Sous-question 1 : Comment la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation est-elle analysée et mobilisée dans les discours prospectifs sur le biogaz en France ?
- (ii) Sous-question 2 : Comment les visions de la durabilité du biogaz ont-elles contribué à organiser le cadre de régulation actuel de la politique du biogaz ?
- (iii) Sous-question 3 : Quelle est la réalité de cette promesse Agroécologique dans la mise en œuvre de la méthanisation sur un territoire ? Avec quelles transformations des systèmes de production agricoles et sous l'effet de quelles dynamiques territoriales ?

5.2 Annonce du plan

Nous prendrons appui sur le cadre théorique de l'Analyse stratégique de la gestion environnementale (ASGE) pour organiser et préciser ces sous-questions. Cadre théorique ouvert, l'ASGE nous permettra

⁸ Le lien entre les effets environnementaux et les contextes sociotechniques vient particulièrement interroger l'objectif de massification nécessaire à l'atteinte d'objectifs fixés dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie (2020).

de mobiliser conjointement le champ disciplinaire de l'Agronomie système (historiquement très influencé par le domaine interdisciplinaire de la Farming System Research), et de la sociologie de l'action publique. Ce mémoire de thèse sera organisé en six chapitres. Le chapitre 1 présentera succinctement l'armature d'ensemble de la thèse, les cadres théoriques et les approches méthodologiques mobilisés. Puis quatre chapitres de résultats viseront à instruire les trois questions ci-dessus. Le chapitre 2 analysera le contenu de la promesse agroécologique en prospective, c'est-à-dire les représentations de la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation qui sont portées par les discours prospectifs sur le biogaz en France. Ces résultats nous amèneront à étudier, dans le chapitre 3, comment ces idées qui animent le débat politique actuel du biogaz, ont été élaborées et sont mobilisées par les acteurs de la filière pour intervenir dans la fabrique de la politique publique du biogaz. Dans les chapitres 4 et 5, nous nous intéresserons aux impacts agroenvironnementaux du biogaz et à leurs déterminants, afin d'interroger les visions de la durabilité mises en lumière précédemment. Pour cela, nous analyserons dans le chapitre 4, en nous appuyant sur les cadres *Agronomie système/Farming system research*, les changements de pratiques et de système de production liés au développement du biogaz, chez une diversité d'agri-méthaniseurs en région Grand Est. Nous nous intéressons particulièrement aux effets agroenvironnementaux associés, au niveau des fermes et du proche territoire. C'est pour mieux comprendre les déterminants des processus à l'œuvre dans les fermes que nous analyserons, dans un cinquième chapitre, la dynamique sociotechnique territoriale, qui organise le développement actuel du biogaz agricole en Grand Est. Cette thèse se conclura par un dernier chapitre de discussion générale, visant à tirer les enseignements transversaux aux 4 chapitres de résultats, et à esquisser des pistes de réflexion concernant les conditions *politiques* d'un développement plus durable du biogaz agricole en France.

Chapitre 1 : Démarche de recherche : Quelle posture et quel terrain ?

Ce premier chapitre vise à présenter la posture d'observation que nous avons adoptée pour la production de connaissance relative à notre question de thèse. Nous détaillerons progressivement le cadre théorique général qui articule entre elles nos 3 sous-questions de thèse, la préoccupation qui guidera notre recherche, et les cadres théoriques que nous mobiliserons pour structurer notre analyse. L'Analyse stratégique de la gestion environnementale (ASGE) est un cadre intégratif au sens où il donne une cohérence dans la progression de nos questions de recherche, cohérence que nous présentons dans ce chapitre 1. Les concepts de l'ASGE sont donc mobilisés essentiellement pour articuler entre elles nos questions de recherche et tirer des enseignements dans les discussions, à partir de la mise en perspective de tous les résultats. Au cœur de nos chapitres, c'est la mobilisation conjointe de deux champs disciplinaires, issus de la sociologie et de l'agronomie, qui nous permettra de répondre à nos questions de recherche.

1 La perspective de l'ASGE : une approche écocentrée pour analyser le déploiement et les impacts d'une politique environnementale

1.1 Une approche normative pour une perspective évaluative

L'Analyse stratégique de la gestion environnementale propose aux chercheurs et chercheuses d'adopter de manière transparente « *une posture d'évaluation de l'efficacité de l'action environnementale à partir d'un point de vue normatif particulier, pour expliciter les enjeux des situations de gestion vues depuis la perspective des acteurs en charge de la protection de l'environnement* » (Treyer, 2020). Il s'agit donc d'évaluer une politique publique, à l'aune d'un référentiel normatif qui permet de caractériser l'efficacité de l'action environnementale de cette politique (Mermet, 1998; Mermet et al., 2005, 2010). Ce point de vue normatif porte sur l'état des écosystèmes : il est dit écocentré car il prend comme référent externe d'évaluation un état de l'environnement. Dans notre thèse, le référentiel de durabilité choisi correspond à celui défini dans le champ de la politique étudiée, par consensus politique. La chercheuse ou le chercheur adopte alors une posture d'évaluation d'une situation de gestion de l'environnement, à l'aune des objectifs de durabilité qui lui sont associés dans le champ politique. Cette conception de l'évaluation repose donc sur une approche en termes de résolution de problème (auquel la politique, le programme etc. répond) et se différencie d'une approche qui regarderait si la politique a permis d'améliorer la situation par rapport à une situation contrefactuelle (Belna et al., 2012).

1.2 Une approche analytique

La situation de gestion de l'environnement, dans notre cas, est celle de la mise en œuvre de la politique du biogaz. Pour analyser la mise en œuvre de cette politique publique, l'ASGE propose un cadre analytique qui consiste en une lecture dialectique (pour reprendre la formule de Taravella (2007) de la gestion du territoire et des ressources naturelles. Cette lecture dialectique s'articule autour de 3 moments conceptuels : la gestion effective, la gestion intentionnelle, et la gestion émergente.

La gestion effective est définie comme « *l'ensemble des actions anthropiques qui, consciemment ou non, intentionnellement ou non, ont une influence déterminante sur [les] qualités [d'un objet environnemental]* » (Mermet et al., 2005). La gestion est donc bien ici définie du point de vue de ces conséquences sur un environnement, au regard du référentiel normatif choisi (d'où le caractère structurant de ce dernier pour la recherche engagée). L'état de l'environnement évolue sous l'effet de dynamiques naturelles et de l'intervention de l'homme (Taravella, 2007). Nous distinguons la gestion effective *directe* réalisée par les porteurs de projets de méthanisation à travers leur intervention directe sur l'agroécosystèmes, de la gestion effective *indirecte*, réalisée par les autres acteurs du territoire qui organisent le développement de la méthanisation. **La gestion intentionnelle** regroupe les pratiques de gestion des « acteurs de l'environnement » qui exercent « *vis-à-vis des acteurs responsables des processus dommageables pour l'environnement ou des acteurs régulateurs (élus territoriaux, préfet, etc.), un rôle d'agent de changement en faveur de l'objectif environnemental pris en référence* » (Mermet et al., 2005). Cet « Acteur » de l'environnement est souvent minoritaire, il est celui qui contribue du point de vue fonctionnel à la prise en charge des enjeux environnementaux au-delà des discours ou des statuts institutionnels (Mermet, 1998; Taravella, 2007). L'ASGE cherche ainsi à équiper d'outils stratégique les acteurs de l'environnement pour que le changement puisse avoir lieu.

C'est à partir du référentiel normatif que l'on peut distinguer ce qui relève de la gestion effective et de la gestion intentionnelle ; et c'est la relation dialectique entre gestion effective et gestion intentionnelle qui fabrique la gestion de l'environnement sur un territoire. On peut saisir ce phénomène à travers le troisième concept de **gestion émergente** : cette notion intègre le fait que toute situation de gestion est dynamique, les pratiques des acteurs de la gestion effective évoluant plus ou moins sous l'effet des interventions des acteurs de l'environnement (Mermet, 1998; Taravella, 2007). Ce cadre comme précisé par Taravella (2007) est une grille d'analyse du réel pour délimiter à partir du référentiel normatif les « acteurs » et les frontières du système de gestion : c'est à partir de la contribution des acteurs à la transformation de l'état de l'environnement (en positif ou en négatif) que va être identifié le système de gestion de l'environnement.

1.3 Une approche stratégique pour analyser les enjeux d'une politique du biogaz « agroécologique »

Le courant de l'ASGE s'inscrit dans la traversée fondatrice « *de la frontière entre recherche et action* » (Treyer, 2020). L'ambition de ce courant de recherche est pragmatique : tirer de l'évaluation d'une situation de gestion des pistes pour penser l'amélioration de la mise en œuvre de la politique étudiée. Cette question de « l'action » est reliée directement au positionnement normatif proposé par l'ASGE, puisque l'action est orientée vers « l'amélioration » du dispositif de gestion. C'est au regard du référentiel normatif choisi que sont formalisées les « qualités désirées » de l'objet écologique soumis à l'analyse.

Pour cela, l'ASGE propose une posture de recherche qui vise à dépasser la complexité de l'évaluation de politiques environnementales intersectorielles, comme celle de la méthanisation. On pourrait se dire que la diversité des objectifs fixés par la politique du biogaz correspond à une ambition de mise en cohérence entre les secteurs de l'énergie, de l'agriculture (revenu et durabilité) et de la gestion des

déchets. Sa réussite reposerait alors sur le succès de la coordination intersectorielle, et la capacité des acteurs porteurs d'enjeux environnementaux à jouer un rôle d'intégrateurs. Au contraire, l'ASGE propose une lecture stratégique des situations de gestion de l'environnement qui reconnaît des compétitions autant que des coopérations possibles entre acteurs, et donc entre secteurs (Leroy & Mermet, 2012; Mermet, 1998; Mermet et al., 2005). Il s'agit d'analyser les processus de fabrication et de mise en œuvre des politiques publiques environnementales comme issues de négociations entre ces secteurs. Laurent Mermet appelle en fait à penser l'environnement comme un secteur d'action publique en soi, plutôt qu'un champ intégrateur entre secteur (Mermet et al., 2010; Treyer, 2020). Dans cette perspective, l'action environnementale pose des enjeux spécifiques à chaque secteur. De plus, les politiques environnementales se situent souvent à l'interface de différentes politiques et peuvent porter en elle des contradictions (protection de l'environnement versus développement économique basé sur une technologie qui fait peser des risques sur l'environnement). Mermet et al. (2010) proposent ainsi ce qu'ils appellent « *a concern-focused, strategy-driven evaluation approach* ». En cela ils proposent, pour cadrer une démarche d'évaluation, (1) de commencer par choisir une préoccupation politique donnée (2) de regarder ensuite le mix de politiques publiques qui influencent cette préoccupation (3) de se concentrer dans l'évaluation de cette préoccupation sur un plan, un programme ou une politique de ce mix qui cherche à répondre à la préoccupation politique. Cette méthode permet à l'évaluateur de donner une réponse claire par rapport à un engagement politique. Cet engagement peut s'avérer essentiel pour certains acteurs, ou au contraire dénué d'intérêt pour d'autres, il sera évalué sans tenir compte de la priorisation « politique » des enjeux dans les sphères de pouvoir.

L'évaluation sera stratégique au sens où elle cherchera alors à identifier les marges de manœuvre des acteurs intéressés par la réalisation de cet engagement particulier (Mermet et al., 2010). Concrètement, c'est l'étude de la dialectique gestion effective/gestion intentionnelle qui permet d'identifier les jeux d'acteurs en présence (facilitateur ou bloquant), et les marges de manœuvre des acteurs de l'environnement dans la gestion émergente.

2 Architecture de la thèse : mobiliser l'ASGE pour évaluer une des dimensions de la politique de méthanisation et discuter des pistes de changement

Nous aborderons dans cette thèse l'étude des effets de la méthanisation à travers l'évaluation de la politique du biogaz. L'évaluation d'une politique publique est à la fois un travail (i) de caractérisation des effets de cette politique publique au regard des objectifs qu'elle fixe : « *est-ce que la politique publique atteint ses objectifs ?* » ; et (ii) d'explicitation des raisons de cet effet : « *pourquoi cette politique publique atteint, ou pas, les objectifs qu'elle a fixés ?* ». A cet égard, l'ASGE nous invite à faire une évaluation de la politique de méthanisation au regard d'un seul de ses objectifs - comme exposé en introduction, la méthanisation est une technologie à l'interface de différents secteurs et enjeux de politiques environnementales.

Cela se traduit, dans notre thèse sur la méthanisation, par le choix de l'analyse des enjeux « environnementaux » spécifiques à la transition du secteur agricole. Comme évoqué dans

l'introduction, la méthanisation comme solution politique a été étudiée dans la littérature, principalement par rapport à la transition du secteur de l'énergie, alors qu'en France une promesse agroécologique est associée à la transition du secteur agricole. Pour bien comprendre les enjeux de son développement pour la transition agricole, il est donc nécessaire d'adopter une posture de recherche qui évalue la politique du biogaz au regard des objectifs de politiques publiques dans ce domaine. Cela ne signifie pas que la contribution de la méthanisation à la transition énergétique ou à une économie circulaire ne compte pas également dans le débat politique, mais que ce travail de thèse cherche à déplier les enjeux de la mise en œuvre de cette politique publique par rapport à sa contribution au Plan Agroécologique annoncé par les pouvoirs publics. Ainsi, face aux engagements politiques exprimés sur la transition du monde agricole, et face à la promesse politique d'une méthanisation agroécologique (Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote), le cadre de l'ASGE nous invite à prendre au sérieux ces annonces : nous adoptons donc comme référent externe, pour l'analyse du déploiement de la méthanisation, les ambitions de transition agroécologique française. Nous allons donc analyser la mise en œuvre de la politique du biogaz au prisme du référentiel normatif « biophysique » de la dynamique agroécologique des agroécosystèmes, tel que défini dans les politiques publiques. Les dynamiques sociotechniques et sociopolitiques du déploiement de la politique du biogaz seront documentées à partir de la manière dont elles modifient l'état des agroécosystèmes.

Dans ce contexte, l'analyse de la gestion effective va permettre de rendre compte des effets du développement de la méthanisation, et donc du fait que les systèmes ont évolué, ou non, dans le sens recherché par la politique publique. L'analyse de la dialectique entre gestion effective et gestion émergente permet ensuite d'expliquer *pourquoi* la politique publique a atteint, ou pas, ses objectifs. Dans la controverse sur les effets et enjeux du développement de la méthanisation, nous avons vu que les discours sur la prise en compte de l'environnement sont nombreux. Notre thèse s'attachera donc particulièrement à analyser le rôle de la promesse Agroécologique dans la construction du système de gestion effective, et dans le système de gestion intentionnelle.

L'analyse dialectique s'intéresse à la manière dont les acteurs de l'Environnement parviennent à faire prendre en compte dans la gestion émergente leur préoccupation environnementale. C'est l'analyse de cette dialectique qui permet d'identifier des pistes d'amélioration de cette politique publique par rapport à ses performances environnementales. Ces pistes d'amélioration - amélioration relative au référentiel normatif choisi – visent à nourrir des réflexions sur la conception de nouveaux instruments de politiques publiques. Mais pour pouvoir penser le « *comment* la politique publique pourrait effectivement évoluer en faveur des acteurs de la gestion intentionnelle », il s'agit, au-delà des mesures concrètes, de questionner la dynamique d'acteurs qui pourrait rendre l'adoption de ces mesures envisageables.

3 Présentation de la démarche de recherche

3.1 Formulation de notre référentiel normatif

L'évaluation de la politique de méthanisation est réalisée à partir d'un référentiel normatif issu des ambitions de politiques publiques françaises. Nous explicitons ici ce référentiel normatif à partir des plans et programmes qui composent la politique de la transition agroécologique en France. Cette politique a été proposée en France dès 2012 dans le Projet agroécologique pour la France (Ministère de l'agriculture, 2016), dans lequel le développement de la méthanisation s'inscrit (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie & Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 2013). Ces objectifs de transition agroécologique ont été réaffirmés lors des Etats généraux de l'alimentation⁹ (EGA) en 2017 dans les conclusions de l'atelier 11 (Etats généraux de l'alimentation, 2017). Nous sommes donc partis des ambitions agroenvironnementales cités dans le Projet Agroécologique (Ministère de l'agriculture, 2016) et dans la conclusion des EGA et avons ensuite convoqués tous les Plans liés à ces ambitions agroenvironnementales afin de synthétiser ci-dessous les grands objectifs politiques de la France qui devraient, dans les années à venir, contribuer à mettre en œuvre le projet agroécologique.

- Limitation des émissions de GES de l'agriculture pour contribuer à atténuer le changement climatique (limitation des émissions de N₂O, de CH₄ et de CO₂) (Etats généraux de l'alimentation, 2017; Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018b)
- Augmentation du stockage de carbone des sols (Politique « 4 pour 1000 ») (Ministère de l'Agriculture, 2017)
- Equilibrage et bouclage du cycle de l'azote :
 - Réduction de la consommation d'intrants synthétiques (Clef 1 du projet agroécologique, Feuille de route de l'économie circulaire) et promotion de l'autonomie protéique notamment via le développement de légumineuses (Plan protéines végétales) (Etats généraux de l'alimentation, 2017)
 - Préservation de la qualité de l'eau (Programme d'actions national nitrates) (Ministère de l'Agriculture & Ministère de l'écologie, 2020)
- Réduction progressive de l'usage des pesticides comme détaillé dans le Plan Ecophyto (Etats généraux de l'alimentation, 2017; Ministère de l'agriculture, 2022)
- Maintien des sols en bonne santé (fertilité, stockage de carbone, biodiversité) (Etats généraux de l'alimentation, 2017)
- Protection de la biodiversité des paysages (Etats généraux de l'alimentation, 2017) notamment via la préservation des prairies permanentes et la diversification des rotations culturales
- Préservation quantitative de la ressource en eau (Varenne de l'eau) (Etats généraux de l'alimentation, 2017; Gouvernement français, 2022)

L'atteinte de ces objectifs passe, entre autres, par la promotion de l'agriculture biologique (Clef 6 du projet agroécologique et Programme ambition bio) et de la reconexion culture et élevage (Etats généraux de l'alimentation, 2017). A travers la reconexion culture-élevage, la politique agroécologique propose en fait de repenser une gestion durable des flux d'azote sur les territoires à

⁹ Les EGA constituent un débat organisé par les pouvoirs publics et rassemblant tous les acteurs des secteurs agricoles et alimentaires.

travers la recherche de davantage d'autonomie azotée et protéique (Etats généraux de l'alimentation, 2017; Ministère de l'agriculture, 2016).

Evidemment, la méthanisation ne peut contribuer à la transition agroécologique sur tous les plans. Néanmoins l'objectif du plan Energie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA) est d'inscrire la méthanisation au sein du Plan Agroécologique pour la France. Ce plan précise en particulier certaines opportunités agroenvironnementales : « *améliorer les cycles de rotation des cultures* », contribuer à autonomiser les exploitations (alimentation du bétail, réduction des intrants), lever les freins à l'utilisation de l'azote organique, développer le lien entre culture et élevage, « *traiter et transporter l'azote organique pour permettre une substitution d'azote minéral sur des territoires plus éloignés du site de production des effluents* ». Sur les autres enjeux agroenvironnementaux non directement visés par le développement de la méthanisation agricole, il s'agit de faire en sorte que celle-ci n'affecte pas négativement les évolutions.

Nous adopterons donc dans la suite de cette thèse un point de vue centré sur le maintien de l'état écologique des agroécosystèmes, tel que délimité par les ambitions françaises d'une politique agroécologique. Nous prendrons appui sur les objectifs agroenvironnementaux listés ci-dessus pour qualifier la contribution actuelle (levier ou frein) de la méthanisation à la politique agroécologique.

3.2 Une approche interdisciplinaire pour répondre à nos questions de recherche

L'effet heuristique du choix de l'ASGE et de son invitation à mobiliser les cadres théoriques nécessaires à l'analyse de la gestion (comme pratiqué avant nous dans d'autres travaux s'appuyant sur l'ASGE, comme Leroy (2004) ou Taravella (2007)), s'est traduit par la mise en place d'une analyse interdisciplinaire. Nous mobilisons ainsi deux cadres théoriques principaux (issus de la sociologie et de l'agronomie) articulés au sein du cadre intégratif de l'ASGE. Ces deux cadres permettent d'articuler un regard analytique sur les systèmes agricoles, et un regard sur l'action publique (Meynard, 2014). Notre volonté de tenir ensemble agronomie et sociologie de l'action publique est au cœur de notre travail de recherche et nous porterons dans la dernière partie de la thèse un regard critique sur ces choix méthodologiques, leurs défis et apports. Nous introduisons ici succinctement les deux pieds « disciplinaires » sur lesquels nous allons marcher. Nous détaillerons plus précisément, dans les 4 autres chapitres de ma thèse, les cadres théoriques mobilisés.

3.2.1 *Articulation de l'ASGE avec l'Agronomie-système pour porter un regard sur la transformation du monde agricole sous l'effet de la politique du biogaz*

Dans notre thèse, nous analysons la transformation des agroécosystèmes à partir de l'analyse de la transformation des activités productives des systèmes agricoles qui « méthanisent ». Pour mener cette analyse, nous nous appuyons sur l'Agronomie système qui propose un modèle de compréhension des systèmes agricoles et de la construction des pratiques agricoles. L'Agronomie système est un champ de l'agronomie qui s'est développé à partir des années 1970 en France, en articulation avec le développement à l'international de champs de recherche proches comme celui de la *Farming system research*. Nous présentons ici les apports communs de la *Farming system research* (FSR) et de l'Agronomie système pour appréhender la transformation de l'activité agricole et des pratiques.

La FSR est un courant de pensée qui analyse de manière systémique et pluridisciplinaire les déterminants des pratiques des exploitations agricoles. Les chercheurs à l'origine de ce champ de recherche ont réalisé que pour développer de nouvelles technologies agricoles, il fallait poser au cœur de l'analyse les pratiques des agriculteurs (Meynard, 2014). La FSR invite alors à appréhender l'évolution des pratiques en prenant en compte comment l'environnement, le contexte social et l'histoire du territoire influencent ces pratiques (Biggs, 1995; Collinson & Lightfoot, 2000; Darnhofer et al., 2012; Norman, 2002). Une approche systémique est donc nécessaire pour capturer la logique des systèmes agricoles et leur évolution, en lien avec les interactions entre ses parties (Landais et al., 1988; Salembier et al., 2018; Sebillotte, 1974). La *Farming system research* propose ainsi une vision de l'agriculture caractérisée par trois échelles imbriquées (Figure 4) : la première échelle est celle des systèmes techniques, imbriquée dans celle du système de production, elle-même imbriquée dans la troisième échelle du territoire agricole (ou « système agraire » dans le formalisme de l'agriculture comparée) (Cochet et al., 2007; Darnhofer et al., 2012). Ce territoire agricole a ses propres caractéristiques historiques et de fonctionnement politique, mais est aussi façonné par la dynamique des systèmes de production (Cochet et al., 2007). Par la suite, nous utilisons le terme « système agricole » pour décrire ce modèle basé sur ces trois échelles emboîtées. Il y a donc imbrication entre les changements à la ferme, les changements au niveau des filières et des territoires, et les changements dans le « système dur » (les composantes biologiques et technologiques des systèmes techniques). Ces changements doivent être compris à travers « *le sens que les acteurs donnent à [ceux-ci]* » (Darnhofer et al., 2012). Dans cette perspective, le concept de « rationalité située » place les stratégies des agriculteurs au cœur de l'évolution des systèmes agricoles, les considérant comme des acteurs et des moteurs de l'émergence de nouvelles formes d'organisation sociotechnique (Osty et al., 1998). Cette émergence est bien sûr influencée par les interactions des agriculteurs avec les conseillers, d'autres agriculteurs, l'industrie agroalimentaire, les clients et les autorités compétentes (Clermont-Dauphin et al., 2014).

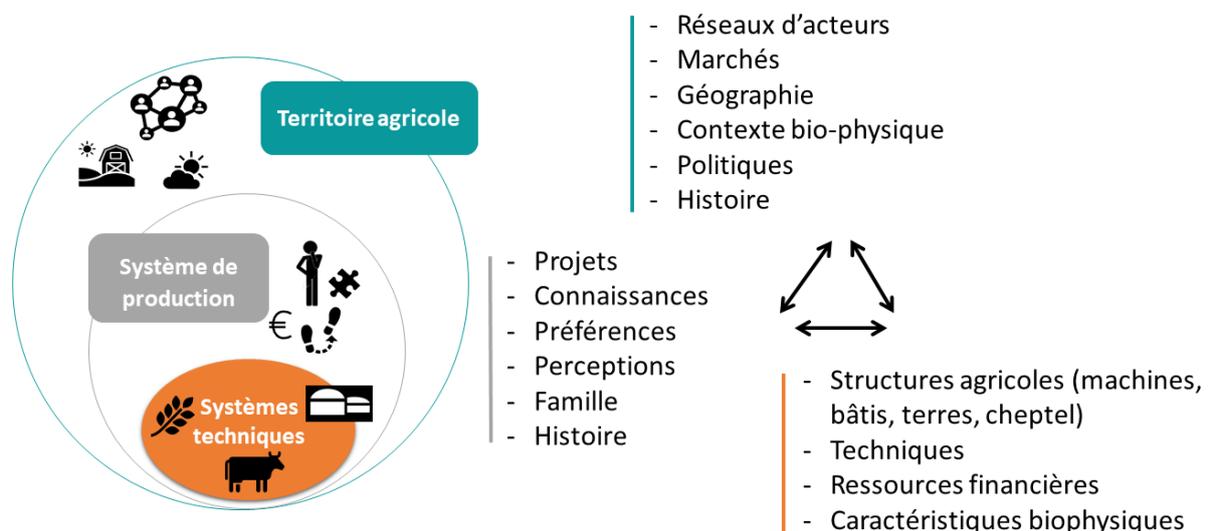


Figure 4 : Représentation simplifiée de notre modèle des systèmes agricoles (Source : autrice à partir de Darnhofer et al. 2012; Cochet et al, 2012).

Légende : L'évolution du système agricole est caractérisée par l'interdépendance entre les trois échelles et la logique de l'agriculteur dans la gestion de son système de production.

L'Agronomie système, impulsée par Michel Sebillotte (1974) en France, porte une même vision systémique du changement des pratiques agricoles, à travers l'analyse des logiques d'action des agriculteurs, en relation avec différentes échelles (Landais et al., 1988). Elle a émergé à la suite d'une rupture épistémologique avec la phytotechnie (branche de l'agronomie dominante au XXe siècle) qui focalisait la production de connaissances agronomiques sur l'expérimentation en station, et ne considérait pas les pratiques agricoles comme un objet de science (Meynard, 2014; Salembier et al., 2018). L'Agronomie système, comme la Farming System Research, met les pratiques des agriculteurs au cœur de sa problématique, tenant compte des nombreuses interactions entre pratiques, l'action sur l'une d'elles affectant souvent les autres (Meynard et al., 2001). L'assise théorique reste donc proche de celle de la Farming System Research, avec deux différences principales : (i) la FSR théorise la complémentarité entre disciplines (agronomie, zootechnie, économie, sociologie, géographie...) pour comprendre les choix des agriculteurs ; (ii) l'Agronomie système mobilise des concepts spécifiques (itinéraire technique, système de culture, logique d'action, mosaïque de systèmes de culture...) pour comprendre et évaluer les pratiques, en tenant compte des effets systémiques.

Ces approches des systèmes agricoles seront mobilisées dans notre thèse à diverses reprises pour nourrir la compréhension de la dialectique gestion effective/gestion intentionnelle.

- Dans le chapitre 2, nous mobiliserons une approche systémique des 3 échelles emboîtées pour analyser la manière dont les acteurs français de la prospective sur le biogaz pensent la promesse Agroécologique. Dans les chapitres 2 et 5, le cadre de la FSR nous aidera à comprendre les visions qui justifient ou critiquent la méthanisation en tant que levier de la durabilité de l'agriculture, en révélant comment la dynamique des systèmes agricoles est considérée dans la promesse d'un biogaz agroécologique.
- Dans les chapitres 4 et 5, nous nous appuierons plus particulièrement sur l'Agronomie système pour évaluer la réalité de la promesse agroécologique. Ce cadre nous invite à analyser la gestion effective, en mettant l'accent sur les changements systémiques induits par la méthanisation, au niveau des parcelles, des systèmes de production et des territoires, et sur leurs conséquences agro-environnementales.

3.2.2 Sociologie de l'action organisée et conception de l'acteur pour analyser la construction et la mise en œuvre de la politique de la méthanisation

Le cadre de la *Farming system research* invite à porter un regard sur le monde social pour comprendre l'évolution des pratiques dans un système agricole (Meynard, 2014). Sa vision systémique de l'agriculture ainsi que le cadre de l'ASGE nous invitent particulièrement à nous intéresser aux dynamiques des systèmes socio-politiques et sociotechniques dans lequel l'agriculteur « gère » son système agricole, en interaction avec d'autres acteurs. Nous mobilisons donc le champ de la sociologie pour porter ce regard sur la place de l'individu dans une action collective, à la fois dans la construction de la politique publique du biogaz (chapitre 3) et dans sa mise en œuvre (chapitre 4 et 5).

Dans la lignée de l'ASGE et de la sociologie de l'action organisée sur laquelle elle s'appuie, nous adoptons une démarche de recherche compréhensive. Nous considérons que c'est à travers le sens que les acteurs donnent à leur action que l'on peut décrire la réalité sociale. Le sens est saisi à travers l'analyse des cours d'action des acteurs. Ces acteurs sont avant tout des acteurs empiriques, c'est-à-dire que

c'est leur impact sur la structure d'un contexte d'action qui leur donne ce statut (Friedberg, 1997). Ces cours d'actions se perçoivent dans la nature concrète de l'activité de l'acteur, dans les ressources qu'il va mobiliser pour mener cette activité, et dans les problèmes qu'il va rencontrer. Les ressources sont définies comme tout ce qui, à un moment donné, permet à un acteur de progresser vers ses objectifs, le rend autonome, le dégage d'autrui ou oblige autrui à tenir compte de lui (Crozier & Friedberg, 1977). A l'inverse, la notion de contrainte renvoie à ce qui réduit l'autonomie de l'acteur, instaure une dépendance entre lui et autrui, et permet à autrui de ne pas tenir compte de lui. La notion de stratégie telle que définie par Crozier et Friedberg est donc le concept qui permet de saisir le sens du comportement de l'acteur : cette stratégie s'incarne dans la mobilisation de ressources par l'acteur pour atteindre ses objectifs en fonction de son appréciation. C'est donc le comportement de l'acteur qui révèle ce sens en tant que « symptôme » d'un contexte d'action à découvrir (et non pas un symptôme de la personne) (Friedberg, 1998, 1994).

La *Farming system research* et la sociologie de l'action organisée considèrent, de manière convergente, que les acteurs donnent du sens à leurs actions à partir d'une rationalité « limitée »¹⁰ ou « située » (dans le vocabulaire de la *Farming system research*) : ils ne pourront pas toujours choisir la solution optimale car l'information de tout décideur est incomplète, mais ils vont chercher des marges de manœuvre (acteur rationnel), en s'appuyant sur leurs capacités cognitives et leurs perceptions, pour atteindre un seuil minimal de satisfaction (acteur « intéressé »¹¹) (Friedberg, 2011; March & Simon, 1958). Pour qu'un acteur puisse choisir la solution optimale, il faudrait qu'il évolue dans un monde de l'omniscience et de la transparence et qu'il soit capable de traiter simultanément toutes ces informations, en lien avec ses préférences en tant que décideur. Il n'est pas possible à un acteur de tenir un tel raisonnement synoptique : la construction des objectifs et des choix se fait « en marchant » au fur et à mesure que l'acteur évolue dans son contexte d'action (Friedberg, 2011; March & Simon, 1958).

Les interactions des acteurs avec d'autres acteurs sont considérées comme un élément déterminant dans la structuration de leurs choix (Friedberg, 1997). Dans l'interaction entre deux acteurs, chaque acteur compose avec l'autre en fonction de ces objectifs, et donne naissance à ce que Crozier et Friedberg appellent un « jeu » : « *mécanisme concret grâce auquel les hommes structurent leurs relations de pouvoir et les régularisent tout en leur faisant — en se laissant — leur liberté* » (Crozier & Friedberg, 1977). Le jeu social se révèle particulièrement lors de la stabilisation de ses règles (entente souvent de manière implicite entre acteurs), ou dans sa dimension politique lorsque les acteurs lors de leurs échanges cherchent à contourner ou manipuler la règle.

Cette compréhension sociologique sera au fondement de notre analyse de l'évaluation de la politique du biogaz. Les cadres d'analyse mobilisés seront présentés de manière plus détaillée dans chaque chapitre.

¹⁰ Cette rationalité peut aussi être dite « procédurale » car pour décider l'acteur aura suivi une procédure rationnelle : sa rationalité ne lui vient pas de sa substance, mais de la procédure qui a été suivie pour y arriver. (Friedberg, 2011)

¹¹ La notion d'intérêt est appréhendée au sens large : intérêts divers en nature, pas nécessairement cohérents entre eux, de nature plus ou moins contingente

3.3 Un terrain multi-échelles, pour analyser les déterminants de la dialectique gestion effective-gestion intentionnelle

Pour construire notre dispositif de recherche et entrer sur nos terrains, 35 entretiens exploratoires ont été menés tout au long de la thèse (cf. Tableau 41 en Annexe).

3.3.1 *Point de départ du travail de recherche au niveau national : analyse du contenu de la promesse Agroécologique dans les prospectives*

Pour traiter notre première sous-question (Comment la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation est-elle analysée dans les discours prospectifs sur le biogaz en France ?), nous avons analysé 16 prospectives sur la méthanisation en France. Nous avons étudié dans ces prospectives le contenu de la promesse Agroécologique qui est portée par certains acteurs au niveau national à travers ces prospectives (Figure 5). Comme théorisé par la littérature sur l'Economie des promesses technoscientifiques (Berkhout, 2006; Joly, 2010; Joly et al., 2011), les visions et les promesses autour d'une technologie sont des éléments clefs pour expliquer les dynamiques du changement scientifique et technologique. Dans ce contexte, les prospectives font partie des outils qui participent de la construction de ces visions, notamment à travers la formulation des objectifs auxquels l'innovation va ou est sensée répondre, dans la société. Ils permettent aux acteurs de formuler de manière cohérente une vision du futur d'une technologie, et de proposer une trajectoire pour l'atteindre. Dans le chapitre 2 nous analysons donc le contenu de ces prospectives en nous intéressant à la compréhension que les acteurs ont du rôle de la méthanisation dans la transition agricole. Pour cela nous nous appuyons sur (i) sur notre référentiel normatif afin d'analyser les enjeux de durabilité identifié par les concepteurs de prospective ; et (ii) sur notre modèle des systèmes agricoles issu de la *Farming system research*, afin d'analyser la compréhension du changement agricole.

3.3.2 *Analyse au niveau national de la politique publique de la méthanisation*

Dans le chapitre 3, nous nous intéressons à la manière dont cette promesse agroécologique, étudiée en chapitre 2, a contribué à influencer la construction de la politique du biogaz. Nous analysons la formulation progressive de la politique publique, pour parvenir à ce qu'elle est en 2020. Pour cela nous avons conduit une quinzaine d'entretiens (certains en début de thèse en 2019, d'autres en fin de thèse en 2022) que nous avons complété de données d'observations participantes, recueillies durant la thèse et un stage précédant la thèse. D'un point de vue méthodologique, nous avons décidé de renforcer notre analyse sociologique en mobilisant un cadre théorique de sociologie politique (Figure 5). Ce cadre emprunté à Jobert (1992), Fouilleux (2000), Fouilleux & Jobert (2017) propose d'analyser les origines d'une politique publique à travers ses dynamiques discursives : nous analysons donc comment les promesses du biogaz, à travers leur mobilisation par les acteurs, ont contribué à influencer la formulation de la politique de la méthanisation. Ce choix méthodologique, d'un accent mis sur les dynamiques discursives, puise dans notre analyse de la promesse Agroécologique (chapitre 2). Ce chapitre s'inscrit dans un double objectif : (i) celui de comprendre la politique du biogaz avant d'étudier sa mise en œuvre (ii) celui de questionner la dynamique d'acteurs qui pourrait soutenir une évolution du cadre politique favorable à la gestion intentionnelle, dans la perspective stratégique de l'ASGE.

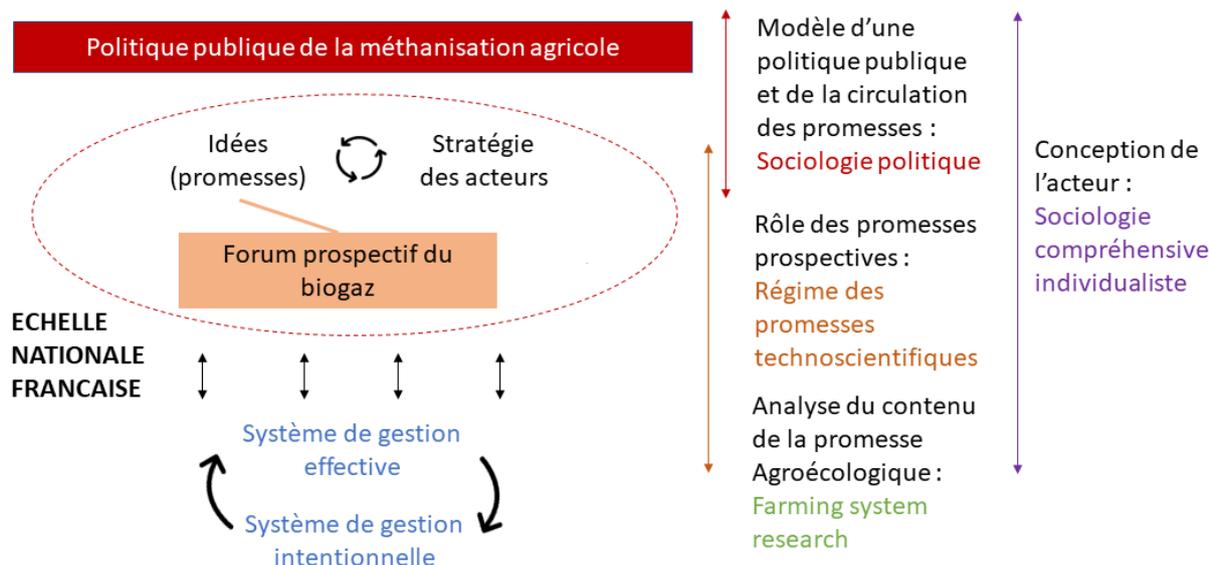


Figure 5 : Systèmes étudiés au niveau national et cadres théoriques mobilisés.

L'étude dans les perspectives du contenu de la promesse agroécologique (analyse du déploiement de la méthanisation et de son adéquation avec la promesse agroécologique) (chapitre 2), et du rôle de cette promesse dans la construction de la politique du biogaz (chapitre 3) précède dans la thèse, l'étude de la réalité empirique de cette promesse (chapitre 4 et 5). Le raisonnement est le suivant : Comment la promesse agroécologique formulée au niveau national, dans les forums¹² scientifiques et prospectifs se traduit-elle en politique publique, puis comment est-elle concrètement mise en œuvre sur un territoire, et finalement avec quelles conséquences agroenvironnementales ?

3.3.3 Construction d'un dispositif de recherche emboîté au niveau d'une région pour analyser la dialectique gestion effective-gestion intentionnelle

Au regard de l'importance des contextes agricoles et/ou territoriaux¹³ dans les dynamiques de développement de la méthanisation, nous avons cherché à identifier des territoires caractérisés par différentes agricultures et différents « modèles » de méthanisation. Nous avons ainsi mené des entretiens exploratoires auprès de divers acteurs en Normandie (ADEME¹⁴), dans les Hauts-de-France (Institut technique, association environnementale), en Ile-de-France (AREC, DRIEE¹⁵) ainsi qu'auprès d'acteurs nationaux de la filière (WWF¹⁶, Solagro) et de chercheurs (INRAE¹⁷, Université Paris 7). Nous avons, grâce à ces entretiens, identifié des dynamiques territoriales variables, et avons décidé de commencer un premier terrain en Grand Est.

Nous avons choisi la région Grand Est pour son implication dans le développement de la méthanisation : une dynamique forte du développement de la filière a pris place entre 2014 et 2021. Nous avons ensuite identifié au sein de la région, des territoires agricoles plus petits sur lesquels mener

¹² Le concept de forum, détaillé en chapitre 3, désigne un espace de débat sur la politique du biogaz, débat qui participe de près ou de loin à la construction de la politique.

¹³ Les contextes agricoles déterminent les intrants agricoles mobilisables en méthanisation

¹⁴ ADEME : Agence de la transition écologique

¹⁵ AREC : Agence régionale énergie climat ; DRIEE : Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie

¹⁶ WWF : World wide fund for nature

¹⁷ INRAE : L'institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

une analyse fine de la gestion effective au niveau des systèmes agricoles. Nous avons fait le choix de mener de premiers entretiens semi-directifs (Pinson & Sala Pala, 2007) dans les Vosges et dans le Bas-Rhin : ces deux départements se distinguaient par leurs dynamiques de développement de la méthanisation (injection *versus* cogénération, intrants) et leur systèmes agricoles (dominantes polyculture-élevage *versus* grande culture, viticulture, élevage monogastrique et polyculture-élevage). Ces départements¹⁸ nous semblaient donc adaptés pour saisir une diversité potentielle d'évolution des systèmes agricoles. Nous avons donc mené 23 entretiens avec des agri-méthaniseurs dans les Vosges et le Bas-Rhin, complétés de vingt-six entretiens auprès de divers acteurs du Grand Est. Ce terrain visait à analyser conjointement les transformations au niveau des systèmes techniques et des systèmes de production, en lien avec le territoire, dans ces deux départements. Après l'abandon fin 2021, par manque de temps¹⁹, de l'ambition comparative interrégionale, nous avons consolidé le dispositif d'enquête emboîté, présenté en Figure 6.

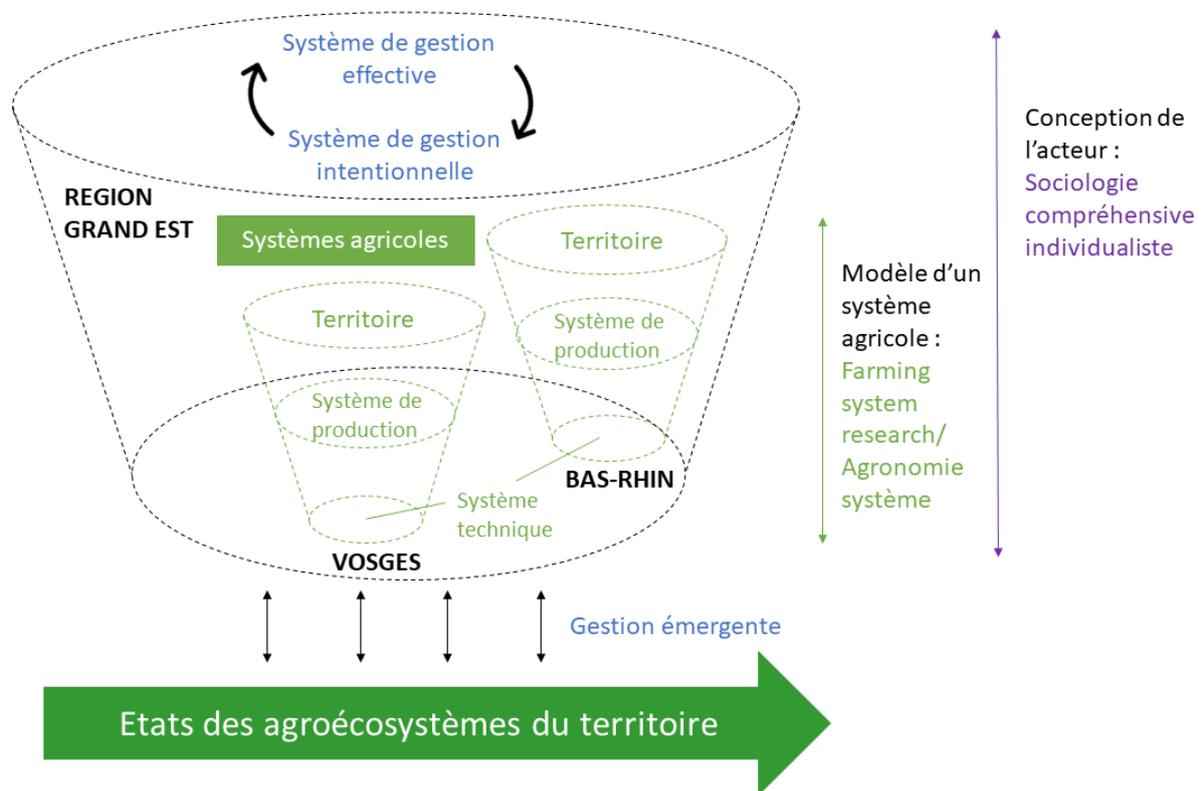


Figure 6 : Mobilisation des cadres théoriques de la Farming system research et de l'Agronomie système pour mener l'analyse de la gestion effective dans un dispositif de recherche emboîté.

Nous avons ensuite complété notre terrain d'une seconde phase d'entretiens, essentiellement par téléphone auprès des 23 agri-méthaniseurs (entre janvier et juin 2022) et auprès de 4 acteurs qui travaillent à la mise en œuvre de la politique du biogaz en Grand Est (en septembre et octobre 2022). A la fin de la thèse, nous nous appuyons ainsi sur 53 entretiens pour (i) évaluer les effets de la

¹⁸ De plus les méthaniseurs dans l'Aube, la Marne et les Ardennes avaient déjà été enquêtés ou étaient en cours d'enquête par d'autres acteurs académiques et techniques.

¹⁹ Dans le contexte d'une thèse marquée par les restrictions liées au Covid,

méthanisation sur les systèmes de production agricole (chapitre 4) ; (ii) reconstituer les dynamiques territoriales de développement de la méthanisation (chapitre 5).

Dans le chapitre 4, ce dispositif emboîté nous permet de comparer la gestion effective *directe* par les agri-méthaniseurs dans deux départements, en articulant principalement les échelles des systèmes techniques et de la ferme, celles-ci étant en relation avec le territoire. Nous y analysons l'évolution des systèmes de production agricole et de leur trajectoire de durabilité, à partir de l'étude des pratiques et des logiques d'action des agriculteurs.

Dans le chapitre 5, ce dispositif nous permet de relier l'analyse de la gestion effective *directe* (par les agri-méthaniseurs) aux analyses de la gestion effective *indirecte* et de la gestion intentionnelle conduites au niveau de la région (Figure 6). D'une part, nous analysons les dynamiques qui apparaissent au niveau du territoire agricole sous l'effet de la méthanisation ; l'objectif est alors de décrire de potentielles transformations du territoire agricole et d'identifier les enjeux agroenvironnementaux associés visibles au niveau du territoire. D'autre part, nous analysons les dynamiques sociotechniques et socio-politiques qui participent des effets agroenvironnementaux observés au niveau des systèmes de production et du système agraire ; l'objectif est de caractériser la dialectique gestion effective-gestion intentionnelle afin d'analyser comment la durabilité agroenvironnementale du biogaz est prise en charge en Grand Est.

3.4 Récapitulatif du dispositif de recherche

Nous résumons dans la Figure 7 ci-dessous les systèmes et objets d'étude (au centre) et les chapitres dans lesquels ils sont analysés (à gauche). Travailler sur la compréhension de la durabilité du biogaz à travers la construction et la mise en œuvre d'une politique relève d'un pari, celui de rapprocher dans une réflexion transversale des objets étudiés habituellement séparément, à différentes échelles, avec deux disciplines. Nous discutons dans la discussion générale de ces choix méthodologiques.

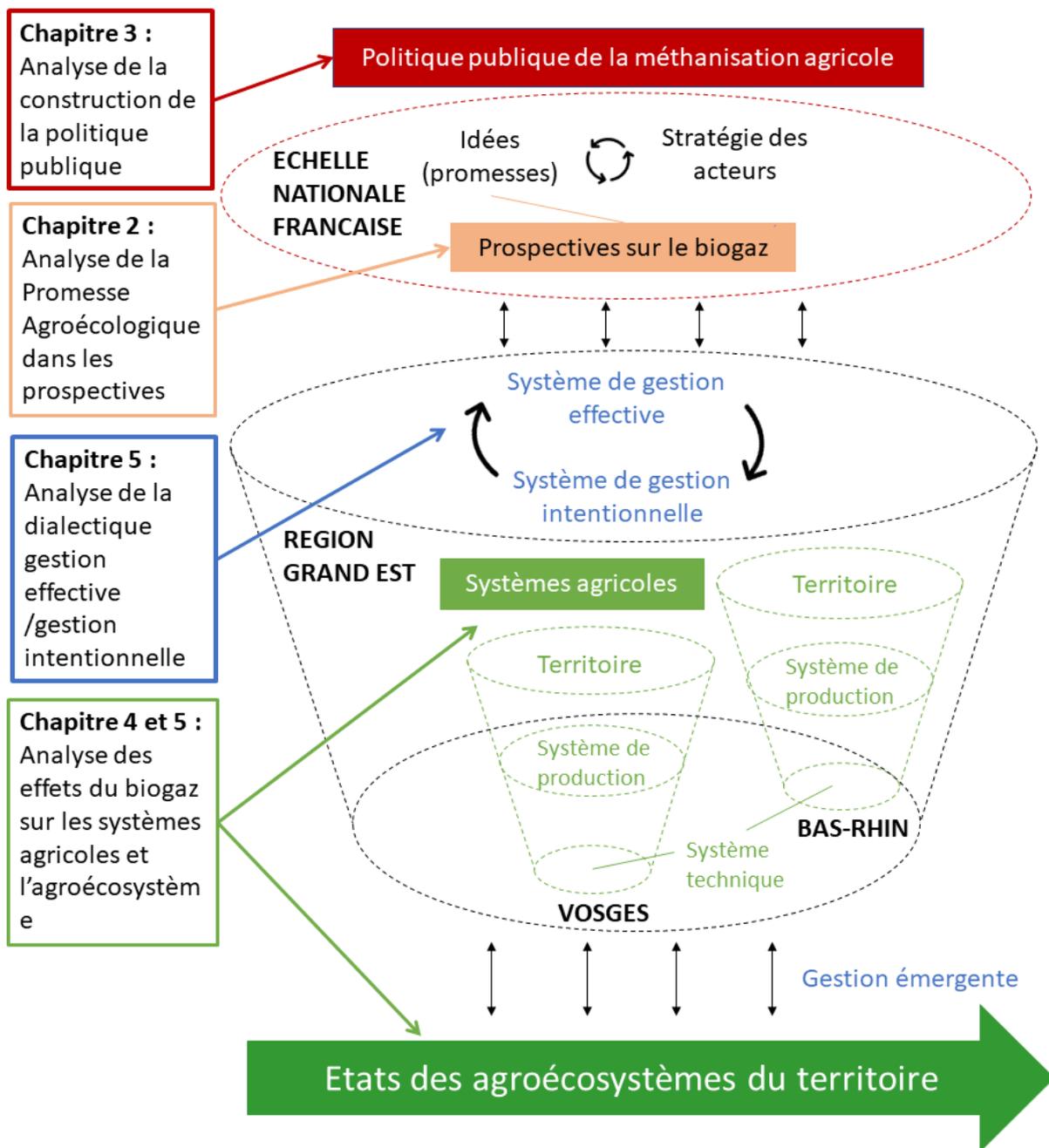


Figure 7 : Résumé de la démarche et des objets de recherche.

Légende : Au centre dans les rectangles pleins, les systèmes étudiés ; à gauche les 4 chapitres de résultats dans lesquels sont présentées les analyses.

Chapitre 2 : De l'importance de considérer les dynamiques agricoles dans les discours sur le futur de la méthanisation²⁰

Ce chapitre 2 est écrit sous la forme d'une publication scientifique soumise à la revue *Futures*, en cours de révision.

Cadiou^{a,b} J., Aubert^a P.-M., Meynard^b J.-M., 2023. The importance of considering agricultural dynamics when discussing agro-environmental sustainability in futures studies of biogas. *Futures*.

^aIddri – Institute for Sustainable Development and International Relations, Sciences Po, 41, Rue du Four 75007 Paris, France

^bUMR SADAPT INRAE, AgroParisTech, Paris-Saclay University, AgroParisTech – INRAE 22 Place de l'agronomie, 91123 Palaiseau cedex, France

RESUME EN FRANÇAIS

Le biogaz issu de la digestion anaérobie est aujourd'hui l'alternative renouvelable la plus mature au gaz fossile. Les études prospectives sur l'avenir du biogaz discutent différentes promesses (transition agricole, gestion des déchets, développement territorial) au côté de la promesse « énergie renouvelable ». Mais le rôle effectif du biogaz, dans le soutien à la transition vers une agriculture durable, reste objet de débat dans plusieurs pays européens.

Dans les arènes politiques, les études prospectives sont considérées comme des instruments stratégiques qui, en proposant des scénarios possibles, contribuent à façonner les visions du futur des technologies. Bien qu'en France le débat sur le futur du biogaz propose différentes voies possibles, nous faisons ici l'hypothèse que les études prospectives ne prennent pas suffisamment en compte la dynamique des systèmes agricoles lorsqu'elles discutent de la durabilité future de la méthanisation agricole. En rassemblant un corpus de 16 études prospectives récentes, nous montrons que la vision de la durabilité du biogaz est développée principalement à travers une rhétorique normative sur l'évolution de l'agriculture. La plupart des études indiquent que le développement du biogaz peut conduire à un verdissement des systèmes agricoles. Pourtant, ces affirmations reposent sur une analyse limitée de la coévolution des dynamiques techniques et sociales en agriculture. Plus précisément, les normes qui décrivent l'agentivité des agriculteurs négligent ou sous-estiment certains risques et certaines opportunités de durabilité.

De nouvelles études prospectives fondées sur le rôle du biogaz dans les systèmes sociotechniques agricoles contribueront à aider les décideurs à construire des politiques publiques d'un biogaz durable.

²⁰ Ce chapitre est écrit sous la forme d'une publication scientifique, soumise dans la revue *Futures*. Les sections Introduction et présentation du cadre de la *Farming system research* ont donc déjà été partiellement présentées dans l'introduction générale de thèse et le chapitre 1. Le cadre de la *Farming system research* et son opérationnalisation sont cependant plus détaillés dans ce chapitre.

ABSTRACT

Biogas from anaerobic digestion is the most developed renewable alternative to fossil gas. Futures studies on the future of biogas discuss different promises on energy decarbonization, agricultural transition and territorial development, but its role in supporting the transition to a sustainable agriculture is debated in several European countries.

In political arenas especially, futures studies are considered as strategic instruments that, by proposing possible scenarios, help shape visions of future related technologies. Although in France the debate on biogas includes the possibility of several future paths, we hypothesize here that futures studies do not sufficiently consider the dynamics of agricultural systems when discussing biogas future sustainability. By gathering a corpus of 16 recent futures studies, we show that the vision of biogas sustainability is developed mainly through normative rhetoric on agriculture evolution. Most studies indicate that biogas development can lead to a greening of agricultural systems. Yet, those assertions rest on a limited analysis of the co-evolution of technical and social dynamics in agriculture. Specifically, norms that describe the agency of farmers overlook or underestimate some sustainability risks and opportunities.

New futures studies based on biogas' role in agricultural sociotechnical systems will help policymakers determine what policies are needed for sustainability.

KEYWORDS

System functions, sustainability transitions, anaerobic digestion, expectations, futures

HIGHLIGHTS

- We analyzed a corpus of 16 futures studies related to biogas in France
- A normative rhetoric on agriculture mainly support the vision of biogas sustainability
- The promises about biogas must consider the sociotechnical dynamics of agriculture
- New futures studies are needed to help policymakers in building sustainable biogas

INTRODUCTION, CONTEXT AND PREVIOUS RESEARCH

Over the last decade, the use of agricultural residues and waste to produce renewable energy has received increasing attention (Ampese et al., 2022; Duque-Acevedo et al., 2020; Fernández-González et al., 2020; Mao et al., 2015). At present, the most developed alternative to fossil gas is the production of biomethane from anaerobic digestion (AD) of biomass (Gregorie et al., 2020). Feedstocks from agriculture and waste sectors can be digested in a biogas plant. The biogas thus produced can be converted into electricity and/or heat, or into biomethane (Miltner et al., 2017). At the end of the digestion process, the co-product obtained—the digestate —has agronomic properties (Grillo et al., 2021; Koszel & Lorencowicz, 2015). Here, we use the term 'agricultural AD to refer to biogas production from agricultural feedstock.

To support biogas production, since the beginning of the 21st century, several European countries have progressively set legislative frameworks mainly structured by energy and climate policy drivers (Zhu et al., 2019). In France, biogas production targets are much debated in the policy arena because

of the potential impact that AD development could have on agriculture. Key players in the French biogas sector see biogas technology as being able to fulfill the dual promise of an agricultural transition that includes carbon storage, more sustainable agricultural practices, more circular management of nitrogen, and an energy transition that includes decarbonization of both the gas vector and agriculture. However, these promises are challenged by other stakeholders who have highlighted the risks of AD development to agriculture and the environment: this includes competition with food production, loss of autonomy for farmers (Confédération paysanne, 2020), farm concentration (Lallouët-Geffroy, 2019), and local issues such as water pollution (Ouest-France, 2020), as well as the high cost of AD development regarding its agro-environmental outcomes (Kirsch, 2022).

Public policies not only play a key role in the development and structuring of the biogas sector (Auer et al., 2017; Gustafsson & Anderberg, 2021a; Patterson et al., 2011) but they also allow for the possibility of several future paths. In France, at the heart of public policy discussions is the twofold question of (i) how the policy framework that today supports the development of AD should be built/transformed, and (ii) how it will be implemented over the next few years. This policy framework is at the overlap of several sectors - energy, environment and agriculture (Hjalmarsson, 2015; Raven & Gregersen, 2007; Zhu et al., 2019) - and is thus shaped by the negotiations taking place between actors from each of these sectors (Mermet et al., 2010). In these negotiations, expectations and visions are used by stakeholders to support their claims at various levels; as stated by Borup et al., (2006): *“They play a central role in mobilizing resources both at the macro level, for example in national policy through regulation and research patronage, and at the meso level of sectors and innovation networks, and at the micro-level within engineering and research groups and in the work of the single scientist or engineer.”* Futures studies which include scenarios, foresight and roadmapping, are among the tools and practices used to express expectation coherently. Such Futures studies contribute to the construction of the regime of techno-scientific promises and to influencing the mode of governance of science and technological development (Joly, 2015; Joly et al., 2011). In political arenas, Futures studies are a part of promise-making activities and are strategic instruments that help shape visions of a technology, by proposing possible scenarios (thereby excluding other possible scenarios). Moreover, the expectations dynamic is often characterized by hype-disappointment cycles: to capture resources, a stakeholder might exaggerate the expectations and benefits of a technology. *A posteriori*, failures are often downplayed so that the letdown does not negatively impact the whole technological sector (Borup et al., 2006).

In this paper, we analyze futures studies developed and used by stakeholders to support or limit the development of AD in French policy debates. More specifically, we look at how these futures studies characterize the influence of AD in agriculture. In particular we investigate how and to what extent biogas contributes to the transition to a more-or-less sustainable agriculture, how the mechanisms of its contribution are made explicit, and how, in turn, Futures studies contribute to framing the techno-scientific promises of biogas as a lever for energy and agricultural transitions.

This article analyzes 16 future-oriented studies that discuss the development of biogas in France, in order to answer the questions of whether or not these projections of the future of biogas consider its agro-environmental impacts, and whether or not they analyze the impact of biogas development on the transformation of agricultural systems. Given our analysis, we argue that the majority of studies do not consider the dynamics of agricultural systems carefully enough for Futures studies to accurately analyze the agro-environmental issues of biogas.

THEORETICAL PERSPECTIVE

1 Futures studies in the regime of techno-scientific promises

The literature of the sociology of expectations shows that visions and expectations are key elements for explaining the dynamics of scientific and technological change. A promise defines a space of possible future options for the development of socio-technical innovations. It frames the technical, institutional, and behavioral challenges that must be overcome to develop these options. It also specifies the actors involved in achieving these options and creates communities of interest and practice as well as provides narratives to gather and orient resources, and to organize collective mobilizations (Berkhout, 2006). Visions and expectations contribute to guiding and bringing about the future through their performative dimensions (Borup et al., 2006).

Over the last couple of decades, several techniques, instruments, and practices have evolved to articulate and assess expectations in science and technology (Lumbroso, 2019). Among them are Futures studies such as technology forecasting and assessment, backcasting, roadmapping, scenario methods, foresight, etc. These contribute to the shaping and evolution of visions and expectations (Joly, 2015) as well as constitute "*formal articulations of possible futures*" amid many more informal activities of future-making (Van Lente, 2012). They reveal in part, the axes of the argument and the hypotheses on which the anticipations delivered are based. Although they can take various forms the different methodologies and theoretical concepts that underlie these Futures studies are not considered in this paper, so they are grouped under the general term of 'futures studies'.

The literature identifies different functions of Futures studies. They can be carried out to assist and guide decision-makers (Martin, 1995, p. 199) or more broadly can reinforce stakeholders' capacities to make strategic decisions about the future. Many authors also point out the strategic use of Futures studies to influence various types of debates (Hedgecoe & Martin, 2003; Mermet, 2009; Treyer, 2009). In this perspective, Futures studies are used as strategic resources by actors in the scientific and technological fields (Godet, 2007) trying to intervene in the manufacture of the future. These anticipatory practices can contribute to the building of the future in different dimensions:

- Futures studies frame the issues and options linked to the development of technologies: scenario production is not only a change in knowledge or new understanding but it is also a way to frame problems. As stated by Garb et al. (2008), they can "*shape a cognitive landscape of where risks and opportunities lie. These define the priorities of a particular community of actors, and what these actors believe their audience should think about* ». In doing so, they contribute to the building of a shared agenda (Van Lente, 2012).
- Futures studies have a performative character (Hedgecoe & Martin, 2003; Jasanoff & Kim, 2013; Joly, 2015) by reinforcing the legitimacy and credibility of certain promises if their results are in line with them. They can go so far as to contribute to locking in certain technological trajectories with dominating representations (Lumbroso, 2019). Besides the prospective interventions, the existence of informal activities may however limit the ability of foresight to generate alternatives and contrasting futures (Van Lente, 2012).
- Futures studies constitute resources for working on the development of a socio-technical trajectory, this is in connection with the performative character: actors can rely on these

anticipations to mobilize resources (financial, political, institutional) and coordinate collective action around a narrative (Chateauraynaud & Debaz, 2017; Van Lente, 2012)

These different functions in the political debate are linked to two dimensions of Futures studies: (i) their content, and (ii) the political strategy of their designers or users. In this article, we specifically study the contribution of these Futures studies to the public debate through their content, and not through the intervention strategies of the actors who mobilize these futures.

2 Farming systems research

To better understand the visions that justify or criticize AD as a lever of agriculture sustainability, we need to examine how Futures studies frame AD issues in agriculture, or specifically how they describe the links between AD and agricultural dynamics. To do so, we utilized a systemic framework based on the field of Farming systems research, with some contributions of the French field of “Comparative agriculture”²¹. It proposes a systemic vision of agriculture at three nested system scales: the smallest being the technical systems, nested within the farming system, and the regional system that is shaped by the collective dynamics of the other two (Cochet et al., 2007; Darnhofer et al., 2012). Hereafter, we use the term ‘agricultural system’ to describe this model based on these three nested scales.

Technical systems include cropping, livestock, and fodder systems. They are characterized by technological choices and practices that are interconnected: the evolution of one practice often affects others (Meynard et al., 2001). AD is a new technical system on farms, which could modify the existing links between and within other technical systems. Beyond the design of AD as a technical system, its development necessarily requires the allocation of resources (labour, land, knowledge). This, in turn, has consequences on the overall functioning of the farming system, since it implies either an increase in total farm production or a re-organization of how resources are allocated within it (Cochet et al., 2007). Thus, such changes in the ‘hard system’ (the biological and technological components of technical, farming and agrarian systems) must be understood through “*the meaning that actors give to [it]*” (Darnhofer et al., 2012). When this is considered, the concept of ‘situated rationality’ puts farmers’ strategies at the heart of the evolution of farming systems, viewing them as stakeholders in, and drivers of, the emergence of new forms of sociotechnical organization (Osty et al., 1998). This framework moves us away from an analysis of biogas development based on “rational modernization” and towards an understanding of the underlying “logic” of farmers, knowing that they may have conflicting goals. Farmers’ strategies, linked to their techno-economic logic, are a key element in understanding their technological choices and changes in their farming systems. But whether or not a technical solution exists or is virtuous or profitable (in a given context), does not mean it will be implemented (Darnhofer et al., 2012). The evolution of the management of technical systems is not only decided by farmers; it is influenced by the farmer’s interactions with advisors, the agri-food industry, customers, and relevant authorities (Clermont-Dauphin et al., 2014). Such changes at the farm level might, in turn, affect the dynamics of the agrarian system—a concept that covers the elements of the region (stakeholders, institutions, and landscape elements of a given geographical area) involved in its land use (Mazoyer, 1987). Parts of each scale interact with each other, and the system’s overall performance “*depends more on these interactions than on how [the parts] act*

²¹ “Agriculture comparée” in French.

independently" (Darnhofer et al., 2012). The evolution of practices and techniques, thus, cannot be dissociated from the complexity of the social world. Given the significance of AD for production on farms, this perspective shows that a change, such as the arrival of AD on farms beyond the novelty of the practices introduced to this technical system, can have repercussions on the other technical systems, on the whole coherence of the farming system and on the inclusion of the farming system in the agricultural landscape.

This framework thus allows us to describe and interpret anticipated transitions in agriculture by revealing how the agricultural dynamic is considered and how different Futures studies described the innovation dynamics on farms that are associated with the new biogas production. In doing so, it enables us to assess the credibility of the expectation of *biogas as a lever for sustainable agriculture*.

MATERIAL AND METHODS

1 Building the corpus

To build the corpus, we conducted queries on Scopus, Google Scholar, and Google with all the combinations of the following keywords (in French and English): 'biogas', 'future', 'anaerobic digestion', 'prospective', 'scenario' and 'foresight'. Interviews with actors from the biogas sector also helped us to identify future studies that were initially overlooked. These studies are from the publicly available grey and academic literature, and in all of them, the vision of the future is expressed with a time horizon of 2030 or beyond. Only studies published between January 2014 and April 2020 that address the future of biogas in France on a national scale were included, as those older were often based on obsolete technology.

We analyzed discourses, diverse in their "procedural" level (methods and tools used) but which meet on a "conjectural" level (according to Treyer (2006)) in that they discuss to a greater or lesser degree, the future role of biogas in agriculture. This enabled us to gather representations of the future role of biogas in the bioeconomy, agriculture, and energy sectors. The selected studies vary in form and nature, as can be seen in Tableau 1/Table 1: some are scenarios based on models and others are qualitative visions; some focus explicitly on the future of (agricultural) AD; and others address broader issues (agriculture, gas or energy transitions, biomass mobilization). It can be noted that two of the studies (n°5,7) are part of the framing of the national biogas policy. Whether directly or indirectly they all address the question of the environmental effects of AD and its role in agricultural sustainability.

We excluded from our corpus any texts that were limited to a technical evaluation of biogas feedstock, or that proposed a development path without mentioning the impacts on agriculture, with the exception of publication n°10, which we retained as a representation of a common type of projection where agricultural themes are not developed. Except for the ICCT publication, which consists of three documents that all formed part of a single intervention strategy (Treyer, 2009) guided by the same sponsor, we viewed each document as corresponding to one futures study. The final corpus included 16 studies (Tableau 1/Table 1).

References	Futures studies	Titles	Sponsors, designers ²²
(Baldino, 2017, 2018, 2019)	N°1	1/ The potential for low-carbon renewable methane in heating, power, and transport in the European Union; 2/ The potential for low-carbon renewable methane as a transport fuel in France, Italy, and Spain; 3/ A methodological comparison for estimating renewable gas potential in France	ICCT
(ADEME, I Care & Consult, et al., 2017)	N°2	Agriculture and renewable energies: contributions and opportunities for the agricultural sector	ADEME
(Couturier et al., 2016)	N°3	Afterres 2050	Solagro
(ADEME et al., 2018)	N°4	A 100% renewable gas mix in 2050?	ADEME, GRDF et GRTgaz
(Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018a)	N°5	National Low Carbon Strategy, Scenario with additional measures (AMS SNBC)	French authorities
(ADEME, 2017)	N°6	Strategic Roadmap – Anaerobic digestion	ADEME
(French Government, 2018)	N°7	National Strategy for Biomass Mobilization	French authorities
(Couturier, 2014)	N°8	Rural anaerobic digestion, a tool for energy and agroecological transitions	Solagro
(Marx, 2020)	N°9	Agricultural anaerobic digestion: what are the conditions for the sustainability of the sector in France?	WWF, GRDF
(Gassiat, 2015)	N°10	Developing the anaerobic digestion sector in France	Carbone 4
(GRDF et al., 2018)	N°11	Gas outlook 2035	GRDF, GRTgaz, Terega, SPEGNN
(ADEME, Deloitte développement durable, et al., 2017)	N°12	Agricultural biomass: state-of-the-art and prospective analysis	ADEME, Deloitte, AILE, Alterra Wageningen

²² ICCT: International council on clean transportation; ADEME: Agency for ecological transition; Solagro: non-profit company; GRDF, GRTgaz and Terega: Main French gas transportation and distribution companies; WWF: World Wide Fund for Nature; Carbone 4, ENEA, ASTRADE and Deloitte: consulting firm; SPEGNN: Professional Union of Non-Nationalized Gas Companies; consulting firm; AILE: French local energy association; Alterra Wageningen: Dutch multidisciplinary research institute; CRE: French Energy Regulatory Commission; Club Biogaz-ATEE: Association of biogas sector stakeholders; SER: renewable energy union

(CRE, 2019)	N°13	The greening of gas	CRE
(ENEA Consulting, 2018)	N°14	Strengthening the competitiveness of the French biomethane industry	ENEA, ASTRADE associated with GRDF, GRTgaz, Club Biogaz, SER
(Meyer et al., 2018)	N°15	Future European biogas: animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production	Meyer et al.
(Majerus et al., 2017)	N°16	Taking Advantage of the Vastly Underused European Biogas Potential: Break-Even Conditions for a Fuel Cell and an Engine as Biogas Converters	Majerus et al.

Tableau 1/Table 1: Corpus consisting of the 16 selected studies.

2 Data collection and analysis

For each publication, we characterized how agricultural systems are predicted to evolve under the given hypothesis of AD development, which agro-environmental impacts are considered, and what information is used to assess these impacts. We proceeded in three steps:

Step 1: Formalize a reference list of 10 agro-environmental themes. As the specific agro-environmental principles of “agricultural transition”²³ can vary widely, we relied on the agro-environmental orientations of the agriculture transition as developed by French stakeholders in 2017, in the framework of the French ‘Etats généraux de l’alimentation’ (2017) (Etats généraux de l’alimentation, 2017) (EGA) (a government-led process). We selected the agro-environmental themes exposed in the concluding document of the EGA and organized them according to their coherence to the AD agro-environmental issues identified in the scientific literature. The resulting ten issues are: 1) limiting carbon emissions to limit climate change; 2) increasing carbon storage; 3) balancing nitrogen input through limited synthetic nitrogen inputs, the development of legumes to reintroduce nitrogen into the system, and promoting autonomy in plant protein; 4) limiting N₂O emissions; 5) limiting the use of pesticides; 6) maintaining the biological quality of soil; 7) protecting and enhancing landscape biodiversity through deployment of agroecological infrastructure, preservation of high-quality permanent grasslands, crop diversification and longer rotations; 8) protecting water quality by limiting nitrogen leaching and water pollution; 9) protecting water availability; and 10) improving the land management of nitrogen by developing complementarity between crops and livestock, preserving the area and quality of permanent grasslands, and developing autonomy in plant proteins. We analyzed each study for how each of these issues was considered in assessments of the impacts of AD.

Step 2: Analyzing how the transformation of agricultural systems is considered, based on the three levels of an agricultural system described above. Each level was characterized by a set of variables:

²³ Comme pour les autres chapitres, notre référentiel normatif correspond à la politique agroécologique française. En raison de la connotation politique du terme « agroécologie » au niveau international, alors que notre référentiel est biophysique, nous avons choisi de conserver le terme « agricultural transition » pour désigner la transition agroécologique dans ce chapitre. Cette transition agricole est donc définie par les orientations de la politique agroécologique française.

- The first level (technical systems) was characterized using the following variables: (1) the anticipated technical options; and (2) the "good" practices necessary to achieve the agro-environmental performance established in the study.
- The second level (farming systems) was assessed through the following variables: (1) the farmer's management strategy (objectives, choices); (2) techno-economic analysis of biogas impacts (profitability, role of techno-economic parameters in the farmer's decision, economic impact on the farm); and (3) interactions between AD and other technical systems of the farm (competition, complementarity, independence)
- For the third level (region), transformations were evaluated using the following variables: (1) interactions between farming systems; (2) landscape evolution (share of permanent grasslands, silage maize, etc.); and (3) inclusion of AD in the region: regional-level interactions with other biomass-related sectors

In each text, we recorded the exact quotations related to these variables, and distinguished three ways of treating each variable: not included, mentioned briefly, and included in a systemic analysis (i.e. considering its potential links with other variables).

Step 3: A cross-analysis of the whole corpus was conducted along three axes: Which agro-environmental themes were discussed and which were not; which variables are used to describe the impacts of AD on agriculture sustainability (with the data gathered in step 2); and what relationships, if any, exist between axes 1 and 2: for each study, we considered the number of sustainability themes addressed for the levels at which the authors assessed the impacts of AD development on agricultural systems (see Tableau 4/Table 4: Relationship between the number of agro-environmental themes considered by each study and the scope of its systems analysis.).

RESULTS

1 Contrasting views of the potential of biogas production

Of the 16 futures studies we analyzed, 11 proposed a quantitative assessment of the potential for agricultural and non-agricultural biogas production, renewable gas, or biomethane by 2030, 2035, or 2050. These proposals were not easily comparable because they differ in scope or do not make their hypotheses explicit enough, for example whether the energy vector is electricity or biomethane, primary or final energy. Figure 8 gives an overview of the contrasting projections. For some studies, both a low estimate and a high estimate are included in the figure. Study n°16 is not represented because it only considered biogas produced from manure.

The studies vary widely in their projections of the contribution of agriculture to AD development (Figure 8). Specifically, the potential output in 2030 is estimated to be between 35 TWh (low estimate of n°12) and 150 TWh (n°15), with the determining factor being the proportion of livestock manure "digested". Studies n°12, 13, and 15 share the same source materials: mainly livestock manure and crop residues, with energy cover crops (ECC) assumed to be poorly developed by 2030-2035. Similarly, the potential output in 2050 is projected to be between 22 TWh (n°1) and 124 TWh (n°3). In this time frame, the disparities observed are mainly related to the role of ECC, which constitute the primary

input and represent more than 40% of the potential energy output for studies n°3, 4, and 5. Study n°1 envisions a much smaller role for ECC, representing only 10% (3 TWh).

The future development of ECC thus plays a critical role in the production of agricultural biogas in 2050. In our corpus, the limited availability of ECC before 2030 can be traced to two causes: (i) their relatively low environmental benefit given the potential for competition with animal feed, human food, or biomaterials (n°15), and (ii) uncertainty regarding the feasibility of their use (production cost and technical feasibility (n°12) in the context of climate change and constraints on water supply (n°13)). Projections for 2050, therefore, depend on how the authors of a study viewed ECC development: as feasible and desirable or not, both technically and economically (with implicit assumptions regarding policy evolution).

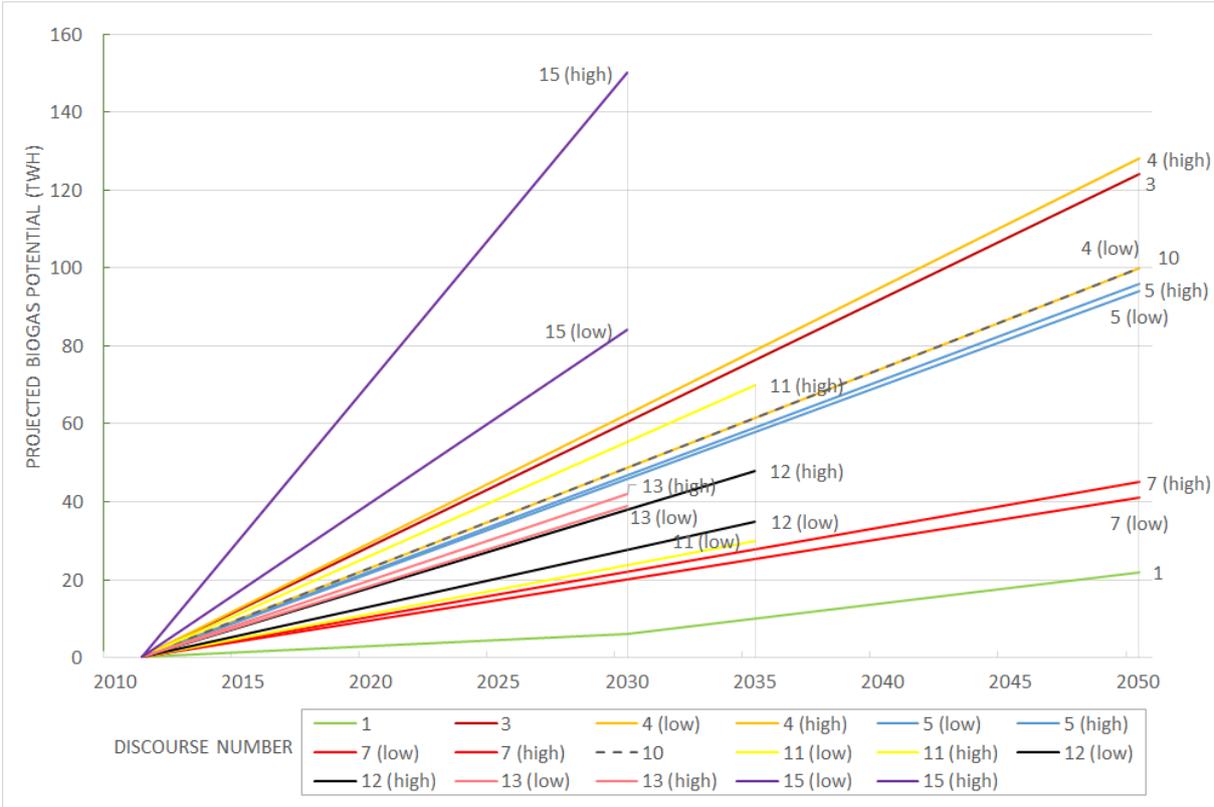


Figure 8: Projected biogas potential (in TWh) in the eleven studies that quantify its development.

The year 2011 is taken as a reference (0.2 TWh). It can be assumed in the studies that the biogas produced will be consumed in electricity and heat, so that the primary production of gas is equivalent to the final consumption. The primary and final energy projections are therefore compared in the same graph.

2 Disparate consideration of the 10 sustainability themes

In all studies, greenhouse gas (GHG) balance is a key element in the analysis of biogas sustainability. Eleven studies present biogas as a possible means of decarbonizing agriculture, based on either reducing methane emissions from livestock effluents (7 out of 11), limiting N₂O emissions (4 out of 11), or reducing indirect emissions associated with the consumption of chemical fertilizers (1 out of 11).

Five other studies (n°4, 5, 10, 11, 14) examine the emissions prevented via the substitution of biogas for fossil energy. In the studies that predicted a positive GHG balance, certain risks were also identified: methane leaks (n°1, 2, 6, 8, 13), methane emissions during storage of livestock effluents (n°1, 8, 9), indirect GHG emissions linked to the use of nitrogen fertilizers on cover crops (n°1, 12) or to digestate transport (n°2, 8, 15).

The issue of soil carbon storage is addressed in 12 studies, of which 7 predict that AD will increase soil carbon stocks, specifically through the use of ECC and returning carbon to the soil via stubble, roots, and digestate.

Nine studies hypothesize that AD may increase water use because of the concomitant increase in biomass production, especially ECC production. In particular, n°9 identifies the risk of competition between the main crop(s) and ECC and n°13 underlines the uncertainty regarding ECC production due to water constraints. Nine studies discuss water quality issues and seven predict a reduction in nitrate pollution thanks to the use of cover crops and digestate fertilization. Two studies assert that the fertilization of ECC with digestate presents the same risks of polluting water as with mineral nitrogen (n°7, 9), and study n°7 predicts an increased risk of water contamination associated with the increased consumption of inputs for ECC production. Three studies do not identify, either qualitatively or quantitatively, water management issues related to AD development.

Thirteen studies consider the impacts of AD on the nitrogen cycle, though they differ greatly in the depth of their analysis. The main benefit associated with nitrogen management is thought to be the reduction of nitrogen consumption in the form of mineral fertilizers (8/13), as the fertilizing properties of digestate allow it to be substituted for mineral fertilizers. Studies n°3, 7, and 8 point out that the development of a legume cover crop can capture nitrogen from the air. Studies n°2 and 14 highlight the fact that nitrogen inputs can come from off-farm feedstock (e.g., agro-food waste). Five studies identify the need to limit the risk of ammoniacal nitrogen losses through volatilization.

While three studies specifically identify AD as a means of reducing N₂O emissions through improved fertilization management, three others identify the risks of increased N₂O emissions, especially if ECC are fertilized.

Discussions of input consumption most often cite nitrogen fertilizers. However, 5 of the 16 studies outline objectives for reducing the use of pesticides through the development of cover crops. Studies n°7, 8, 9, and 13 hypothesize that ECC can limit the development of diseases in crops thanks to longer rotations, crop diversification, and a consequent reduction in pest pressure. However, study n°7 points out the risk of increasing the consumption of inputs (fertilizers and pesticides) in ECC cultivation, depending on the farmer's strategy. To limit this risk, study n°3 assumes that ECC are not treated.

Six studies discuss the risks that AD can have for soil biodiversity. Five hypothesize that AD will lead to a decrease in labile carbon and be detrimental to soil biological activity. However, studies n°3 and 12 emphasize that the implementation of good practices can limit this negative effect. Studies n°4 and 8 argue that spreading digestate on soil could also stimulate biological activity. Studies n°6 and 9 advocate for improvements in our understanding of the impacts of biomass removal and digestate application on soil biodiversity.

Eleven studies mention landscape biodiversity as an issue, and five of these link the development of biogas to increased biodiversity: the presence of plant cover instead of bare soil makes it possible to

lengthen (n°3, 8, 13) or diversify rotations (n°3, 8, 9, 13), which could benefit pollinator populations (n°13, 14). Three other studies stress the need to ensure that AD does not impair biodiversity, without specifying the mechanisms involved. Study n°12 warns against early mowing of meadows, which could harm the reproduction of resident fauna. Three studies (n°3, 8, 15) consider AD to be a new outlet for grassland hay, which would favor the maintenance of permanent grasslands and thus preserve biodiversity.

At the farm or regional level, three studies link the issue of land nitrogen autonomy to improved integration between crops and livestock. Protein self-sufficiency could be promoted through the general development of legume cover crops for AD, which could then also be used for livestock (n°8). The use of digestate could also increase the protein content of grasses and fodder (n°8). In two studies, AD is linked to the evolution of land nitrogen management in the context of decreasing livestock farming: study n°8 considers AD to be a means of achieving exchanges of matter and nitrogen between livestock and field crop farms, while study n°3 highlights the economic benefits of AD as a way to support extensive grass-fed farming. Study n°15 views AD as *"a method for recirculating nutrients from the permanent grass areas to cultivated lands via the digestate"*. Finally, study n°2 highlights the increased risk of heterogenous digestate repartition in the territory, that leads to a risk of nitrogen concentration.

Agro-environmental issues are unevenly addressed (Figure 9), and both risks and opportunities are identified that might affect AD's future development.

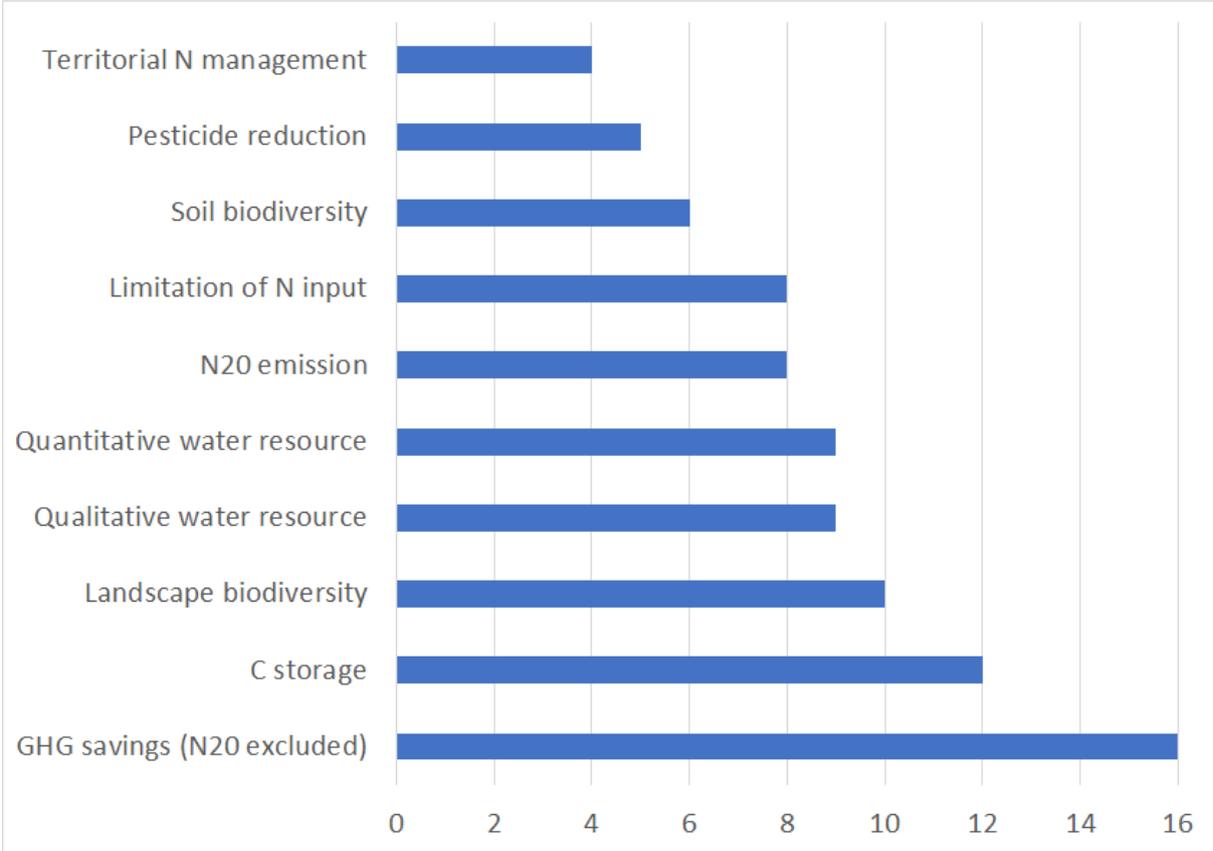


Figure 9: Number of studies that mention each agro-environmental issue (more or less in-depth).

3 A vision of sustainability developed mainly through normative rhetoric on the evolution of agricultural systems

3.1 At the technical systems level, futures studies focus on good practices to be adopted

The vast majority of the studies analyzed (14/16) explicitly identify some practices or technical solutions that are meant to be adopted by farmers in the future to ensure AD agro-environmental benefits and/or avoid the identified risks. The approach is mostly normative in that the possibility that farmers do not adopt such practices or solutions is not discussed. Examples of this type of approach can be found for all sustainability themes considered such as in the covering of manure pits to reduce methane emissions (see Tableau 2/Table 2 rows 2-3). Study n°15 explains that GHG emissions must be controlled by limiting the distance that feedstocks are transported, which can be achieved by "*ensuring a precise monitoring of atmospheric emissions around the materials entering the installations*". The return of digestate to the soil and its use as fertilizer are also presented as key elements of biogas sustainability, and through the adoption of certain good practices these agro-environmental benefits will occur (Tableau 2/Table 2, rows 3-7). Likewise, concerning the virtuous development of ECC, six studies specify that ECC development must be coupled with controlled water management. So, in general, the conditions under which these good practices are eventually adopted—or not—are not discussed in detail.

Good practices	Quotations	Perspective
Digestate storage	"The risk of nitrogen volatilization from digestate [...] is offset [...] by the widespread use of digestate storage pit covers." p6	n°3
	"The conversion of manure to digestate can increase methane emissions [...] it is necessary to cover digestate storage pits to limit these emissions. " p5	n°8
Digestate spreading	"The advantages of digestates only become apparent if rigorous application management is carried out to adapt the dosages and periods of application." p27	n°13
	"Risk of NH3 emission if the digestate is not buried when applied" p41	n°2
Digestate monitoring	"A detailed knowledge of the mineral content of the digestate is necessary to adapt the quantity of digestate to be spread and to limit the environmental impact." p166	n°12
	"The nutrient-rich digestate [...] is mainly recycled to [...] decrease negative environmental impacts (i.e. eutrophication of freshwater systems) which would be the situation if the disposal of such nutrients is not properly managed and controlled" p1	n°15

Tableau 2/Table 2: Quoted text (some are translated from French) about good practices that must be implemented for sustainable biogas.

3.2 At the level of farming systems, the development of AD is generally thought to foster environmentally-friendly transformations through the additional income provided

In most of the studies (12/16), the adoption of good management practices (as identified above) will be made possible by either the additional income that AD will bring to farmers, or by the accompanying reductions in operating costs; these financial benefits should give farmers more room to maneuver, thus opening the door to the adoption of good practices (6/16). However, study n°7 considers the risk that the new income provided by AD could encourage farmers to intensify their practices, particularly nitrogen use, thus decreasing the overall level of sustainability achieved (Tableau 3/Table 3, row 6). Some studies (6/16) also hypothesize that AD will create new complementarities at the level of the farming system, that will enhance its sustainability, such as more sustainable nitrogen management (n°1, 3, 4, 15) (that could, for example, foster the development of organic farming (n°3)) and an increase in the value of grass from meadows, which would, in turn, justify their preservation (n°3, 15). Certain tensions between the development of AD and other technical systems within farms (Tableau 3/Table 3, rows 2-3) are identified, with four studies arguing that farmers will need support to engage in this type of sustainable transition pathway (Tableau 3/Table 3, row 4). Overall, the general idea conveyed here (except in n°1) is that the development of AD can be used as a lever for an environmentally virtuous transformation of farming systems. However, these assertions rest on a limited analysis of the concrete mechanisms through which the deployment of AD might affect farming systems. In particular, farmers' strategies are not considered, precluding a detailed analysis of why other 'less sustainable' options might be chosen, or at which conditions 'best practices' can be implemented. The possible influence of a farmer's choices on the development modalities of AD is mentioned in a general way in four studies (see example in Tableau 3/Table 3, row 5), but very few economic or sociotechnical analyses have been carried out to inform these hypotheses. On the techno-economic consideration, study n°1 stands out. It takes a techno-economic approach to assess the potential of biogas production across France based on estimates of production costs at the farm level.

Farming system variables	Quotations	Studies
Interaction between AD and agricultural activities: resource competition (land, fodder, funding)	<i>"Possible purchase of plant substrate to supplement the input of manure resulting in additional expenses or losses related to the non-sale of crops by the farm."</i> p41	n°2
	<i>"In a difficult year, farmers have two options: to give priority to feeding livestock by drawing on the hay stock, or to maintain energy production by reducing the herd."</i> p35-36	n°3
Guidance of project leaders' strategies	<i>"The implementation of these practices remains conditioned by the accompaniment, support, and control of their application."</i> p31	n°9
Farmer's strategies	<i>"The ECC hypothesis is therefore dependent on the willingness of farmers to include them in their cultivation practices."</i> p32	n°13

Techno-economic analysis	<i>"There is then a risk of using fertilizers and pesticides on crops that did not consume them [...]. The risk needs to be qualified according to the cost of such feedstocks and by the fact that farmers manage their crop rotation and cropping routes."</i> p37	n°7
--------------------------	--	-----

Tableau 3/Table 3: Quoted text (some are translated from French) linked to the three farming system variables.

3.3 At the regional level, only a superficial analysis has been conducted

At the level of the region, the issue most commonly cited is the conflict between AD development and the use of biomass for feed, food, or energy (12/16). Competition with food crops is highlighted as a path to avoid, but very little is said about the mechanisms that could help to avoid it. In general, the level of the region is not really addressed: study n°2 mentions that increased volumes of digestate spreading may increase the risk of geographic heterogeneity in nitrogen concentration; n°6 identifies different ways of mobilizing the regional biomass in different kinds of AD units; n°9 hypothesizes that AD could lead to land diversification; n°8 suggests that AD could be used to better manage nitrogen between different farms within the agrarian system; n°7 and 9 assert that the development of ECC as soil cover contributes to agricultural landscape diversity; n°3 views AD as a lever for preserving grassland; and n°1 and 12 allege that AD could induce additional GHG emissions through land-use change. Although all these variables are mentioned, they are not subjected to systematic or detailed analysis; the potential benefits or risks associated with the generalization of AD across agrarian systems are introduced, but the precise mechanisms at play are not fully characterized, providing little concrete information for policymakers or readers to consider.

4 A positive correlation between the depth of analysis of the system's dynamics and the clear identification of sustainability issues

Tableau 4/Table 4 classifies the 16 studies by their consideration of sustainability issues and their analyses of the different systems at play. Eight studies (the first two rows of Tableau 4/Table 4) address five or fewer sustainability themes while three others evoke at least nine of them. Six studies do not develop the dynamics of agricultural systems beyond technical options, while seven discuss at least one issue at the agrarian level, but generally in a vague way. As expected from our theoretical framework, Tableau 4/Table 4 shows that the more consideration an analysis gives to the three dimensions of agricultural dynamics (from the technical system to the agrarian system), the more likely it is to address a variety of sustainability issues. Conversely, the more an analysis focuses on the technical systems, the less likely it is to consider sustainability issues thoroughly.

Number of agro-environmental themes	Very general or few analyses of the agricultural systems	Level of technical systems (TS)	Level of farming systems (FS)	Level of the region (R)
0-2	N°10, 11	N°16	N°1	
3-5		N°5, 14, 15	N°4	
6-8			N°13	N°2, 6, 7, 12
9-10				N°3, 8, 9

Tableau 4/Table 4: Relationship between the number of agro-environmental themes considered by each study and the scope of its systems analysis.

The classification of the studies according to the scope of their analysis is as follows: 'TS' if no analysis (or very marginal analysis) of the farming and agrarian system levels; 'FS' if analysis of the technical and farming system levels, but not of the agrarian system level; 'R' if analysis at all three levels. 'No analysis or very marginal analysis' characterizes studies in which at most one variable of the level is covered. However, it's not because they evoke more than one variable of a level that they analyze it in a systemic vision (cf. 3.1, 3.2 and 3.3)

The seven studies with the shallowest analyses of agricultural sustainability are produced by members of the energy sector. Their analyses tend to focus on the contribution of biogas to the decarbonization of energy, with positive effects expected for the agricultural transition. Instead, the three analyses that best explore the stakes of agri-environmental sustainability are produced by a not-for-profit company and a non-governmental organization specializing in agricultural subjects.

GENERAL DISCUSSION OF CHAPTER 2

The first point of discussion concerns the scientific robustness of technical promises, at the heart of the promise of sustainable biogas. The second and third points focus on the implications for the political debate, of the framing of agricultural systems in the futures studies. The last point proposes ways to pluralize and enrich the debate on the future of biogas and its contribution to agricultural transition.

1 Biogas sustainability issues to consider, at the three levels

The promise of AD as a "lever for agricultural transition" or as a "sustainable technology from an agri-environmental point of view" is not shared by all the discourses, but it largely dominates the corpus. It is developed or contradicted through various understandings of the sustainability issues of AD, both in terms of the sustainability issues considered, and of the analytical methods used to evaluate them. One of the main results of our study is that, in the forum of the future of biogas, some sustainability

issues are less discussed than others. In Tableau 5/Table 5, we compare how the issues of biogas sustainability are addressed in our corpus with what is known in the scientific literature about the sustainability challenges of biogas for agriculture. We have identified a number of avenues for further Futures studies to better understand the future of biogas.

Sustainability issues	What the literature says on the issue	Identified in <i>n</i> /16 studies	Missing knowledge in the corpus
Carbon emissions	GHG savings in mean (Bacenetti et al., 2016; Paolini et al., 2018).	16	Impacts if good practices are not adopted
Carbon storage	Carbon storage if digestate is spread and cover crops are cultivated (Möller, 2015; Thomsen et al., 2013).	12	
Nitrate leaching	Cover crops can lead to a reduction in nitrate leaching (Blanco-Canqui et al., 2015), but this can vary according to the crops and rotations used (Herrmann et al., 2017; Launay et al., 2022). Local variations depending on local context and potential trade-offs between water quality, soil carbon storage, GHG reduction, and biomass yields in double-cropping systems (Paolini et al., 2018; Svoboda et al., 2013).	7	Identification of trade-offs between these issues and others
Nitrogen loss through volatilization		5	
N ₂ O emissions	AD modifies the conditions of N ₂ O production. There is a need to better understand the conditions that will reduce N ₂ O emissions from digestate spreading, as stated in the literature (Köster et al., 2011).	6	Assessment of this impact can vary a lot
Pesticide use	Cover-cropping reduces weed pressure, so pesticide consumption (Launay et al., 2022; Wittwer et al., 2017). But the impact of double-cropping on pest management is not universally positive (Launay et al., 2022; Salembier et al., 2016). Assessing double-cropping impacts requires better knowledge of pest and weed management in the medium term (Justes, 2017) for the most utilized and promising crop rotations.	5	Consideration of AD common cover crops effects in the cropping systems

Soil biodiversity	Piutti et al. (2022) showed various effects, in mean more neutral or positive. But experiments are often in short-term and not in vivo. More knowledge is needed (Piutti et al., 2022; Sadet-Bourgeteau et al., 2020).	6	Investigation of long-term effects in different farming systems
Landscape biodiversity	The consequences of AD cover crops on biodiversity depend on the cover crop species used (Von Cossel et al., 2019) and on the landscape transformation that could occur (Appel et al., 2016; Herrmann, 2013) (few scientific studies on this matter in France)	7	Structural transformation at the level of the landscape
Water use	Competition on water use for biomass production is confirmed in the literature, particularly in the context of climate change (Jiménez Cisneros et al., 2014)	9	Quantification of the impacts of water limitations on cover crop production
Nitrogen management at the landscape level	Hoang et al. (2020) and Skenhall et al. (2013) show an efficient use of nitrogen and nitrogen autonomy require consideration of land nitrogen management issues	4	Nitrogen issues at the level of the landscape

Tableau 5/Table 5 : What the literature says on agro-environmental issues of biogas development and what issues should be more considered in the futures studies.

The issues of limiting carbon emissions and increasing carbon storage are well-identified in the corpus, in line with a wide literature. Both of these issues are sustainability issues shared between the energy and agricultural sectors (see Tableau 5/Table 5, rows 2-3) so have been subject to expert analyses. Conversely, some issues that are less developed in our corpus are considered quite important in the literature. For example, the literature highlights that nitrate leaching, nitrogen loss through volatilization, or NO₂ production are issues that can vary widely with local practices and pedoclimatic conditions. Few of the studies analyzed here consider these issues in a systematic manner that allow discussing the potential trade-offs with other issues (rows 4-6). Soil biodiversity (discussed in six studies) is a key issue for the future of soil fertility, but there is still, to date, insufficient knowledge on this topic (row 8). Concerning pesticide use (row 7) and landscape biodiversity (row 9), systemic effects at the level of the farm and of the landscape have to be carefully considered, as AD introduces specific cover crops and can transform cropping systems. Efficient use of nitrogen also requires more consideration at the landscape level (row 11). Finally, the increasing role of biomass use in many Future studies in Europe implies the need to better investigate the feasibility of the hypothesis on water use.

We can see here that some agri-environmental impacts of AD development appear when viewed through a systemic lens, at the level of the technical systems, the farm and the region. Our results invite us to think that the agricultural system's vision in these Futures studies limits the discussion and explanation of AD's future sustainability issues.

2 The normative rhetoric concerning changes in practices comes up against the diversity of the AD development contexts

At the level of the farming systems, we have shown that the most ambitious studies for the development of biogas are normative concerning farmers' choices and the evolution of technical systems. In other words, they tend to (implicitly) assume that farmers *will* adopt this or that practice and thus AD will be virtuous. Ambitious projections can deliver a vision of a better future and help to mobilize actors towards it. However, in our corpus, this normativity conceals some of the consequences (benefits and risks) of future biogas development by disconnecting visions from the real dynamics of the farming systems; there is the implicit assumption that stakeholders will align their actions with standards set by agronomists. For example, many assume that farmers all share the same respect for good practices of digestate spreading, and are familiar with techniques related to the regular and sustainable production of biomass by cover-cropping. However, agronomic norms are not necessarily shared by farmers, and even if they are, some farmers may decide not to optimize their practices for reasons related to labor or the availability of equipment (Delecourt et al., 2019). For example, practices and routines vary from one agricultural sector to another, which can lead to differences in the adoption of AD techniques and standards. Markard et al. (2016) reported that in Germany, AD was first utilized on dairy farms with close ties to organic farming, "*where good agricultural practice was strongly connected to the use of natural fertilizers*". The exchange of knowledge and shared common values such as peasant autonomy contributed to the implementation of good practices. At the time, biogas was seen as a technology for sustainable agriculture. Its development in other farming sectors, at the beginning of the 2000s, occurred in a renewed economic context: biogas was considered a new source of income for farmers. Starting from 2007, it represented an investment for farmers for which "*plants must be optimized in terms of energy-output; farm routines should be adapted to technology needs*" (Markard et al., 2016). In France, Grouiez et al., (2020) described how different farmers may adopt different income strategies concerning AD, with varying implications for the farming systems: cattle farmers' desires to limit operating costs (i.e. to internalize labor costs) often lead to productive specialization, while on cereal farms, farmers' desire for autonomy in AD supply may lead to further development of cover-cropping systems.

At the level of the region, scaling up dynamics can have feedback effects, like impacts on land lease prices for cropland, and crowding out of established agricultural production forms (Emmann et al., 2013). Scholars have shown that the German biogas policy adopted in 2012 led to structural changes in agriculture: new interactions took place between both small and large farms (depending on their capacity for investment in AD), and within farming systems (biogas as indirect subsidies for cattle production) (Appel et al., 2016) and cropping systems at the level of the region have deeply evolved (maizification, grasslands decrease) (Britz & Delzeit, 2013; Lüker-Jans et al., 2017).

The question of whose system counts is closely related to the definition of what counts as a transition to sustainability (Smith & Stirling, 2008). The system under consideration is defined by its boundaries, its structure and how it functions. Such a definition in transition politics is not only a "*technical matter of analysis but a political, constructed and potentially contested exercise in problem formulation*" (Shove & Walker, 2007). We show that the choice of criteria to assess the relative worth of biogas pathways in agriculture, and the identification of the issues of their sustainability imply considering the farm and agrarian dynamics of agricultural systems. This is in line with the positive correlation

observed in the corpus (see Results §4) between a systemic approach to agricultural dynamics (from the technical to the agrarian system, including social and economic variables) and a fine-scale understanding of agri-environmental issues.

3 Agency in these futures studies

Our results discussed above are in line with an observation made in the futures studies literature on the difficulty of integrating agency - i.e. the capacity of individuals or organizations to act in a certain environment – and its consequence on the quality of the debate (Brown et al., 2000; Jørgensen et al., 2009; Wangel, 2011). For example, Wangel (2011) showed a lack of agency in academic backcasting studies for sustainable development, and van Sluisveld et al. (2020) points out the lack of consideration of social dynamics in energy scenarios, mainly based on techno-economic models.

In technological futures studies, agency is somehow deported to the technology itself, of which the users become the beneficiaries. « *Human agency becomes reduced to engaging in behaviour to ensure the speedy uptake of particular technological possibilities.* » (Brown et al., 2000). Discussing the future is then more about *when the technology will happen* than about *the options and modalities of its development*. This view is frequently found in visions of the future impact of some new technologies (Geels & Smith, 2000; Jørgensen et al., 2006), and we find it in some scenarios of the corpus. Civil society as a passive recipient of innovation is also one of the pathologies of the technoscientific promises defined by (Joly, 2010).

An explanation of this lack of agency, formulated by Wangel (2011) strongly echoes our results: “*the changes sought are regarded (...) as relying on the behaviour of economically and morally rational individuals, best influenced through information campaigns and economic incentives*” That is also the vision on what influences the farmer we found in Results paragraph 3.2. However, the literature on biogas quoted in paragraph 2 of this discussion, confirms research studies on human agency (Robinson, 1991; Wangel, 2011) and technology development (Deuten & Rip, 2017; Geels, 2002; Rip & Kemp, 1998) that little support these views.

Indeed, these visions of stakeholders and change are the underlying theory of how society operates now and could operate in the future, and are inputs of futures studies, even if often not formally revealed (Király et al., 2013).

4 Ways for improving futures studies at the crossroad of different sectors

The designers of Futures studies (or their sponsors) participate in the discussion on the future of AD, from different positions in the biogas sector and with different strategic aims. They cannot all be expected to adopt approaches that are based on a thorough understanding of agricultural dynamics. This is because they have their own expertise and beliefs, but also because they have their own preferences for biogas policies. However, as mentioned earlier, the literature on techno-scientific promises shows us that very ambitious promises can be part of an intervention strategy, with the aim of attracting the attention of funders and inscribing the issue on the political agenda. The achievements of specialists in future research, combined with the results of this thesis, make it possible to imagine different complementary paths for Futures studies on biogas to be more pluralistic and

nuanced, particularly concerning the perspective of change in agriculture. Here, we propose ways to flesh out this perspective by considering the dynamics of agricultural systems and the stakeholders' agency. The social shaping approach as developed by Jørgensen et al., (2009) is very inspirational.

Our first recommendation concerns the contour of the system on which the prospective approach is applied. In our corpus, this contour has considered overall agricultural practices. To test technical hypotheses and explore the feasibility of scenarios in dynamic social contexts, it is necessary in the design process to mobilize knowledge about the most concerned stakeholders i.e. AD and non-AD farmers, and analysts and practitioners of agricultural change. The co-shaping of technology and society can then be investigated by comparing the objectives pursued by the designers with the expectations and sociotechnical constraints of these actors.

A second recommendation to open up the future, is to involve the different kinds of stakeholders that will contribute to the future of biogas. Their selection should be based on a systematic stakeholder mapping and strategic analysis exercise (as in Wiebe et al., 2018) of the biogas sector. Particularly because the visions of the agricultural actors in France on the future of biogas are not all aligned (Chambre d'agriculture du Grand Est, 2019; Confédération paysanne, 2020; FNSEA, 2022), it is important to include 'quieter' voices which would identify tensions that could arise in the future, regarding what is desirable, and how to shape desirable outcomes.

Lastly, to integrate stakeholders' views in a co-integration and co-evolution of technical and social dynamics, we propose using the coupling of quantitative and qualitative scenarios as done more and more in socio-environmental scenarios (Alcamo, 2008; Kosow, 2016). In such studies, qualitative narratives on complex socio-environmental problems are associated with numerical data that support them.

CONCLUSION

We show here that the general vision of future biogas sustainability in France has been developed mainly through normative rhetoric on the evolution of agricultural systems. These visions rest on a limited analysis of agricultural system dynamics and of the choices farmers might make regarding such a transition. To nurture the debate on biogas policy and the future of biogas, there is a need to better consider in futures studies the dynamics of agricultural systems and the agency of stakeholders of change, and so the issues at the nexus of energy and food.

Futurists could widen the discussion on the future of biogas, producing futures studies that discuss qualitative and quantitative scenarios with a variety of agents and measures combined into processes of change. It will help to inform the political levers and safeguards both for motivating and supporting farmers in choosing virtuous trajectories, and for the entire biogas industry to work towards the implementation of the most sustainable pathways.

The difficulty of considering the cross-stakes of transitions and stakeholders' agency in AD development is not limited to the field of futures studies. More broadly, renewable energy policies need better understanding on their implementation in the diverse and complex agricultural worlds, without considering only the technological dimensions of the transitions.

Chapitre 3 : Les promesses dans la construction de la politique publique de la méthanisation agricole

INTRODUCTION

Nous nous intéressons dans ce chapitre aux politiques publiques qui ont été déployées en France pour favoriser le développement de la méthanisation agricole. Comme présenté en introduction, nous identifions dans le débat la présence dans le débat de 4 « promesses » associées au développement du biogaz²⁴ : la promesse d'un biogaz vecteur de transition énergétique (la promesse énergie renouvelable (ENR), dont nous verrons qu'elle prend des formes différentes au cours du temps), la promesse d'un biogaz vecteur de transition agricole (promesse Agroécologique), la promesse d'un biogaz brique d'une économie circulaire (Promesse Déchets) et la promesse d'un biogaz générateur d'un nouveau revenu agricole (Promesse Revenu). Le présent chapitre interroge la place des promesses, et particulièrement celle de la promesse Agroécologique, dans l'évolution des politiques de soutien à la méthanisation : qui les porte, comment circulent-elles, par qui sont-elles reprises, avec quel(s) effets sur l'évolution des instruments de politiques publiques ? Quelle est la promesse qui domine la formulation de la politique publique au sein de chaque période analysée ?

Pour y répondre, nous empruntons à Jobert & Fouilleux (Fouilleux, 2003; Fouilleux & Jobert, 2017; Jobert, 1992) leur cadre analytique. Ces derniers proposent d'expliquer le changement dans les politiques publiques comme le résultat d'interactions entre arènes politiques – où se prennent des décisions *via* des négociations entre acteurs défendant des intérêts – et une diversité de forums – où se cristallisent des idées sur la nature même du problème que doit traiter l'action publique, et sur ce qui est légitime ou illégitime, efficace ou inefficace. Les idées qui circulent dans ces forums peuvent ensuite être mobilisées par les acteurs des arènes politiques pour avancer dans leurs négociations.

Nous montrerons que si la promesse Agroécologique a été largement mobilisée au tournant des années 2016, elle n'a finalement joué qu'un rôle mineur dans l'évolution de la politique publique comparativement à la promesse ENR. Alors que la promesse Agroécologique fait l'objet d'intenses discussions dans le forum scientifique et des professionnels du biogaz, elle n'a qu'une incidence limitée sur les décisions qui se prennent dans l'arène des politiques énergétiques. La promesse Agroécologique s'exprime essentiellement à travers des instruments de politiques publiques qui encadrent les types d'intrants consommés pour la production d'énergie (prime aux effluents, CIVE, 15% de cultures énergétiques), pour dessiner un modèle « français » de méthanisation, distinct du modèle allemand car voulu plus durable agroenvironnementalement.

Le chapitre est structuré de la manière suivante. Dans les deux premières sections, nous présentons notre approche de recherche. Dans la troisième section Résultat, nous présentons dans une première sous-partie les grandes séquences de la politique publique et les forums et arènes qui interagissent dans son élaboration. Dans les sous-parties suivantes, nous présentons les dynamiques interne à chacune des deux grandes séquences. Dans une dernière section nous discutons de nos résultats.

²⁴ Comme précisé précédemment, la méthanisation désigne le procédé qui permet de produire du biogaz. Les deux termes « biogaz » et « méthanisation » sont employés alternativement, pour alléger le texte, mais se réfère à la même technologie.

CADRE THEORIQUE

Nous nous appuyons sur la définition d'une politique publique proposée par Zittoun : « *La politique publique est un agglomérat d'objectifs, de lois, de plans, de décisions, d'effets, de problèmes et d'autres éléments. (...) Définir des politiques publiques consiste donc à établir les liens et les rapports entre ces différents éléments.* » (Zittoun, 2009). Pour appréhender le processus de construction de la politique publique, nous empruntons à Fouilleux, (2000), Fouilleux & Jobert (2017) et Jobert (1992) leur cadre analytique. Dans leur perspective, la construction de la politique publique se fait en lien avec un double processus d'interprétation du monde social et de légitimation à proposer cette interprétation du social (Jobert, 1992; Muller, 2005). Ce processus d'interprétation est caractérisé par 3 dimensions²⁵ : (i) une dimension normative : la définition d'un problème, c'est-à-dire un écart entre la situation actuelle et une situation jugée désirable, ce qui implique en creux une définition normative de ce qui est désirable ; (ii) une dimension cognitive : l'explicitation des interprétations causales et hypothèses de travail pour résoudre ce problème ; (iii) une dimension instrumentale : les hypothèses de travail se trouvent opérationnalisées dans des programmes ou instruments d'action publique. Nous nous concentrerons dans ce chapitre, sur la définition du problème que la politique de la méthanisation vise à résoudre (étroitement liée à la promesse du biogaz à laquelle la politique s'adosse) et les instruments associés proposés. Nous avons introduit en chapitre 1, la notion de promesse, définie comme une construction narrative sur le rôle de la méthanisation pour répondre à un ou des problèmes publics, justifiant la mobilisation de ressources, d'acteurs et de mesures. La promesse caractérise donc la dimension normative, et pour partie cognitive, du problème de politique publique.

Pour appréhender ces dimensions de la construction de la politique publique, Jobert et Fouilleux proposent d'analyser le régime de débat c'est-à-dire les processus de production et d'émergence des idées qui animent le débat de politique publique. Cela les conduit à mettre l'accent sur les échanges discursifs à travers lesquels les acteurs parviennent à des accords sur des constats, et à la manière dont ces constats doivent, ou non, être suivis d'effets par la formulation et la mise en œuvre d'instruments de politique publiques. La notion de promesse, telle que nous la définissons, résume donc un constat partagé et stabilisé sur le rôle de la méthanisation, pour répondre à un problème public, et pointe vers des ressources à mobiliser pour que ce rôle soit pleinement rempli. Pour analyser le régime de débat, Jobert et Fouilleux proposent de distinguer deux types d'espace de circulation et de mobilisation des idées. Les premiers sont les forums. Ce sont « *des communautés d'acteurs plus ou moins institutionnalisées (...), régies par des dynamiques et des règles du jeu spécifiques et au sein desquelles ont lieu des débats touchant de près ou de loin à la politique publique que nous étudions.* » (Fouilleux, 2003). C'est au sein de ces forums qu'a lieu la « *production des idées, [leur] mobilisation et [leur] traduction en proposition de politiques publiques* » (Fouilleux & Jobert, 2017). Au sein de ces forums s'affrontent différentes interprétations des enjeux d'un secteur donné, et des solutions (instruments, outils d'évaluation) de politiques publiques nécessaires à aborder ces enjeux. Les promesses telles que nous les définissons, sont issues de la confrontation et de l'agrégation d'idées au sein de différents forums de la politique du biogaz. Ces forums contribuent en effet à produire et à mettre en concurrence des « recettes » pertinentes pour les politiques publiques. L'activité des forums est encadrée par les missions et le cadre dans lequel les institutions et/ou acteurs concernés peuvent opérer cette exploration. Fouilleux & Jobert, (2017) distinguent 3 grandes catégories de forums :

²⁵ Jobert (1992) parle à cet égard de "référentiel de politique publique". Nous ne mobilisons pas directement ce concept car nous centrons notre analyse sur le régime de débat, sans développer les 3 dimensions du référentiel.

- Les forums scientifiques sont les lieux de production des connaissances académiques. Les paradigmes scientifiques de ce forum informent les élites administratives et les experts, et sont à la base des instruments de mesure et des référentiels d'évaluation considérés comme pertinents pour les politiques publiques.
- Les forums professionnels rassemblent des acteurs par branche professionnelle ou thématique. Ce ne sont pas forcément des entités homogènes : par exemple le forum des professionnels du biogaz, rassemblent des acteurs qui ne vont pas partager une même vision du biogaz, de mêmes intérêts ou enjeux. Les controverses au sein de ce forum « *contribuent à la construction des acteurs collectifs qui s'affrontent dans les arènes ou impulsent des mobilisations collectives dans l'espace public* » (Fouilleux & Jobert, 2017).
- Les forums des politiques publiques sont les lieux où vont être mobilisés les savoirs afin d'élaborer les argumentaires pour proposer des solutions de politiques publiques. Il se situent en amonts des négociations politiques qui ont lieu dans les arènes. Ce sont en quelque sorte des espaces intermédiaires de transaction entre la science et le pouvoir (Fouilleux & Jobert, 2017; Stone, 2013) mais ils sont aussi le lieu d'échange entre professionnels et société civile. Les outils d'évaluation des politiques publiques et des instruments de politique publique y sont construits dans le but de recommandations aux décideurs.

Nous saisissons empiriquement ces forums à travers les caractéristiques suivantes : acteurs, règles de discussion, relations aux autres forums et aux arènes. Ces forums alimentent en idées cet autre espace de débat que constituent les arènes. Une arène est un espace où sont conduites les négociations et les décisions orientant directement les politiques publiques. Les compromis des politiques publiques y sont actualisés. Ainsi les promesses émergent, circulent et évoluent dans les forums et arènes de la politique du biogaz.

Ce cadre analytique invite donc à analyser les configurations de ce débat à travers l'analyse de l'organisation et de l'articulation entre les espaces de débat que sont les « forums » et les « arènes » (Fouilleux & Jobert, 2017). Fouilleux & Jobert (2017) insistent sur le fait que le temps des idées et des paradigmes scientifiques n'est pas celui de la construction des référentiels des politiques publiques ou de la renégociation des politiques dans les arènes. Ils distinguent ainsi le temps long de débat dans les forums, et le temps plus court de la décision politique dans les arènes.

Un régime de débat de politique publique correspond ainsi à une articulation stabilisée entre forums et arènes : c'est l'« *ensemble spécifique de mécanismes, d'institutions et d'acteurs contribuant à la production et à la pérennisation du référentiel, incluant des processus de structuration des arènes et de contrôle des forums (sélection des participants, ressources allouées, définition des thématiques légitimes, publicité accordée aux débats)* » (Fouilleux & Jobert, 2017). Dans ce chapitre, l'analyse du régime de débat de la politique de biogaz entre 2002 et 2020 nous permet d'identifier des ruptures dans les dynamiques discursives de cette politique. Ces ruptures se matérialisent dans des changements (i) dans la construction du problème, avec par exemple un renouvellement/ une évolution de la définition du problème à résoudre par la politique (Rayner, 2009), et (ii) dans l'évolution des mesures de politiques publiques qui sont proposées pour le prendre en charge. Nous interrogerons ainsi le rôle de la circulation des différentes promesses du biogaz dans ces évolutions, avec une attention particulière à la place de la promesse agroécologique, relativement aux autres promesses.

MATERIEL ET METHODE

Nous nous appuyons sur les données de 14 entretiens menés en majorité par l'autrice (cf. Tableau 6) ainsi que sur des situations d'observations participantes²⁶ (Tableau 7) et de la littérature grise (Tableau 8). Les entretiens ont été retranscrits par l'autrice ou par une prestataire (cf. Tableau 42 en Annexe pour plus de détails). Nous mobilisons également dans ce chapitre les données de deux entretiens menés lors de l'analyse du chapitre 5²⁷.

Catégorie d'acteurs	Nombre d'entretiens	Media	Situation de conduite de l'entretien
Syndicat agricole	1	A distance	Autrice
Universitaire	1	En présence	Autrice
Professionnel du gaz (industries, interprofession)	4	3 en présence et 1 à distance	3 par l'autrice + 1 par un chercheur
Agents des Ministères	3	En présence	2 par l'autrice + 1 partiellement par l'autrice dans le cadre d'un projet avec des étudiants
Banque publique	1	En présence	2 partiellement par l'autrice dans le cadre d'un projet avec des étudiants
Acteur associatif du secteur de l'environnement (ONG)	2	En présence	1 par l'autrice + 1 conduit avec P.-M. Aubert
Association technique clef du développement de la filière	2	Présence	Autrice

Tableau 6 : Personnes enquêtées et modalités d'enquêtes. Ces entretiens correspondent à l'équivalent de 18 heures d'entretiens semi-directifs.

Contexte	Description de l'événement
Conférence de l'OFATE	La Conférence intitulée « Le biogaz dans l'économie circulaire » a eu lieu le 04 avril 2019. Elle a été organisée par l'Office franco-allemand pour la transition énergétique.
Atelier sur le Digestat coorganisé par WWF et GRDF	Le cycle d'ateliers « Développement du biométhane : quels enjeux pour une agriculture durable ? » organisé par le WWF France et GRDF a été initié en décembre 2018. Son ambition était de définir, sous l'angle agricole, le cadre de durabilité de la filière biométhane, les pratiques pour le respecter et les moyens nécessaires à leur déploiement et à leur généralisation. L'atelier s'intitule « Quelles conditions de durabilité du biométhane en France ? Le digestat ». Il a eu lieu le 08 avril 2019 et a réuni 20 participants hors GRDF et WWF. Huit intervenants appartenant aux 8

²⁶ Certaines observations ont été conduites lors du stage à l'IDDRI qui a précédé la thèse.

²⁷ Ces entretiens n'étaient pas centrés sur la construction de la politique du biogaz mais fournissent des données utiles à son analyse.

	organisations suivantes ont pris la parole : APCA, AAMF, ACE, IRSTEA, ARVALIS, INRA, AILE, ATEE Club Biogaz ²⁸ .
Atelier sur les CIVE coorganisé par WWF et GRDF	L'atelier s'intitulait « Les cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) : quels enjeux de durabilité et quelles bonnes pratiques ? ». Il a eu lieu le 25 juin 2019 et a réuni 18 participants hors GRDF et WWF. Six intervenants appartenant aux 8 organisations suivantes ont pris la parole : WWF, AAMF, ARVALIS, INRA, Solagro ²⁹ .
Atelier sur le « Passage à l'échelle » coorganisé par WWF et GRDF	L'atelier s'intitulait « Passage à l'échelle : quels enjeux ? ». Il a eu lieu le 3 octobre 2019 et a réuni 21 participants hors GRDF et WWF. Cinq intervenants appartenant aux organisations suivantes ont pris la parole : WWF, Club Biogaz, IDDRI ³⁰ , ACE.
Conférence de France nature environnement (FNE) sur le digestat	La conférence intitulée « Méthanisation et digestat – Enjeux et impacts du digestat sur les sols » a eu lieu le 28 mai 2019. Elle est organisée par France Nature Environnement (FNE).
Echanges entre l'IDDRI et GRDF dans le cadre du partenariat IDDRI-GRDF	5 réunions entre 2018 et 2022 (2018, 2020, 2020, 2021, 2021). Les données de deux réunions de 2018 et 2020 sont issues de notes détaillées mais l'autrice n'y a pas participé, elle a par contre participé aux 3 autres réunions.

Tableau 7 : Lieux d'observation participante³¹.

Titre et date	Auteur
Textes de lois, plans et programmes relatifs à la politique du biogaz (2002-2020) et aux politiques énergétiques et agricoles	Les sources sont précisées tout au long du texte
Briefs « Contexte » sur les thèmes Energie et Agriculture produits par le média presse en ligne Contexte, reçus entre juin 2019 et Décembre 2020	Média Contexte
Les douze rapports d'activité du Club biogaz de 2009 à 2021 Document « 15 ans du Club Biogaz - Histoire et implication dans le développement de la filière ». 2014.	ATEE, accessibles sur https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/rapports-annuels-dactivite

Tableau 8 : Littérature grise mobilisée dans l'analyse. Une partie des documents sont publics, et une partie est issue d'un abonnement presse à un média privé (le média Contexte) via l'IDDRI.

²⁸ APCA : Assemblée permanente des chambres d'agriculture ; AAMF : Association des agriculteurs méthaniseurs de France ; ACE : Agronomie Conseil Energie ; IRSTEA : L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture ; ARVALIS : Institut du végétal ; INRA : Institut national de la recherche agronomique (nouvellement INRAE) ; AILE : Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement ; ATEE : Association technique énergie environnement.

²⁹ Ibid.

³⁰ IDDRI : Institut du développement durable et des relations internationales. Pierre-Marie Aubert est intervenu pour présenter des premiers résultats du stage alors mené par l'autrice.

³¹ Certaines des observations participantes ont été réalisées avant que l'autrice commence sa thèse. Les observations avaient cependant fait l'objet d'enregistrement (OFATE) ou de prises de notes exhaustives (ateliers, conférence et réunions)

Légende : les documents les plus importants sont mentionnés dans le Tableau 8. D'autres documents de la littérature grise (compte-rendu de groupes de travail, articles de journaux etc.) ont également été analysés, ils sont cités dans le corps du texte et référencés dans la bibliographie.

RÉSULTATS

1 Présentation des grandes séquences de la politique de méthanisation agricole

Le cadre réglementaire de la politique du biogaz en France s'est construit ces vingt dernières années, à l'interface de différents secteurs. Nous identifions deux grandes séquences qui rythment la construction de la politique de la méthanisation, et ouvrent sur une troisième en devenir. La dynamique générale d'évolution de la politique du biogaz est représentée dans le schéma suivant (Figure 10). Le *Tableau 9* propose une présentation plus précise des caractéristiques de chaque séquence.

Pour décrire la dynamique de construction de la politique publique, nous distinguons dans la suite du chapitre, cinq forums et une arène, que nous décrivons une première fois ici :

- Le forum prospectif : il est constitué majoritairement d'acteurs qui travaillent sur la décarbonation de l'énergie, mais aussi de WWF³², Solagro et d'acteurs académiques. Ce forum produit des prospectives sur le futur du biogaz. Il a joué un rôle principalement entre les années 2010 et 2018, en légitimant, dans le forum des politiques publiques des ENR, la promesse ENR du biogaz. Il est caractérisé par la convergence de scénarios prospectifs d'acteur du secteur de « l'environnement » (Negawatt, Solagro, l'ADEME) et de professionnels du gaz.
- Le forum scientifique : il rassemble l'ensemble des acteurs académiques qui produisent de la connaissance sur la méthanisation. Il est historiquement porté sur l'analyse du procédé industriel de méthanisation, sur les effets en station expérimentale du digestat et sur l'évaluation du bilan carbone du biogaz. International, ce forum est en France composé principalement d'acteurs de l'INRAE (INRA et ancien IRSTEA). GRDF finance ces dernières années des travaux de ce forum, pour accroître les connaissances sur la durabilité du biogaz en agriculture. Les acteurs de ce forum interagissent fortement avec les acteurs des forums des professionnels du biogaz et des professionnels agricoles, qui s'intéressent aux enjeux agricoles de la méthanisation. Cette interaction forte conduit à des événements scientifiques souvent mixtes entre acteurs académiques et professionnels du biogaz, où des sujets scientifiques très variés sont abordés, à l'interface entre les thématiques énergie, agronomie, environnement et déchets.
- Le forum des professionnels du biogaz : il a pris différentes formes au cours du temps. Entre 2002 et 2009 on peut assimiler ce forum au Club biogaz de l'Association technique énergie environnement (ATEE), association qu'on peut qualifier « d'interprofession » de la filière. En 2009 la création du groupe de travail (GT) Injection apparaît institutionnaliser un forum des professionnels du biogaz, proche du forum des politiques publiques des ENR, et orienté sur l'injection. Les acteurs de la filière cogénération n'ont ainsi pas vraiment d'espace de débat

³² World wide fund for nature

officiel jusqu'à 2015. Le forum des professionnels du biogaz est remanié à la création du Comité national biogaz en 2015, où des groupes de travail (GT) sont créés qui peuvent être considérés comme différents espaces du forum professionnels du biogaz. Ce forum est hétérogène : il rassemble des acteurs des politiques énergétiques (acteurs du secteur gazier et des énergies renouvelables (GRDF, Syndicat des énergies renouvelables (SER), Association française du gaz (AFG), France gaz renouvelable (FGR)), plus récemment des acteurs « classiques » de l'énergie comme Total), des acteurs de la méthanisation agricole (Association des agriculteurs méthaniseurs de France (AAMF), FGR) et des acteurs du secteur des déchets. Les associations les plus actives de ce forum sont le SER, l'AAMF, AFG, et à partir de 2018, FGR. Ce forum des professionnels du gaz entretient des liens étroits avec le forum des politiques publiques des ENR, où les acteurs du forum des professionnels du gaz portent leurs idées.

- Le forum des politiques publiques des ENR : il correspond à l'espace de débat où sont produites et discutées les recettes de politiques publiques du biogaz. Ce forum est dominé par les acteurs de l'énergie, les acteurs agricoles étant minoritaires. La réflexion sur les politiques publiques est globalement orchestrée par la Direction générale de l'énergie et du Climat (DGEC), le Ministère de l'agriculture étant occasionnellement mobilisé sur des dispositifs agricoles. La Commission de régulation de l'énergie (CRE) est un acteur clef de ce forum au sens où ses avis sont déterminants dans l'élaboration des instruments de politiques publiques (outils tarifaires, arrêtés) de soutien aux ENR.
- Le forum des professionnels agricoles du biogaz : ce forum apparaît peu institutionnalisé, jusqu'à 2018 et la création de la Commission Thématique Inter-filières (CTI) FranceAgriMer. Ces membres sont les acteurs classiques des concertations en politiques agricoles (APCA³³, FNSEA³⁴, Coordination rurale, Confédération Paysanne), certaines associations environnementales et l'AAMF. Ils interagissent avec les services de l'administration en charge du travail sur la politique du biogaz. Les trois acteurs que sont l'APCA, l'AAMF et la FNSEA ont créés avec des professionnels du gaz l'association FGR en 2018 pour faire davantage porter leurs idées dans le forum des politiques publiques des ENR.
- L'arène des politiques énergétiques : elle est l'arène où sont sélectionnées les recettes de politiques publiques énergétiques du biogaz pour être ensuite traduites en mesures politiques « concrètes ».

Après une introduction à l'histoire du biogaz en France (2.), nous détaillons dans les trois sections qui suivent les évolutions réglementaires clefs de chaque séquence et présentons les dynamiques qui ont conduit à ces évolutions.

³³ APCA : Assemblée permanente des Chambres d'agriculture

³⁴ FNSEA Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles

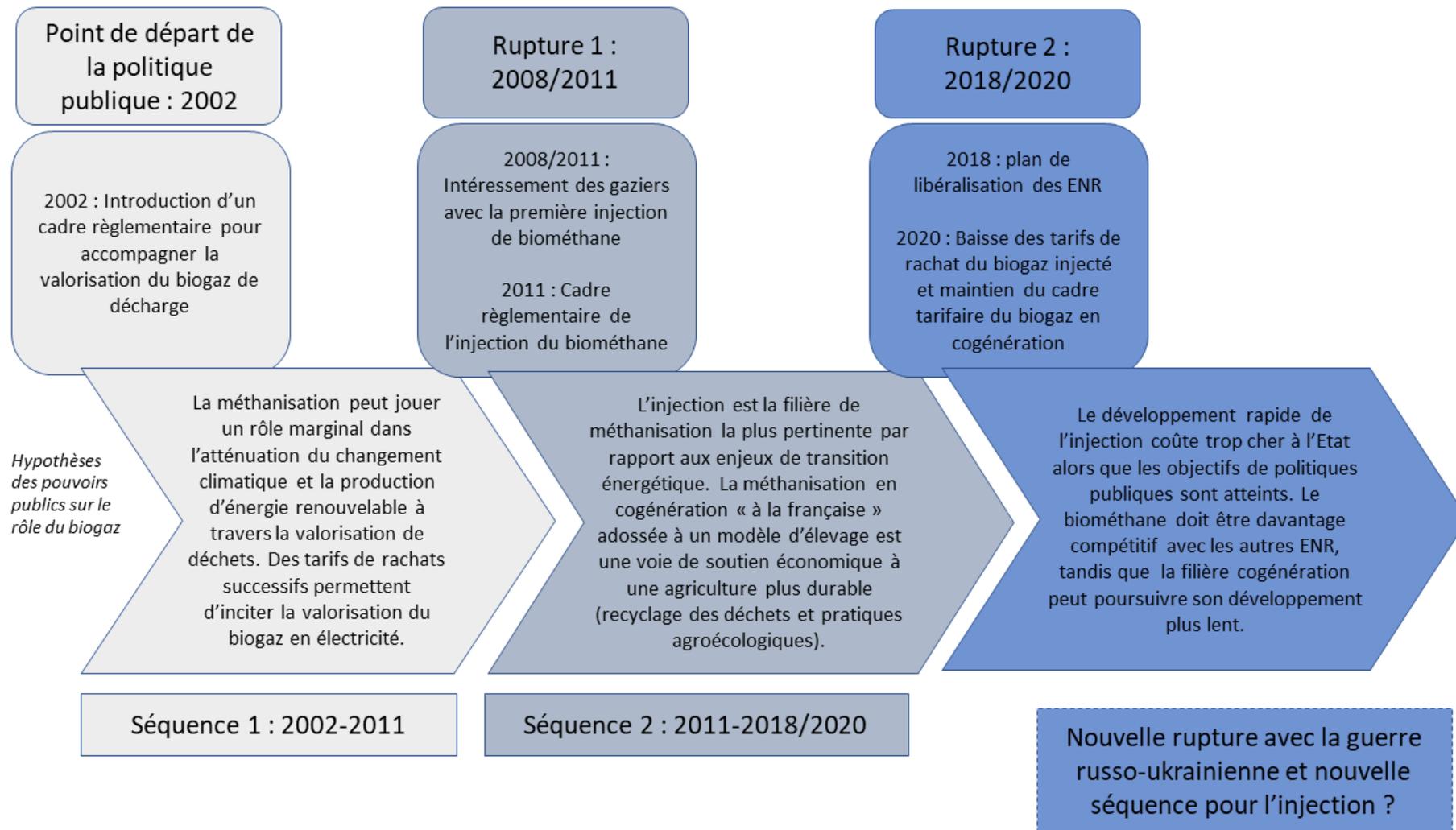


Figure 10 : Synthèse des séquences d'évolution de la politique du biogaz en France (Source : autrice).

	Séquence 1 : 2002 à 2011	Séquence 2 : 2011 à 2018/2020	Rupture 2018/2020	<i>Nouvelle rupture et nouvelle séquence ?</i>
Promesse(s) dominantes dans le forum des professionnels du biogaz	Promesse Déchet (2) + Promesse ENR (1)	Promesse ENR, notamment Promesse biométhane comme substitut au gaz fossile (1). Plus marginalement : Promesse Déchet (2) + Promesse Revenu agricole (3)	Promesse Agroécologique (4) en plus de la promesse ENR/biométhane (1) + Promesse Revenu agricole	<i>La promesse ENR/biométhane revient en force avec la guerre en Ukraine (1) ?</i>
Acteurs principaux qui font circuler la/les promesse(s) dominante(s) du forum	Club Biogaz, ADEME, Solagro, agriculteurs.	Syndicat des énergies renouvelables, Association France Gaz (ENGIE, GRDF), AAMF, France Gaz Renouvelable (FGR) à partir de 2018.	FGR, GRDF, Solagro, WWF + Oppositions de certaines ONG et syndicats agricoles, mais avec peu d'importance vu que la promesse Agroécologique n'est pas structurante.	<i>Gaziers (ENGIE, GRDF).</i>
Impact sur la décision publique	Limité.	Important : via la place qui leur est donné dans la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) et le Comité National Biogaz (CNB).	Faible : les acteurs énergétiques « classiques » les plus forts ne soutiennent pas la promesse Agroécologique (4). Quelques mesures sont adoptées pour améliorer le bilan agroenvironnemental du biogaz injecté.	<i>L'enjeu Agroécologique semble « disparaître » ?</i>
Définition du problème que la politique publique vise résoudre + Objectif(s) principal(aux) de la politique du biogaz	Définition : Les biodéchets ne sont pas assez valorisés et génèrent des émissions alors qu'ils pourraient être à la base d'une production énergétique. ⇒ Valoriser	Définition : 1/ La transition énergétique exige de développer les ENR et en particulier le gaz vert pour substituer au gaz fossile. 2/ Les effluents d'élevage doivent être mieux recyclés / valorisés.	Définition : Il faut optimiser le budget de la transition énergétique tout en continuant à soutenir les ENR. ⇒ Soutenir la filière plus modérément pour maîtriser les dépenses publiques et augmenter	<i>Définition : Il faut accroître l'Indépendance énergétique tout en favorisant la transition ⇒ ... ?</i>

	les biodéchets pour réduire les émissions de méthane et pour produire marginalement une ENR (cogénération).	⇒ Développer des ENR, en particulier un gaz « vert » en substitution au gaz fossile. Soutenir une économie circulaire des exploitations d'élevage.	la compétitivité du biométhane. Continuer à soutenir une méthanisation en cogénération en élevage.	
Instruments d'action publique	Tarifs de rachat de 2002 puis revus à la hausse en 2006.	Tarifs de rachat à la hausse + soutien à l'investissement + une programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ambitieuse.	Des objectifs de la PPE et un tarif de rachat revus à la baisse. Une prime aux effluents est introduite pour la filière injection.	<i>Cadre en évolution : le plan européen REPowerEU (2022) a annoncé un objectif de production de 350 TWh³⁵ à horizon 2030.</i>

Tableau 9 : Description des séquences de la politique du biogaz : les éléments clefs des dynamiques discursives (idées, acteurs qui les portent) sont présentées, en regard des évolutions de la politique publique (objectifs, instruments).

³⁵ TWh : térawattheure (unité usuelle pour qualifier une capacité de production d'énergie par unité de temps)

2 Brève histoire de la méthanisation dans la seconde moitié du XXe siècle en France : ébauche d'une politique publique

Emergente dans les années 1940, la méthanisation se développe à bas bruit dans la seconde moitié du 20^e siècle en France. Elle est mise en œuvre ponctuellement par des acteurs du monde agricole ou adossée à des stations d'épuration. Le biogaz est à l'époque peu compétitif face au fuel bon marché et ne s'inscrit pas dans la politique énergétique d'après-guerre qui s'oriente vers la construction de grands monopoles industriels nationaux. Les chocs pétroliers de 1973 et 1979 confèrent un regain d'intérêt aux énergies renouvelables en général (Evrard, 2013) notamment car elles sont gage d'une maîtrise de l'énergie accrue. En 1982, l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME) est créée pour travailler sur ces enjeux. Elle résulte de la fusion de plusieurs organismes préexistants dont l'Agence pour les économies d'énergie (AEE) et le Commissariat à l'énergie solaire (COMES). L'AFME dispose d'une enveloppe budgétaire³⁶ pour soutenir la recherche et accompagner le développement de projets de méthanisation. La filière méthanisation connaît ainsi, dans la suite du second choc pétrolier, une forte phase de développement. Le biogaz est alors consommé sur son lieu de production, il n'y a pas encore de dispositif qui permette aux producteurs de vendre leur énergie sur un marché. Les dispositifs publics d'accompagnement et les programmes de recherche, menés par l'AFME, sont orientés sur le soutien à une production d'énergie. A cette époque et depuis le plan Messmer (1974) de développement de l'énergie nucléaire, ce sont les mouvements écologistes qui s'opposent à l'électricité nucléaire et défendent ce type d'alternatives locales de production d'énergie à partir de biomasse. Par exemple, dans les années 1980, l'association Solagro³⁷ s'intéresse à la méthanisation, en lien avec des acteurs agricoles qui ont une installation de méthanisation, comme Pierre Labeyrie.

Mais dans la suite des années 1980, avec le développement du nucléaire civil et le contre-choc pétrolier, la méthanisation en tant que technologie de production d'énergie est disqualifiée dans l'arène des politiques énergétiques. Tout d'abord le gouvernement socialiste de 1981 revient sur ses engagements critiques du nucléaire et maintient le cap du programme de développement français (Evrard, 2013). Les grands acteurs énergétiques comme EDF porte l'électricité nucléaire comme voie d'autonomisation énergétique et disqualifient les alternatives des énergies renouvelables, qui ne s'inscrivent pas dans les infrastructures industrielles centralisées. La méthanisation est particulièrement dévalorisée par rapport à d'autres énergies renouvelables comme celle solaire, considérée comme plus noble. La France diminue à cette époque son soutien à la méthanisation. L'expertise de l'AFME sur la méthanisation est peu reconnue, dans un contexte de production énergétique basée sur des économies d'échelle et la performance de grands appareils industriels, mais le maintien de cette agence est parfois considéré comme une concession aux acteurs critiques du nucléaire qui avaient soutenu les socialistes à la campagne présidentielle de 1981 (Evrard, 2013). Le contre-choc pétrolier porte un coup supplémentaire à l'activité de l'AFME, donc à la recherche sur la maîtrise de l'énergie et les énergies alternatives. A la fin des années 1980, les dispositifs de soutien de l'AFME, à la baisse, ne parviennent pas à structurer une filière qui doit surmonter plusieurs problèmes : des problèmes techniques de fonctionnement des unités et un problème de rentabilité économique

³⁶ En 1884 le budget de l'AFME s'élève à 3500 millions de francs, il est réduit à 400 millions en 1993 (Evrard, 2013 p 198)

³⁷ Solagro est une Association créée en 1981 dans l'optique de travailler conjointement « Energies renouvelables » et « Agriculture ».

(Académie des technologies, 2016; Groupement interinstituts pour la valorisation des déjections animales, 1986). A cette époque, l'entreprise Gaz de France (GDF) critique, sur le plan technique, les tentatives de raccordement du biogaz produit au réseau de gaz, considérant cette option comme impossible.

Dans les années 1980, la promesse Déchet de la méthanisation apparaît à très bas-bruit selon Bailly (2014), avec l'idée que la méthanisation pourrait jouer un rôle dans le traitement des effluents d'élevage et dans une meilleure fertilisation. A travers la méthanisation des effluents d'élevage, la méthanisation permettrait de limiter les pollutions des effluents et de recycler l'azote des effluents. Cette promesse se développe notamment dans le forum scientifique où des programmes de recherche sont initiés sur l'efficacité fertilisante du digestat. Au côté de cette promesse Déchet, une promesse ENR est aussi évoquée par les porteurs de projet de méthanisation selon un enquête de la Commission européenne de 1987 (Bailly, 2014). Cette promesse ENR consiste en la production d'une énergie renouvelable sur les fermes. Ces promesses ne sont cependant pas portées jusqu'aux espaces de débat des politiques énergétiques. La méthanisation est donc à la fin des années 1980 redevenue une solution de production d'énergie très marginale dans le référentiel des politiques publiques énergétiques.

La montée de l'enjeu climatique dans les années 1990 et la fixation d'objectifs quantitatifs communautaires de réduction de gaz à effet de serre (GES) (Commission européenne, 1996; UNFCCC, 1998) poussent les états européens à réfléchir à leur bilan GES. En France, le gouvernement soutient la libéralisation du marché de l'électricité et du gaz, pour vendre son électricité nucléaire (Evrard, 2013). Le géant français EDF, sensible à la montée en puissances des acteurs des ENR et également intéressé par la libéralisation du marché, opère une réorientation stratégique de sa politique ENR en 1992 : l'entreprise alloue un budget de 50 millions de franc pour réfléchir à sa politique sur le sujet et commence à se rapprocher de l'ADEME, nouvelle AFME, qui « cherche » à se repositionner dans les espaces de débat des politiques énergétiques (Evrard, 2013). Les phénomènes de pluies acides, qui questionnent l'usage du charbon, contribuent également à rouvrir l'agenda des ENR mais il faudra attendre le début des années 2000 pour une évolution des dispositifs publics aptes à initier un développement des ENR. La méthanisation est encore à cette époque une ENR totalement marginalisée par rapport à l'éolien ou à l'énergie solaire.

En 1991, l'AFME a fusionné avec l'Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED) et l'Agence pour la qualité de l'air (AQA), pour former l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Cette fusion marque l'ajout à sa mission historique sur les énergies renouvelables, d'une mission davantage orientée sur la gestion des déchets. Dans la ligne de la montée de l'enjeu climatique au niveau européen, pour réduire les émissions GES issues des déchets, l'arrêté ministériel du 9 septembre 1997 impose aux centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, de capter et d'acheminer le biogaz émis par la fermentation des matières organiques contenues dans les déchets. Cet arrêté propose d'acheminer ce biogaz « *de préférence vers une installation de valorisation, ou à défaut, vers une installation de destruction par combustion*³⁸ » (Académie des technologies, 2016). Cette valorisation des gaz de décharge pose les prémisses de la promesse ENR de la méthanisation, sous sa forme « Climat », au sens où avant de permettre la production d'une ENR

³⁸ C'est-à-dire une torchère

pour la décarbonation de l'énergie, la méthanisation pourra permettre de réduire les émissions GES, et du même coup de valoriser des déchets (promesse Déchets). On distinguera, dans la suite du chapitre, la promesse ENR en deux sous-promesses : la promesse ENR « Climat », où la récupération du gaz par méthanisation est une solution pour réduire les émissions GES, et la promesse ENR « Biométhane » où la méthanisation en injection est soutenue préférentiellement pour la production de biométhane. La promesse ENR continue à désigner l'idée générale d'une méthanisation solution pour produire de l'énergie renouvelable décarbonée (électricité ou biométhane).

Les acteurs du déchet travaillent ainsi à développer des processus de récupération de gaz de décharge, dont la méthanisation de déchets fait partie³⁹. Dans les années 1990, l'expertise sur le biogaz de Solagro se développe, elle porte principalement sur le biogaz issu de déchets. Les enjeux techniques de la production du biogaz de décharge sont beaucoup plus simples que ceux de la production d'un biogaz agricole par méthanisation, mais le coût de sa valorisation la limite. Les acteurs français des politiques publiques montrent cependant encore peu d'intérêt pour la méthanisation, alors que le sujet est davantage d'actualité dans d'autres pays comme l'Allemagne ou le Danemark. En 1999, des acteurs du déchet et de l'énergie décident toutefois de se structurer pour avoir un espace de réflexion et de défense des intérêts du secteur « biogaz » (qui comprend l'intérêt pour la méthanisation mais ne s'y réduit pas). La création par ces acteurs du « Club Biogaz », au sein de l'Association Technique pour les Economies d'Énergie (ATEE⁴⁰) va ouvrir la première séquence de construction de la politique de la méthanisation.

3 Séquence 1 : Un soutien règlementaire qui se construit entre promesse Déchets et promesse ENR (2002-2011)

Durant cette séquence, la promesse ENR Climat va être remplacée par la promesse ENR Biométhane : l'intérêt montant de la méthanisation va être liée à la production d'énergie renouvelable et particulièrement d'un gaz renouvelable, le biométhane.

3.1 Point de départ en 2002 - Un soutien au raccordement des méthaniseurs au réseau pour produire de l'électricité à partir de biogaz de décharge

L'ATEE est une association qui a été créée en 1978 entre autres par trois responsables issus du monde industriel (ELF⁴¹, Rhône Poulenc, UGINE Kuhlman), avec le soutien de l'Agence pour les économies d'énergie (AEE⁴²) et du Ministère de l'Industrie. Axée sur des thématiques proches de celles de l'AFME (économie d'énergie, efficacité énergétique et traitement des déchets), elle a une proximité plus forte au monde industriel. Le « Club biogaz » est créé au sein de l'ATEE en 1999, à l'initiative d'acteurs du « Club Cogénération » de l'ATEE.

³⁹ Le gaz de décharge est le gaz émis par les biodéchets des décharges. Le biogaz peut être récupéré au niveau des décharges, et valorisé ou brûlé avec des torchères. Mais les biodéchets peuvent aussi être mobilisés pour être méthanisés. En cela, la méthanisation est une manière de récupérer et valoriser le méthane issu des déchets.

⁴⁰ Le nom de l'association a évolué en conservant le même acronyme : à sa création elle était l'Association Technique pour les Economies d'Énergie, elle est aujourd'hui l'Association technique énergie environnement.

⁴¹ Société d'extraction pétrolière rachetée dans les années 1990 par Total.

⁴² L'AEE fusionne avec le Commissariat à l'énergie solaire (COMES), le Comité Géothermie, la Mission nationale pour la valorisation de la chaleur et le Service économie de matières premières du ministère de l'Industrie, pour former l'AFME en 1982. (Archives nationales, 1994)

« Délégué Général du Club Cogénération, je recevais des demandes de soutiens et d'informations de structures s'intéressant aux gaz non conventionnels (essentiellement biogaz et grisou, mais aussi hydrogène, gazogène...). Manifestement aucune structure fédérative n'existait sur ces sujets alors que le sujet biogaz était d'actualité à l'étranger et plus particulièrement en Allemagne ». (ATEE, 2014)

Le Club Biogaz de l'ATEE devient l'interprofession des acteurs encore peu nombreux du biogaz, la méthanisation étant une des technologies d'intérêts de ce Club⁴³. Ce club constitue les prémises du forum des professionnels du biogaz. A cette même époque, les Etats européens sont pressés par la commission européenne d'adopter des objectifs ambitieux dans le cadre de son programme de lutte contre le changement climatique. Le gouvernement, en opposition avec la commission sur la question de l'ouverture des marchés du gaz et de l'électricité, décide de se positionner plus favorablement sur le soutien aux ENR (Evrard, 2013). Sous la pression des dynamiques institutionnelles européennes, non sans conflits entre acteurs de l'énergie, les mécanismes des « tarifs de rachat⁴⁴ » pour les ENR électriques (éolien et photovoltaïque), sont introduits en 2001 pour soutenir leur production (Evrard, 2014). Dans ce même mouvement, le biogaz bénéficie de ce mécanisme de tarif de rachat. Le forum des professionnels du biogaz semble alors peu visible : il est essentiellement composé des membres du Club Biogaz qui s'intéressent à la méthanisation mais aussi au potentiel d'autres gaz alternatifs. La technologie de méthanisation est elle-même très peu développée, les installations des années 1980 ayant disparues dans les années 1990. Mais dans ce contexte institutionnel favorable, le travail du Club Biogaz ainsi que de porteurs de projets agricoles auprès des pouvoirs publics, conduit à l'instauration en 2002 d'un mécanisme de tarif de rachat qui doit permettre la valorisation énergétique de ce biogaz, autrement que par combustion via une torchère (Arrêté du 16 avril 2002 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par méthanisation, 2002). Ce tarif (voir ligne 2, Tableau 10) doit favoriser la valorisation du biogaz récupéré par méthanisation en permettant l'injection dans le réseau électrique de l'électricité issue du biogaz (Tritz, 2013). Ce tarif, dimensionné pour la méthanisation de déchets, est considéré à l'époque, par un expert de Solagro, comme « peu incitatif » pour la méthanisation agricole. Cet instrument de politiques publiques soutient la promesse Déchets en faisant l'hypothèse que le soutien à la production d'énergie à partir de ces déchets favorisera leur valorisation et limitera les émissions GES (promesse ENR Climat). Cette promesse Déchet apparaît cependant très marginale dans l'arène des politiques énergétiques car elle n'y est pas portée par les acteurs dominants du secteur.

3.2 Un cadre réglementaire qui évolue, soutenu par la promesse ENR, vers un soutien à la méthanisation agricole (2002-2011)

L'injection dans le réseau d'électricité issue de biogaz agricole est encore très peu développée en 2002 (Figure 11). La fixation d'objectifs et les plans successifs pour son développement entre 2000 et 2009 semblent s'inscrire dans une dynamique institutionnelle européenne qui appelle à prendre en compte les enjeux climatiques et de transition énergétique. La France met ainsi progressivement le droit

⁴³ Si cette thèse s'intéresse à la technologie de méthanisation pour produire du biogaz, d'autres procédés moins mûres, qui impliquent des réactions et des intrants différents, permettent également de produire du méthane comme la méthanation ou la pyrogazéification.

⁴⁴ Le système de tarifs de rachat : les pouvoirs publics imposent aux distributeurs l'achat de l'électricité produite par le renouvelable à un prix qu'ils fixent eux-mêmes sur une durée déterminée. Les quantités produites se décident alors sur le marché (Evrard 2013).

européen en œuvre au niveau national pour développer une politique énergétique qui valorise davantage la biomasse.

Le plan Climat français de 2004 s'inscrit dans la mise en œuvre du Protocole de Kyoto (Ministère de l'écologie, du développement durable, 2004) et dans la ligne de la Directive 2001/77/CE, relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelable sur le marché intérieur de l'électricité. Des soutiens accrus au développement de la méthanisation sont annoncés dans le Plan Climat 2004. Ils s'inscrivent dans la promesse ENR Climat déjà décrite. En agriculture, la promesse de recyclage des nutriments (promesse Déchets) s'adosse à cette promesse ENR Climat avec l'objectif de réduire les émissions GES des effluents d'élevage : « *la voie anaérobique qui réduit [les] émissions [des effluents d'élevage], permet une valorisation énergétique du biogaz, et un gain d'azote organique autorisant une moindre utilisation d'engrais minéraux* » (Plan Climat, p55, Ministère de l'écologie, du développement durable, 2004). Ce plan vise, via des aides ADEME, à poursuivre la promotion de la valorisation du biogaz (budget annoncé d'1 million d'€/an), à diminuer le biogaz de décharge (budget annoncé de 0,1m€/an) et à soutenir le biogaz issu de déjections animales ou autres sous-produits agricoles et agroalimentaires (budget annoncé de 2m€ pour l'ADEME, le Ministère de l'agriculture et l'INRA) (Ministère de l'écologie, du développement durable, 2004). Le gouvernement lance ainsi un appel d'offre pour l'installation de 50MW de puissance installée, pour produire du biogaz. On peut considérer cet appel d'offre comme ambitieux en 2004, puisqu'à titre de comparaison, sur l'année 2018, 26MW de puissance installée ont été raccordés au réseau électrique, alors que la filière s'est bien développée. En 2005, le Plan d'action dans le domaine de la biomasse de l'Union européenne donne pour objectif de doubler entre 2003 et 2010 la part de biomasse dans la consommation énergétique de l'Union (Tritz, 2013). C'est dans ce contexte que l'arrêté de 2002 est abrogé par les arrêtés du 10 juillet 2006 qui revalorisent les tarifs de rachat en particulier pour les petites installations inférieures ou égales à 150kW de puissance, et valorisant des effluents d'élevage. Ces tarifs continuent à soutenir le biogaz de décharge et dessinent une préférence pour la méthanisation (cf. ligne 3 Tableau 10 : Evolutions des tarifs de rachat de l'énergie issue de la cogénération de biogaz ou de l'injection de biométhane). Dans le cadre réglementaire de la méthanisation agricole, une préférence est affirmée pour la méthanisation d'effluents d'élevage (ATEE, 2014; Bailly, 2014).

Nous n'avons pas réussi à recueillir de données précises sur les processus qui, dans les espaces de débat, ont conduit à la réévaluation du tarif de rachat en 2006. À cette époque, trois types d'acteurs sont actifs sur les territoires pour expérimenter et développer la méthanisation. Des agriculteurs porteurs de projets s'intéressent à cette technologie, comme l'illustre le projet Géotexia Mené en Bretagne (Yalçın-Riollet et al., 2014). La proximité de l'écosystème allemand de méthanisation favorise aussi l'intérêt pour ces projets dans l'Est de la France. Des communes soutiennent aussi des expérimentations dans le but de valoriser des déchets, produire du biocarburant et assainir la qualité de l'air (Bailly, 2014). Des associations locales en lien avec les mouvements écologistes anti-nucléaires, comme l'Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement (AILE) et Solagro s'intéressent à la méthanisation dans les territoires. AILE par exemple tisse des liens avec l'ADEME Pays de Loire et le conseil régional des Pays de la Loire pour réfléchir à un programme de soutien à la méthanisation (Chambre d'agriculture Bretagne & AILE, 2006). L'association écologiste NégaWatt en 2003 est aussi à l'initiative d'un « *Manifeste* » qui repose sur un scénario 2000-2050 où la méthanisation est proposée comme alternative au gaz naturel. Mais cette vision n'est pas partagée par les acteurs dominants du secteur énergétique (EDF et GDF Suez). GDF considère notamment que

des risques sanitaires seraient liés à l'injection du biogaz dans le réseau. Certaines alertes (Trehet, 2011) et controverses apparaissent aussi en agriculture, concernant l'inscription de la méthanisation dans l'activité agricole et ses effets agroenvironnementaux (Bailly, 2014). Mais il nous semble que ces dynamiques d'acteurs et d'idées sont éloignées des forums des professionnels agricoles ou des politiques publiques des ENR, où la méthanisation n'est pas encore considérée comme une solution intéressante à un problème public. De plus, le forum des professionnels du biogaz n'apparaît pas bien structuré car il rassemble des acteurs de différents secteurs (agricoles, déchets), éparpillés sur le territoire. C'est donc a priori sous l'effet des dynamiques institutionnelles européennes, et pour favoriser l'expérimentation, que l'Etat revalorise le tarif de rachat du biogaz en faveur de la méthanisation agricole. Une autre hypothèse serait que la politique du biogaz aurait évolué en lien avec la politique des déchets. La méthanisation est en effet portée par quelques acteurs comme solution alternative possible à la gestion des déchets lors du Grenelle de l'Environnement en 2007 (Boy et al., 2012).

Evolution de la production d'énergie à partir de biogaz

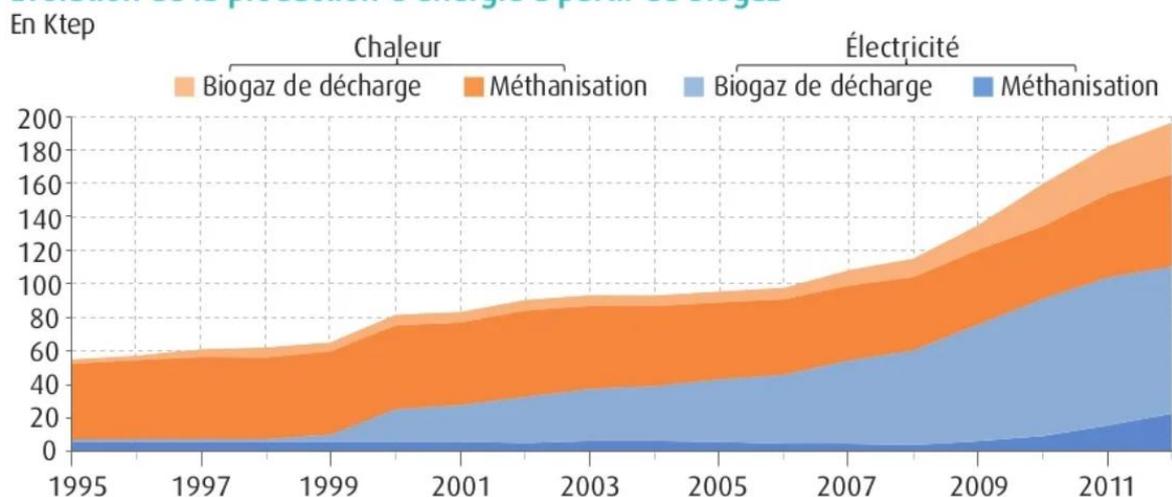


Figure 11 - Evolution de la production d'énergie (en ordonnée, en kilo-tonnes équivalent pétrole) à partir de biogaz.

Source : Figure issue de la présentation « Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2014 » (Le service de l'observation et des statistiques, 2014).

Le développement du biogaz agricole est davantage évoqué en France à la suite des rencontres politiques du Grenelle de l'Environnement⁴⁵, en 2007. Ces rencontres correspondent à une concertation sur l'environnement conduite au niveau national, dont la réalité des « produits de l'action publique » en termes de politiques énergétiques, ont par la suite été controversés (Boy et al., 2012). Dans les faits, lors du Grenelle, l'enjeu de la méthanisation est minoritaire dans les discussions et

⁴⁵ Pour faire suite au discours du Président de la République du 25 octobre 2007 et aux conclusions des tables rondes du Grenelle de l'environnement du 24, 25 et 26 octobre 2007, trente-trois chantiers opérationnels ont été lancés courant décembre, au nombre desquels de nombreux comités opérationnels, des groupes d'étude ou groupes ad hoc et des missions parlementaires. <https://www.vie-publique.fr/rapport/30032-grenelle-de-l-environnement-chantier-ndeg15-agriculture-ecologique-et>

négociations du Comité opérationnel⁴⁶ (COMOP) sur les Énergies renouvelables (Boy et al., 2012). Les énergies solaire et éolienne sont davantage considérées comme des solutions crédibles. L'enjeu de son développement apparaît donc faible et il semble que peu d'acteurs se soient exprimés sur le sujet, à part les acteurs historiques du biogaz tels que Solagro ou l'ADEME. Il n'y a ainsi pas d'objectif quantitatif fixé pour son développement. Mais la méthanisation est évoquée ponctuellement dans les COMOP Agriculture, Énergie renouvelables et Déchets – le développement de la méthanisation est d'ailleurs une résolution du COMOP 22 Déchets, considérée comme une voie alternative innovante potentielle à l'incinération. Cependant, c'est a priori le consensus plus large de soutien aux ENR dans le Grenelle (Boy et al., 2012) qui ouvre pour la filière encore marginale du biogaz, des perspectives de développement à travers deux plans et la Loi Grenelle II. Cependant, particulièrement en matière d'énergies renouvelables, « *le consensus laisse la place au conflit dès lors qu'on passe des objectifs aux instruments* » (Evrard, 2013 p226). Les acteurs soutien de la méthanisation étant minoritaires, on peut supposer que le soutien progressif à la méthanisation qui se construit, à la suite du Grenelle, découle d'une implication particulière de l'ADEME, ou d'un soutien plus général par le gouvernement à l'expérimentation de tout type d'ENR, dans un contexte européen où les enjeux climatiques gagnent de l'importance. En effet, la rédaction des lois Grenelle I et II s'inscrit tout particulièrement dans un contexte européen où les ambitions de lutte contre le changement climatique sont réaffirmées. La commission européenne a présenté, le 23 janvier 2008, son Plan climat contre le réchauffement climatique, « le paquet climat-énergie ». Ce paquet surnommé « 20-20-20 » propose à l'Union européenne de *réduire « d'au moins 20% les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2020 », de « porter d'ici à 2020 la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique de l'UE à 20% » et d'améliorer de 20% l'efficacité énergétique* ». La France doit traduire ce droit communautaire dans son droit national : elle reprend ces objectifs et les inscrit dans la loi Grenelle II (Boy et al., 2012).

Dans le Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables de 2009, les promesses ENR et Déchets sont reprises par le Ministère de l'écologie :

« Le biogaz s'inscrit dans la politique du Grenelle de l'environnement, que ce soit sous l'angle du développement des énergies renouvelables, du traitement et de la valorisation des déchets, ou de la réduction des émissions de gaz à effet de serre » (Ministère de l'écologie, du développement durable, 2010) - Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables.

Ce plan, adossé au plan de relance de l'économie prévoit 19 millions d'euros consacrés en partie à la méthanisation agricole (Tritz, 2013). Les méthaniseurs peuvent dès lors bénéficier d'une aide de 30 % à l'investissement (avec critères de plafonnement). Le Plan de Performance Énergétique des Exploitations agricoles (PPEa⁴⁷) (2009) lancé par le Ministre de l'agriculture et de la pêche le 3 février 2009 a pour objectif plus spécifique le soutien aux économies d'énergies et à la production d'énergie sur les exploitations agricoles. Il vise « *à accroître la maîtrise énergétique des exploitations afin d'atteindre un taux de 30 % d'exploitations agricoles à faible dépendance énergétique d'ici 2013* » et à soutenir le développement des énergies renouvelables en agriculture. En conséquence selon le document du Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables publié en 2010, 24 projets de méthanisation ont été financés dans les secteurs agroalimentaires et agricoles, pour un montant d'aide d'environ 6 millions d'euros (donc un tiers du budget prévu par le Ministère de l'agriculture) ; 82 unités de méthanisation (~20MW) ont été sélectionnés à l'issue de l'appel à projet du Ministère de

⁴⁶ Comité opérationnel où ont lieu les négociations par secteurs (Boy et al. 2012)

⁴⁷ Désigné dans les documents officiels par PPE nous choisissons l'acronyme PPEa afin de ne pas le confondre avec la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie.

l'agriculture (Ministère de l'écologie, du développement durable, 2010). Le Ministère de l'agriculture et l'ADEME sont les acteurs publics au cœur de la mise en œuvre du dispositif de soutien à la production de biogaz (Ministère de l'écologie, du développement durable, 2010).

Enfin la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010 (art. 92 codifié à l'article L. 446-3 du Code de l'énergie) ouvre juridiquement une nouvelle voie de valorisation du biogaz en permettant l'injection de biométhane dans le réseau gazier. En cela, elle initie en droit français la transposition de la directive européenne du 23 avril 2009 « EnRI » (2009/28/CE) qui précise à l'article 16 (Encadré 3) que les Etats doivent établir et assurer la publicité des conditions techniques et tarifaire d'injection des énergies renouvelables dans les réseaux de gaz et d'électricité, de sorte à ce qu'elles ne soient pas discriminées par rapport aux énergies fossiles. La loi Grenelle II assoit en effet les bases législatives d'un nouveau dispositif d'obligation d'achat qui doit être défini par voie réglementaire :

« - Sous réserve de la nécessité de préserver le bon fonctionnement des réseaux de transport et de distribution de gaz naturel, tout producteur de biogaz peut conclure avec un fournisseur de gaz naturel mentionné à l'article 5 un contrat de vente de biogaz produit sur le territoire national à des conditions déterminées suivant des modalités précisées par décret en Conseil d'Etat. Les surcoûts éventuels qui en résultent pour le fournisseur font l'objet d'une compensation. - Le ministre chargé de l'énergie désigne, par une procédure transparente précisée par décret en Conseil d'Etat, un acheteur en dernier recours tenu de conclure un contrat d'achat de biogaz avec tout producteur de biogaz qui en fait la demande » (LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, 2010)

Directive européenne 2009/28/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 avril 2009 – Extraits de l'article 16 :

- §7 – *« Les États membres veillent à ce que l'imputation des tarifs de transport et de distribution n'engendre aucune discrimination à l'égard de l'électricité [et du gaz] provenant de sources d'énergie renouvelable » ;*
- §9 : *« Le cas échéant, les États membres évaluent la nécessité d'étendre l'infrastructure de réseau de gaz existante afin de faciliter l'intégration du gaz provenant de sources d'énergie renouvelables »;*
- §10 *« Le cas échéant, les États membres font obligation aux gestionnaires de réseaux de transport et de distribution basés sur leur territoire de publier des règles techniques (...) en particulier des règles de connexion au réseau comportant des prescriptions en matière de qualité, d'odorisation et de pression du gaz. Les États membres peuvent également exiger des gestionnaires de réseaux de transport et de distribution de publier leurs tarifs de connexion afin de connecter des sources renouvelables de gaz, lesquels doivent se fonder sur des critères transparents et non discriminatoires. »*

Encadré 3 : Directive européenne 2009/28/CE du Parlement européen et du conseil du 23 avril 2009.

Légende : Cette directive détaille les obligations concernant l'accès au réseau de l'électricité et du gaz provenant de sources d'énergies renouvelables.

Ce dispositif d'obligation d'achat issu du droit européen est un élément clef qui va permettre par la suite le portage accru de la promesse ENR en soutien au biométhane.

On peut interpréter le soutien accru à la méthanisation agricole par rapport au biogaz de décharge (alors voie de production majoritaire de biogaz) comme une approche en termes de « potentiel énergétique » des politiques publiques (Bailly, 2014; Ministère de l'écologie, du développement durable, 2010). Dans une optique de développement des ENR, le gisement futur du biogaz ne réside pas dans la valorisation des biodéchets, source limitée qui doit être amenée à se réduire. Alors que les substrats issus des secteurs agricoles et agro-industriels sont encore peu mobilisés, l'agriculture est vue comme un gisement potentiel important pour réaliser la promesse ENR.

« La France, par l'importance de son gisement en substrats méthanisables (notamment pour le secteur agricole et l'industrie agroalimentaire) et compte tenu des développements de la technologie déjà réalisés, pourrait connaître un rythme de développement important et atteindre selon certaines estimations une production de biogaz de 1 à 2 Mtep⁴⁸ d'énergie primaire par an en 2020 (en méthaniseur) » (Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables, p90)

La méthanisation est également considérée lors de cette séquence 2000-2011, comme un outil potentiel de la politique du déchet, en alternative à l'incinération qui est alors contestée (Bailly, 2014; Boy et al., 2012). Mais l'emploi controversé du tri mécano-biologique sur ces unités et la remise en cause de certains projets de tri conduisent à l'amenuisement de cette promesse qui ne semble donc pas jouer un rôle dans l'évolution de la politique de la méthanisation agricole selon Bailly (2014).

Ces nouvelles orientations en matière de politique de la méthanisation apparaissent ainsi issues du portage de la promesse ENR dans le forum des politiques publiques des ENR. Nous n'avons pas pu démontrer la circulation de la promesse ENR du biogaz vers l'arène des politiques énergétiques mais nous suggérons que ce sont les dynamiques institutionnelles européennes et la construction de l'alternative de politique publique des énergies renouvelables (Evrard, 2014), qui ont permis aux acteurs du biogaz de faire parvenir cette promesse ENR vers l'arène des politiques énergétiques. Le biogaz, dans les travaux sur les politiques des énergies renouvelables françaises, n'est en effet la plupart du temps pas évoqué.

4 Rupture 2008/2011 : intéressement des professionnels du gaz

La démonstration de la possibilité d'injecter le biogaz épuré, dans les réseaux de gaz, sans risques sanitaires, initie un tournant pour la filière de méthanisation française. Elle est actée par l'avis, favorable à l'injection, rendu par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET) en octobre 2008 (AFSSET, 2008). Comme analysé par Bailly (2014) cette technique d'injection a été développée et expérimentée depuis les années 1990, à l'initiative de plusieurs villes européennes en lien avec des acteurs des énergies renouvelables (Solagro et ADEME en France). Les pouvoirs publics français témoignaient cependant de peu d'intérêt pour le bioGNV ou l'injection de biogaz, de même que GDF qui pour des raisons sanitaires spécifiques au biogaz, bloquait l'injection dans le réseau de gaz. Mais ces villes, se sont alliées pour expérimenter et soutenir cette valorisation

⁴⁸ Equivalent de 11 à 22 TWh, à comparer à une production de 7,1TWh en 2021 (Source : Methafrance)

notamment dans le but de diminuer les émissions de particules. En France, la Communauté urbaine de Lille⁴⁹ a joué un rôle clef :

« Lille métropole n'a pas lâché, elle a continué à mettre la pression jusqu'il y ait un nouvel avis rendu par l'AFSSET (ancien ANSES) qui a jugé que quand on compare, on n'a pas plus de risque bactériologique. » (Solagro)

Cet avis de l'AFSSET est rendu dans un contexte où GDF Suez (et sa branche de distribution de gaz GRDF⁵⁰) réinterroge sa stratégie par rapport aux politiques climatiques. Alors qu'auparavant GRDF ne voyait pas dans la méthanisation une solution d'avenir, la politique climatique européenne change l'intérêt stratégique du biogaz pour l'entreprise. Le biométhane est en effet l'alternative renouvelable au gaz fossile la plus mûre techniquement. La prise en compte de l'impératif de décarbonation dans la stratégie de l'entreprise, qui ne se fait pas sans dissensions internes à l'entreprise, va donc la conduire à acter que du gaz fossile ne pourra indéfiniment transiter dans son réseau. A partir de ce moment-là, l'entreprise s'engage progressivement dans le soutien au développement de l'alternative « biométhane ».

« Les concessionnaires des réseaux de distribution et de transports donc GRDF, GRTgaz, Teréga dans le sud-ouest (...) sont très proactifs, ils sont très offensifs sur ces questions, ils font du lobbying dans les instances où ils peuvent être présents et c'est une posture qui s'est construite depuis exactement dix ans. Ça date très exactement de 2008, où ils ont commencé à identifier le fait que le gaz renouvelable pouvait être une voie d'avenir pour le gaz naturel, comme c'était la solution à la fois qui n'avait pas de gaz à effet de serre, qui est locale » (Solagro)

« Aujourd'hui, le biogaz, le biométhane c'est un enjeu de survie de [GRDF] autour de plusieurs enjeux : création de valeur sur les territoires, décarbonation, relocalisation. Son développement implique 15 personnes au niveau du national, et des personnes sur les territoires. » (GRDF – en 2018)

GRDF se rapproche alors des acteurs existants de la filière biogaz. L'entreprise adhère notamment au Club Biogaz en 2009. Elle s'implique dans le Groupe de travail constitué fin 2008 par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du Ministère en charge de l'Environnement. Ce groupe de travail, constitué pour un an, a pour mission de travailler sur le cadre réglementaire de l'injection du biométhane dans les réseaux dont l'obligation a été introduite dans la loi Grenelle 2 (ATEE, 2014). C'est au sein du groupe de travail copiloté par l'ADEME et GRDF, en lien avec la DGEC, que sont travaillés les aspects techniques de la mise en place du cadre réglementaire de l'injection. Ce cadre est donc issu d'un travail conjoint entre acteurs de la filière et l'administration. Ce GT peut être vu comme une étape dans l'institutionnalisation du forum des professionnels du biogaz, qui va alimenter le forum des politiques publiques des ENR. Ce forum des professionnels est dès cette époque tourné majoritairement vers l'injection.

« GRDF, aux côtés du Club Biogaz notamment, a activement contribué aux travaux de ce groupe de travail, et s'est donc impliqué dès 2008 dans le développement de la filière d'injection de biométhane dans les réseaux. Le groupe de travail piloté par le ministère a pu rendre ses

⁴⁹ Dans le cadre du programme "Biofuel Cities" de la Commission Européenne, Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU), a lancé en janvier 2006 le projet Biogasmax (Biogas as fuel vehicle Market Expansion to 2020 Air Quality) qu'elle pilote. Biogas max rassemble 28 partenaires européens autour de Lille Métropole qui coordonne l'ensemble du projet.

⁵⁰ GDF devient GDF Suez en 2008 avec la reprise de l'activité de distribution de gaz par GRDF.

conclusions en 2009. Il a ensuite fallu fournir un travail conséquent avec les autres opérateurs de réseaux pour déterminer les modalités techniques de l'injection (odorisation, régulation, faisabilité de l'injection, technologie...). Suite à cette année de « gestation », il y a 4 ans, l'ADEME et GRDF ont décidé de reconstituer le groupe de travail du ministère, dit « GT Injection » et de le co-piloter, de manière à créer en concertation avec les acteurs concernés les conditions de réussite de la filière de l'injection de biométhane dans les réseaux. » (Catherine Foulonneau, Directrice Stratégie et Territoires à GRDF en 2014. Source : Rapport d'activité (ATEE, 2014))

Suite aux réflexions menées dans ce groupe de travail, en lien avec le Ministère de l'Environnement, l'ADEME et GRDF décident de prolonger ce groupe de travail, dans le cadre d'une collaboration bilatérale. Dès lors ils le copilotent avec pour objectif le maintien d'un cadre de concertation dans la filière (ATEE, 2014). En 2014, le GT injection réunit différents acteurs parmi lesquels les services de l'état (MEDDE⁵¹, ADEME), la CRE, les opérateurs de réseaux de gaz (GRDF, GRTGaz, TIGF, SPEGNN⁵²), les producteurs de biogaz via leurs associations représentatives (Syndicat des Energis renouvelables (SER), le Club biogaz de l'ATEE, l'Association des Agriculteurs méthaniseurs de France (AAMF), la fédération des collectivités, etc.), des équipementiers de l'épuration, des bureaux d'études et des sociétés spécialisées dans le traitement de déchets (GT Injection, 2014). Il représente les professionnels du gaz, qui comprend des professionnels agricoles.

« Cette écoute de l'administration, chacun jouait son rôle, on avait une totale liberté de parole, l'ADEME était là pour jouer la corde de rappel si besoin. GRDF [était] là pour rappeler les réalités concrètes. Là, l'administration exposait le cadre réglementaire, ce n'était pas des négociations, l'administration exposait. Les acteurs disaient, nous, voilà, sur le terrain, c'est ce qui a bien fonctionné. » (Solagro)

Les idées produites en 2009 par le GT Injection sont ensuite reprises dans le forum des politiques publiques des ENR. Les données recueillies suggèrent que la promesse ENR Climat du biogaz n'a pas acquis un poids très fort dans l'arène des politiques énergétiques. Elle a cependant été suffisamment portée pour qu'émerge à cette époque un premier instrument économique pour favoriser le développement de la méthanisation agricole. Un ensemble de décrets fin 2011⁵³ précisent les conditions de l'obligation d'achat, qui introduit notamment une prime pour les intrants « agricoles » (ligne 4, Tableau 10). Ces intrants « agricoles » regroupent les « *produits issus de cultures intermédiaires et des déchets ou résidus provenant de l'agriculture, de la sylviculture, de l'industrie agroalimentaire ou des autres agro-industries* ». La construction de ce tarif s'est notamment appuyée sur les travaux menés par Solagro, et diffusés du forum professionnel du biogaz vers le forum des

⁵¹ MEDDE : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

⁵² TIGF : ancien nom de Terega, gestionnaire du réseau de transport de gaz ; SPEGNN : Syndicat professionnel des entreprises locales gazières.

⁵³ Décret n° 2011-1594 du 21 novembre 2011 relatif aux conditions de vente du biométhane aux fournisseurs de gaz naturel ; décret n° 2011-1595 du 21 novembre 2011 relatif à la compensation des charges de service public portant sur l'achat de biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel ; décret n° 2011-1596 du 21 novembre 2011 relatif aux garanties d'origine du biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel ; décret n° 2011-1597 du 21 novembre 2011 relatif aux conditions de contractualisation entre producteurs de biométhane et fournisseurs de gaz naturel. 3 Arrêté du 21 novembre 2011 fixant la nature des intrants dans la production de biométhane pour l'injection dans les réseaux de gaz naturel ; arrêté du 23 novembre 2011 fixant les conditions d'achat du biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel ; arrêté du 23 novembre 2011 relatif aux modalités de désignation de l'acheteur de biométhane de dernier recours ; arrêté du 23 novembre 2011 fixant la part du montant des valorisations financières des garanties d'origine venant en réduction des charges de service public portant sur l'achat de biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel donnant droit à compensation.

politiques publiques. Ils analysent une structure de coût différente entre méthanisation de déchets, où la redevance déchets paye une partie des coûts de traitement, et méthanisation agricole, où, au-delà des intrants « gratuits » (effluents d'élevage), d'autres doivent être produits (couverts intermédiaires).

A partir de cette période, GRDF va se constituer progressivement en nouvel allié de taille des promoteurs historiques de la méthanisation, en soutenant la filière injection. L'injection est d'ailleurs à l'époque une voie de développement peu commune par rapport aux autres pays européens (Allemagne, Italie et Danemark) qui privilégient la cogénération (Eyl-Mazzega et al., 2019; Raven & Geels, 2010). L'intéressement de GRDF est une rupture car elle acte une convergence d'intérêt à développer la méthanisation entre les acteurs « classiques » du gaz et les acteurs historiques du biogaz, peu puissants dans l'arène des politiques énergétiques. GRDF reprend ainsi la promesse ENR en la spécifiant en promesse ENR Biométhane, où le biométhane est un vecteur alternatif au gaz fossile et complémentaire des énergies électriques.

Ligne		Acte juridique	Tarifs d'achat* pour la valorisation d'énergie issue de la cogénération ou de l'injection de biogaz
2	COGÉ- NÉRATION	Arrêté du 16 avril 2002 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par méthanisation	Tarif de base de 4,6 c€/kWh + prime à l'efficacité énergétique entre 0 et 1,2 c€/kWh
3	COGÉNÉRATION	Arrêtés du 10 juillet 2006	Tarif de base entre 7,5-9 c€/kWh avec un tarif dégressif selon la puissance + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0-3 c€/kWh selon le taux d'efficacité + prime à la production de biogaz par méthanisation de 2 c€/kWh
4	INJECTION	Décret n° 2011-1594 du 21 novembre 2011 Arrêté du 23 novembre 2011	Tarif de base entre 6,4-9,5 c€/kWh avec un tarif dégressif selon la puissance pour les installations d'une puissance comprise entre 50-350Nm ³ /h + prime entre 2-3 c€/kWh pour les intrants agricoles issus de cultures intercalaires à vocation énergétique et des déchets ou résidus provenant de l'agriculture, de la sylviculture, de l'industrie agroalimentaire ou des autres agro-industries + prime de 0,5 c€/kWh de traitement des déchets de collectivité, des ménages ou de la restauration + prime entre 1-3,9 c€/kWh selon le volume d'eaux usées traitées Pas de réduction trimestrielle du tarif de rachat

5	COGÉNÉRATION	Arrêté du 19 mai 2011, fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz	<p>Tarif de base entre 11,19-13,37 c€/kWh avec un tarif dégressif selon la puissance + prime de 4 c€/KWh à l'efficacité énergétique (avec modulation selon l'efficacité) + prime aux effluents de 2,6 c€/kWh pour les installations inférieures à 150kW, et calculée via une interpolation linéaire entre [0 et 2,6 c€/kWh] pour les installations de puissance comprise entre 150kW et 1000kW, avec une modulation selon le pourcentage total d'effluents</p> <p>Pas de réduction trimestrielle du tarif de rachat</p>
6	COGÉNÉRATION	<p>Arrêté du 13 décembre 2016</p> <p>Arrêtés du 30 octobre 2015 et du 23 septembre 2016</p>	<p>Tarif de base entre 15-18 c€/kWh selon si les installations ont une puissance inférieure à 80kW ou allant jusqu'à 500kW + prime aux effluents d'élevage comprise entre 0 et 5 c€/KWh (interpolation linéaire entre 0-60% et plafond à 60%)</p> <p>Les installations bénéficiant du tarif de rachat en application de l'arrêté du 19 mai 2011 peuvent demander un avenant pour avoir un tarif d'achat revalorisé (entre 16,5-18 c€/KWh avec un tarif dégressif selon la taille jusqu'à 300kW) et bénéficier d'une prime effluents revalorisée entre 0-4 c€/kWh (interpolation linéaire entre 0-60% et plafond à 60%).</p> <p>Dégressivité du tarif à compter de 0,5% [~0,09c€/KWh pour un tarif de 17,5 c€/KWh] par trimestre à partir du 1^{er} janvier 2018.</p>

7	INJECTION	Arrêté du 23 novembre 2020 Décret du 21 avril relatif à la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 et 2024-2028	<p>Tarif de base entre 8,6 c€/kWh - 12,2 c€/kWh avec un tarif dégressif selon la puissance pour les installations d'une puissance entre 0 et 300Nm³/h + malus de 0,5 c€/kWh si le projet bénéficie d'une aide à l'investissement ADEME</p> <p>+ prime entre 0 – 1 c€/kWh pour les effluents d'élevage (interpolation linéaire et plafond à 60%)</p> <p>+ prime à l'installation d'un raccordement à un réseau public de distribution de gaz qui dessert moins de 100 000 clients : 0,1-0,3 c€/kWh</p> <p>Une réduction trimestrielle de 0 à 0,5 c€/kWh selon les capacités totales de production installée de la filière. Confirmée par la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), cette baisse de tarif équivaut à un tarif d'environ 6,7 c€/kWh en 2023 et 6 c€/kWh en 2028, donc à une baisse de 25 à 30% d'ici 2030.</p>
---	-----------	---	--

Tableau 10 : Evolutions des tarifs de rachat de l'énergie issue de la cogénération de biogaz ou de l'injection de biométhane.

Légende : Les contrats spécifiant ces tarifs sont d'une durée de 15 ans pour l'injection et de 20 ans pour la cogénération. Si les tarifs d'achat sont un pilier du soutien à la filière, c'est leur articulation avec les subventions ADEME qui assurent la rentabilité de certains projets. Le dégrèvement du tarif d'achat sous-condition de l'accès à des subventions ADEME, dans l'évolution des tarifs de l'injection de 2020, est donc un des éléments qui acte la baisse des soutiens économiques à la filière. La diminution progressive et forte du tarif de rachat à l'injection marque également une rupture par rapport au dispositif de soutien antérieur à l'injection.

5 Séquence 2 : Un soutien croissant à la filière porté par la promesse ENR (2011 à 2018/2020)

5.1 Une revalorisation des tarifs en cogénération pour atteindre les objectifs du Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables (2011)

En 2010, avec le Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables, l'Etat évoque des objectifs quantitatifs pour 2020 pour la filière cogénération : il fait l'hypothèse que la production d'électricité à partir de biogaz (agricole et de décharge) pourrait passer de 0,7 TWh en 2008, à 3,7 TWh en 2020 (Ministère de l'écologie, du développement durable, 2010). A la même époque une étude ADEME-Solagro montre qu'un des freins majeurs au développement de la filière agricole est le manque de rentabilité des installations. Ainsi en 2011, la cogénération de biogaz a seulement lieu à 40% au sein d'unités agricoles (SOeS, Bilan de l'énergie 2011, Étude ADEME – Solagro, selon (Bailly, 2014)). Selon les enquêtes de Bailly (2014), le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

(MEDDE) revalorise en 2011 par décret les tarifs de rachat pour se donner les moyens d'atteindre les objectifs fixés pour 2020 dans le Plan d'action national en faveur des ENR. L'Arrêté du 19 mai 2011, fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz, augmente significativement les tarifs de rachat de l'électricité produite par cogénération (ligne 5 par rapport à la ligne 3 du Tableau 10). Il augmente la prime à l'efficacité énergétique pour inciter à la valorisation de la chaleur, et ajoute une prime aux effluents d'élevage (ligne 5, Tableau 10). La sélection de cette évolution de l'instrument qu'est le tarif d'achat semble donc avoir été décidée au sein de l'arène des politiques énergétiques, dans la continuité de la politique de méthanisation existante, nourrie par les analyses menées dans le forum des professionnels du biogaz, par l'ADEME et Solagro.

5.2 Les promesses Agroécologique et Revenu sont reprises par le Ministère de l'agriculture mais c'est la sélection de la promesse ENR Biométhane dans l'arène des politiques énergétiques qui donne son élan à la filière injection (2011-2015)

Solagro et Negawatt sont des acteurs historiques de la filière biogaz, avec une certaine proximité entre ces organisations qui comptent des membres communs. Ces deux structures apparaissent avoir joué un rôle important dans la construction des idées et des promesses autour du biogaz, notamment à travers leur production de scénarios prospectifs dans le forum prospectif. Negawatt publie en 2005 un premier scénario de transition énergétique, où la biomasse doit permettre de produire, d'ici 2050, environ 49TWh d'énergie. En 2010, c'est au tour de l'entreprise associative Solagro, d'initier un travail sur un scénario de transition agricole pour tester la faisabilité biophysique en agriculture du scénario Negawatt. La place de la biomasse, et plus particulièrement du biogaz agricole, dans le mix dépendent en effet de la disponibilité et de la mobilisation durable de la biomasse, que rend crédible une première version du scénario Afterres 2050, publiée en 2011. Dans la version de 2016 du scénario Afterres 2050, Solagro propose une vision systémique de l'agriculture qui se préoccupe à la fois de la faisabilité biophysique de la transition agricole et de certaines de ses dimensions socio-économiques. Elle rassemble notamment autour de la méthanisation les 4 promesses ENR, Déchets, Revenu agricole et Agroécologie à travers son rôle dans la transition de l'agriculture :

« La méthanisation est utilisée à la fois comme outil de production d'énergie à partir des diverses ressources agricoles disponibles sur un territoire, mais également comme un outil d'optimisation de la fertilisation. Elle participe efficacement au recyclage de l'azote d'origine organique, de manière à limiter les besoins en engrais azotés. Elle offre également une diversification du revenu des agriculteurs. » (Scénario Afterres 2050 - 2016)

Ces idées sont partagées dans le forum des professionnels du biogaz par Solagro, mais entrent particulièrement en résonance avec la nouvelle orientation de la politique agricole de 2012, donnée par le nouveau gouvernement. Le Ministère de l'Agriculture, avec à sa tête Stéphane Le Foll, défend dès son arrivée le lancement du Projet agroécologique pour la France. Lors de la Conférence environnementale de Septembre 2012, François Hollande s'engage à lancer un plan national biogaz et en 2013, les ministres de l'agriculture et de l'écologie sortent le plan Energie méthanisation Autonomie Azote qui s'inscrit dans le Projet agroécologique et dans ce Plan national biogaz. Un objectif de 1000 méthaniseurs à la ferme en 2020 est proposé, contre 90 unités fin 2012. Ce projet a été co-construit entre les deux Ministères. Il n'a pas vraiment été travaillé au sein du GT Injection mais via des consultations avec des acteurs agricoles et de l'énergie des forums professionnels. Il reprend la vision du Ministère de l'agriculture d'une méthanisation à la ferme, en soutien à des exploitations d'élevage à travers un nouveau revenu agricole. En 2013, la vision de la méthanisation portée par le Ministère

de l'agriculture est sélectionnée dans l'arène des politiques énergétiques à travers le Plan « Énergie méthanisation autonomie azote » (EMAA). Il sert toujours comme feuille de route aujourd'hui dans les politiques publiques actuelles.

Le plan EMAA reprend les quatre promesses suivantes : promesse Déchets, ENR, Revenu et Agroécologique. Ce plan vise explicitement à « *développer un modèle français de méthanisation* » adossé à des exploitations d'élevage. Dès cette époque, la controverse sur la durabilité du biogaz allemand - dont les effets agroenvironnementaux négatifs⁵⁴ sont de plus en plus documentés - contribue à modeler la vision française de la méthanisation. Le modèle allemand « *mais-lisier* » est pris comme repoussoir aussi bien dans le forum des professionnels du biogaz que dans les forums prospectif et scientifique. La France ne veut pas voir advenir une méthanisation de cultures énergétiques en concurrence avec l'alimentation. Le plan EMAA définit les contours de la promesse Agroécologique en soulignant les opportunités agroenvironnementales possibles du développement de la méthanisation : « *améliorer les cycles de rotation des cultures* », contribuer à autonomiser les exploitations (alimentation du bétail, réduction des intrants), lever les freins à l'utilisation de l'azote organique, développer le lien entre culture et élevage, « *Traiter et transporter l'azote organique pour permettre une substitution d'azote minéral sur des territoires plus éloignés du site de production des effluents* ». En cela la puissance publique ne reprend que partiellement et en la détournant la promesse Agroécologique proposée dans les forums, concernant l'azote : en effet EMAA fait de la méthanisation un outil de traitement des excédents structurels d'azote alors que dans Afterres le développement de la méthanisation et d'une meilleure gestion de l'azote sur les exploitations d'élevage va de pair avec une baisse du cheptel et une transformation globale des modes productifs.

La méthanisation est donc positionnée à l'interface des enjeux de politiques énergétiques et agricoles :

« La méthanisation à la ferme est une des solutions permettant de conserver l'azote contenu dans certains sous-produits de l'exploitation et de l'exporter à condition que les digestats bruts fassent l'objet de post-traitements permettant leur transport et leur valorisation. Au-delà de la gestion de l'azote, la méthanisation à la ferme contribue à répondre aux enjeux environnementaux et énergétiques de notre pays et s'inscrit ainsi pleinement dans la transition énergétique engagée pour, entre autres, augmenter significativement la production d'énergies renouvelables » (Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote)

Mais le choix des instruments déterminants pour soutenir le développement de la filière, va en fait être négocié au sein de l'arène des politiques énergétiques.

Ce plan agroécologique est publié dans une période de réactivation du débat énergétique en France (Evrard, 2013 p 230). En effet, en 2011, l'événement de Fukushima conduit l'Allemagne à réaffirmer une politique énergétique de sortie du nucléaire. L'année suivante en France, la majorité gouvernementale est divisée sur la politique de transition énergétique. Le Président François Hollande promet un grand débat sur cette politique après son élection. Le Débat national sur la transition énergétique (DNTE), est organisé entre 2012 et 2014, dans un format similaire au Grenelle, en prévision d'une loi de Programmation pour la Transition Energétique. Il rassemble tous les acteurs du monde de l'énergie, des industries, aux syndicats et aux ONGs. Son objectif est de discuter la nature

⁵⁴ La méthanisation des cultures énergétiques est questionnée en lien avec l'usage des terres, l'efficacité énergétique du biogaz et ses conséquences environnementales en particulier sur la biodiversité et les paysages. Les deux chapitres suivants analysent certains de ces enjeux.

d'une transition énergétique qui permettrait d'atteindre des objectifs ambitieux de réduction d'émissions GES d'ici 2030 (Colombier, 2022). Au niveau national, sur le conseil de scientifiques spécialistes de la prospective, une partie du débat s'organise, à travers la confrontation d'une diversité de scénarios prospectifs, portés par les acteurs de l'énergie (Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (ANCRE), Greenpeace, GRDF, RTE⁵⁵, Negawatt, ADEME). Historiquement, le biogaz était peu légitime dans les scénarios de transition énergétique, par rapport aux agrocarburants - même si ces derniers sont de plus en plus controversés depuis les années 2000 (Hogommat, 2010). Ce débat dans le forum prospectif contribue à faire émerger un nouveau récit d'une trajectoire de décarbonation du gaz, similaire à celui d'une décarbonation de l'électricité. La convergence des scénarios ADEME, GRDF⁵⁶ et Negawatt autour d'un biogaz « élément structurel de la transition énergétique » contribuent à donner du poids à ce scénario dans le débat, et à le porter dans le forum des politiques publiques des ENR.

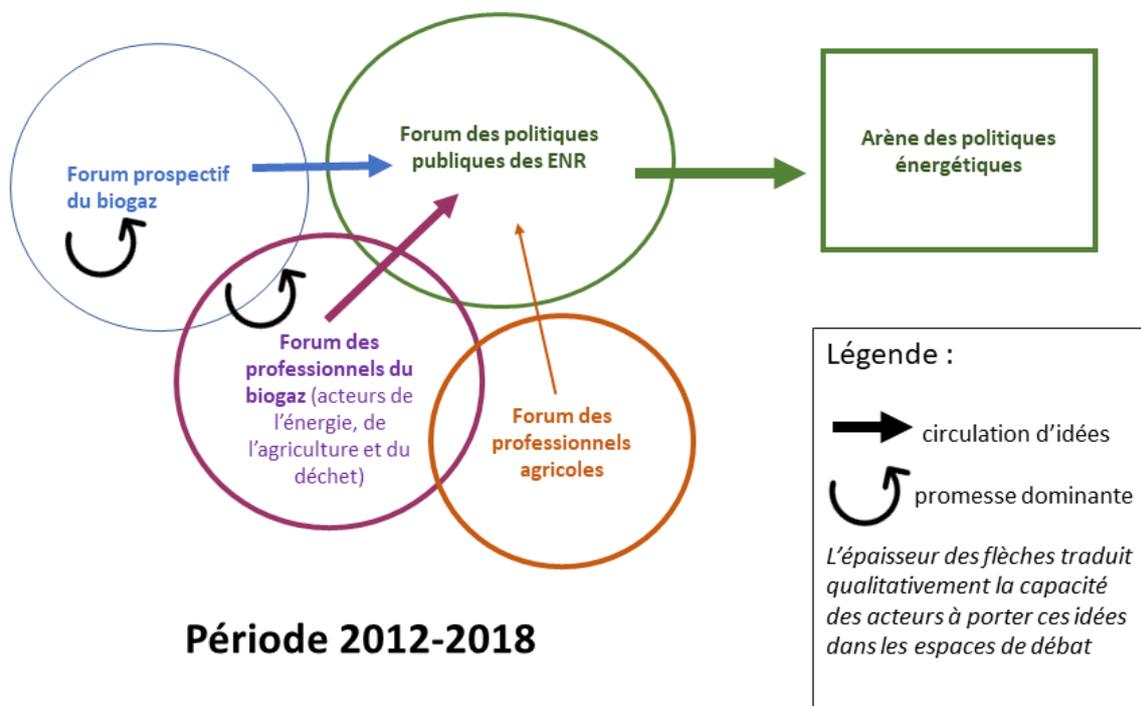


Figure 12 : Représentations des espaces de débat et de circulation de la **promesse ENR** entre 2012 et 2018. La promesse ENR est dominante dans le forum prospectif du biogaz et dans le forum des professionnels du biogaz.

Légende : La promesse ENR, crédibilisée dans le forum prospectif et des professionnels du biogaz, circule jusque dans le forum des politiques publiques des ENR. Elle est ensuite sélectionnée dans l'arène des politiques énergétiques pour donner au biogaz une place dans la transition énergétique (LTECV).

D'une bioénergie portée par une minorité écologiste, le biogaz devient ici un élément de discussion dans le forum des politiques des ENR (Figure 12). Ce récit, repris par les gaziers, diffère toutefois, dans

⁵⁵ RTE : Réseau de transport d'électricité

⁵⁶ Scénario Facteur 4 de GRDF

sa logique, du récit de Negawatt. Le premier propose une vision du développement du biogaz comme vecteur de décarbonation de la consommation actuelle de gaz naturel ; le second propose un développement du biogaz comme élément nécessaire à la transition du système énergétique, mais dont les usages ne seront pas au sein du système énergétique, similaires à ceux actuels. Cette différence n'empêche cependant pas la promesse ENR Biométhane d'émerger dans ce forum comme une solution plausible, car un nouveau porte-parole d'envergure s'en saisit, GRDF. De plus ce scénario est notamment crédibilisé par les travaux des experts du biogaz, l'ADEME et Solagro qui estiment dans une étude que les matières agricoles (effluents d'élevage, résidus de cultures, CIVE...) constitueront 90% du gisement global mobilisable à 2030 pour la méthanisation (ADEME & Solagro, 2013). La méthanisation à partir de CIVE est un modèle différent de celui adossé à l'élevage prônée par la Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises (DGPE) du Ministère de l'agriculture, mais ces deux visions contribuent à établir le rôle plausible de la méthanisation dans les transitions agricoles et énergétiques. Cette « double » promesse d'un biogaz contribuant à la fois à la transition agroécologique et à la transition énergétique est notamment retenue dans le forum des politiques publiques des ENR lors des travaux sur la Stratégie nationale bas-carbone I (SNBC I) menés par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), au Ministère de l'environnement. Elle met également la promesse ENR Biométhane au cœur de l'arène des politiques énergétiques dans la préparation de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) de 2015. Celle-ci fixe des objectifs de développement (10% de gaz vert en 2030) et leur processus de révision via la SNBC et la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE). Elle ouvre aussi sur des évolutions du cadre réglementaire de la méthanisation, notamment du tarif de rachat de l'électricité.

5.3 Un soutien à la promesse ENR Biométhane discuté au sein du Comité National Biogaz (2015-2018)

Pour accompagner le développement de la filière et l'évolution de son cadre juridique avec la LTECV, Ségolène Royal alors ministre de l'Ecologie crée le 24 mars 2015 le comité national biogaz (CNB)⁵⁷. Ce comité acte la reprise du pilotage de la filière par le Ministère de l'énergie et non par le Ministère de l'agriculture. Ce comité, animé par la DGEC, a pour objectif de faciliter le dialogue entre les acteurs de la filière biogaz et les pouvoirs publics. Il rassemble ainsi des acteurs institutionnels du monde de l'énergie, de l'agriculture et des déchets et institutionnalise davantage le forum des professionnels du biogaz. C'est un organe d'échange et de communication politique qui se réunira par la suite une fois par an. La ministre participe au premier comité durant lequel est présenté le projet de loi de la LTECV en cours de discussion, et les nouveaux objectifs concernant le gaz renouvelable. Les groupes de travail de ce comité visent à soutenir le développement de la filière en fournissant aux pouvoirs publics des éléments techniques afin d'accompagner la préparation de recettes de politiques publiques, même si comme l'évoque plusieurs acteurs, le CNB s'apparente plus à une « grand-messe » qu'à un espace d'échange. Le travail sur cinq axes thématiques est conduit dans 5 groupes de travail : les mécanismes de soutien (tarifs de rachat), le bioGNV⁵⁸, les enjeux industriels, l'injection (GT Injection) et les procédures administratives (Media Enerzine, 2015). Le GT Injection, toujours copiloté par l'ADEME et GRDF en lien avec la DGEC, est notamment rattaché au CNB comme un de ses groupes de travail.

⁵⁷ Site du MTE : « Le Comité a été réuni par la ministre le 24 mars 2015 et le 13 septembre 2016 afin de permettre aux acteurs de la filière de faire part de leurs retours d'expériences et de leurs attentes, en vue notamment d'alimenter les évolutions possibles des actions de l'État, et aux services de l'État de partager la stratégie et les actions mises en œuvre pour la filière. » = grand messe

⁵⁸ Terme employé pour désigner un biométhane utilisé pour la mobilité

C'est un groupe très actif puisqu'il rassemble toutes les 6 semaines des représentants des acteurs de la filière biométhane. C'est d'ailleurs le seul groupe qui semble avoir perduré dans les années qui suivent. Il n'existe pas d'équivalent de ce GT pour la cogénération, ce qui confirme la priorité accordée à l'injection et la capacité plus forte des acteurs de l'injection à se rassembler pour faire vivre leur voix, dans le forum des professionnels du gaz. Le Club Biogaz qui participe à ce CNB décrit ainsi ce lieu d'échange :

« On est un peu en contact direct avec les ministères et puis il y a des réunions qui découlent de ces comités nationaux biogaz de la méthanisation qui se poursuivent dans le temps, (...) qui nous permettent d'avancer pour coconstruire un cadre réglementaire qui permette le développement serein de la filière. » (ATEE, 2019)

Le rapport d'activité de 2016, de l'ATEE rapporte également que le GT bioGNV du CNB s'est réuni à 3 reprises, entre janvier et avril 2016 : *« Les propositions élaborées portent sur la fiscalité, les tarifs, les financements et le développement des infrastructures. Le livrable a été soumis à la DGEC pour la réunion plénière du CNB de septembre 2016. »* Il mentionne aussi les thématiques suivantes comme abordées par le CNB : les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), les conditions de raccordement et l'homologation des digestats.

Au milieu des acteurs de l'énergie (SER, CRE, AFG, ENGIE), le monde agricole (AAMF, APCA, FNSEA) parvient plutôt à cette époque à trouver sa place et à se faire entendre dans le CNB. La FNSEA s'intéresse davantage à la méthanisation, depuis l'Accord de Paris (2015), selon un de ses représentants. Cependant, dans le forum des professionnels du biogaz, face aux acteurs industriels de l'énergie, la FNSEA a peu de poids. Mais comme le raconte un participant au CNB (en 2015 ou 2016 selon l'acteur), à cette époque les positions sont convergentes entre les différents acteurs :

« J'étais sorti de là en disant il y a un alignement de planète : le discours de FNE, de la FNSEA, de la CGT, et des gaziers, je sais plus, des acteurs de l'énergie, étaient alignés, tout le monde disait on veut un modèle de méthanisation à la française, pas de cultures énergétiques, ou qui repose pas beaucoup sur ça, plutôt en mode injection que cogénération, parce que l'avenir est plutôt de substituer le gaz fossile on avait de l'électricité décarbonée, et on avait d'autres alternatives pour faire de [l'électricité] renouvelable » (Membre du Club Biogaz)

C'est également en 2015 que Ségolène Royal réaffirme l'ambition pour la filière méthanisation avec un objectif de 1500 méthaniseurs en 3 ans. Les objectifs fixés par la LTECV sont repris en 2016 dans la Programmation pluriannuelle de l'Energie 2016-2023 (PPE). La PPE décline les objectifs énergétiques de la France pour toutes les énergies (Tableau 11), servant ensuite de base à l'évaluation des montants des enveloppes de soutien aux filières.

Energie produite	Electricité	Chaleur	Gaz
2018	1,1 TWh	3,5 TWh	1,7 TWh
2023	Hypothèse basse : 1,9 TWh Hypothèse haute : 2,5 TWh	Hypothèse basse : 8,1 TWh Hypothèse haute : 10,5 TWh	8 TWh

Tableau 11 : Objectifs de politiques publiques issus de la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2016-2023 pour l'ensemble des filières de production de biogaz.

Légende : Pour rendre comparable les objectifs concernant la cogénération et l'injection l'autrice a converti les puissances installées électriques en énergie produite, en prenant comme hypothèse un fonctionnement des unités de 8000h par an (ce qui est cohérent avec les hypothèses moyennes retenues par l'ADEME).

Dans les années qui suivent, la LTECV se décline en un ensemble de textes réglementaires et de nouveaux instruments de politiques publiques. Nous avons sélectionné les trois mesures clefs suivantes tandis que l'évolution des financements ADEME est précisée dans l'Encadré 4 :

- Basé sur le travail du CNB et de ses GT, un nouveau cadre de soutien est instauré pour les installations en cogénération de moins de 500kW de puissance installée (ligne 6, Tableau 10). Un critère est introduit pour que l'instruction du projet limite la concurrence d'usage entre intrants du territoire (cf. Encadré 9 chapitre 5).
- La promesse ENR, sélectionnée dans le forum des politiques publiques des ENR, réaffirme une préférence à l'injection, notamment pour les grandes unités de méthanisation. Les soutiens restent à guichet ouvert pour la cogénération et l'injection mais au-delà d'une puissance installée de 500kW, l'Etat oblige le porteur de projet à faire une étude de faisabilité d'un projet en injection (Arrêté 23 septembre 2016 - Code de l'Energie).
- Le fond biométhane était auparavant financé par les fournisseurs de gaz à hauteur de leur vente. En 2016, les parlementaires considèrent que ce mode financement est une sorte de taxe déguisée, et ils intègrent donc au budget de l'état le financement du biométhane. Celui-ci est désormais financé par l'impôt au même titre que la cogénération.

Le Grand plan d'investissement annoncé en 2017 se traduit aussi par l'annonce d'un dispositif pour faciliter l'accès au prêt pour les porteurs de projets. L'accès au financement est en effet considéré comme un des freins au développement de la filière dans le forum des professionnels du biogaz.

Depuis 2009, les aides à la méthanisation passent aussi par un soutien à l'investissement dispensé par des fonds ADEME : le fonds Chaleur et le fonds Déchets. Le fonds Déchets devient le Fonds « Économie circulaire » après la LTECV de 2015. Il aide au financement des installations en cogénération et des modes de valorisation du biogaz tandis que le fonds Chaleur soutient les installations en cogénération et en injection, ainsi que les réseaux de chaleur associés (Sénat & Cuypers (Rapporteur), 2021). En 2015 environ 25 installations ont bénéficié d'une aide du fonds Chaleur (CGE & CGEDD, 2018). Le Fonds Chaleur a notamment pris le relai du fonds Economie circulaire autour des années 2017-2018, pour financer le développement croissant de l'injection (CGE & CGEDD, 2018). En 2018, le financement par le fonds Chaleur bute toutefois sur la taille de l'enveloppe qui ne parvient pas à faire face au développement rapide de la filière.

Encadré 4 : Soutien à l'investissement des projets de méthanisation via les fonds Chaleur et Déchets ADEME.

L'ensemble de ces évolutions dans la politique publique confirment une dualité des cadres réglementaires entre injection et cogénération. L'évolution des tarifs de rachat de la cogénération réaffirment un soutien à une méthanisation agricole d'élevage telle que promue par le Ministère de l'agriculture (DGPE) : la prime aux effluents est augmentée (5 c€/kWh) (ligne 6, Tableau 10) et l'accès

au financement est facilité pour les projets qui méthanisent une certaine part d'effluents d'élevage. Les promesses de EMAA (promesses ENR, Revenu, Déchets et Agroécologique) sont en quelque sorte réactualisées et prises en compte dans le forum des politiques publiques des ENR en ce qui concerne la cogénération. Pour l'injection, les tarifs de rachat de 2011 ne sont pas modifiés, l'injection n'a donc pas de prime aux effluents d'élevage mais conserve une prime aux intrants agricoles considérée en pratique comme une prime aux CIVE. C'est donc davantage les promesses ENR, et plus marginalement Revenu qui ont présagé à la construction de ce cadre de soutien à l'injection. La subvention générale à la production de biogaz, si elle est modulée selon les intrants, reste calibrée sur la quantité totale d'énergie produite, et reste financée par le compte d'affectation spéciale à l'énergie.

5.4 Une alliance entre professionnels du gaz et de l'agriculture pour porter une vision commune au sein de l'arène des politiques énergétiques (2018-2020)

Les évolutions précédentes ont été discutées au sein des espaces de débat des politiques énergétiques. Mais certaines évolutions du cadre de soutien introduites par la LTECV sont de la compétence du Ministère de l'agriculture. La LTECV a notamment introduit (article 112) un encadrement des cultures énergétiques pour les futures unités de méthanisation, qui doit être fixé par décret. C'est donc cette fois le Ministère de l'agriculture qui organise des consultations d'acteurs pour travailler sur ce décret. La politique du cabinet est cependant assez claire, c'est celle de limiter en prévention l'usage de cultures, pour éviter les problèmes observés en Allemagne. Le pouvoir politique propose ainsi un seuil de 10%, porté finalement à 15% suite aux consultations de la filière. Le Décret du 7 juillet 2016 introduit un seuil maximal de 15% de cultures énergétiques en volume de l'approvisionnement.

« Quand la filière a commencé à s'accélérer est arrivé l'ombre de ce qui c'était passé en Allemagne, le gouvernement a voulu verrouiller. (...) on n'avait aucun intérêt à risquer l'amalgame. » (GRDF)

Cette limitation des cultures apparaît donc avoir été plutôt consensuelle, dans le but de ne pas reproduire les dérives environnementales d'une méthanisation allemande, fondée sur la production de maïs ensilage, fertilisé, voire irrigué. La limitation des cultures énergétiques s'accompagne toutefois d'une place importante des CIVE dans les scénarios prospectifs (cf. chapitre 2)⁵⁹. Comme montré en chapitre 2, des bénéfices agroécologiques sont attribués au développement de ces cultures méthanogènes, sans les effets agroenvironnementaux négatifs des cultures énergétiques principales (cf. chapitre 4 §3.3.2). Un travail sur la définition des CIVE durables, mené notamment par le Ministère de l'agriculture, aboutira d'ailleurs en 2022.

La vision défendue par le Ministère de l'agriculture en 2017 est résumée dans la Figure 13 ci-dessous : une méthanisation agricole qui permet de produire de l'énergie (promesse ENR) à partir de déchets agricoles et agroalimentaires (promesse Déchet), dans le cadre d'une agriculture aux pratiques plus agroécologiques (promesse Agroécologique) et d'une valorisation des déchets dans une économie circulaire territoriale (promesse Déchet). La méthanisation agricole porte aussi la promesse Revenu.

⁵⁹ Solagro dans Afterres 2050 (2016), l'ADEME dans son étude « Biomasse agricole : état des lieux et analyse prospective » (2017), l'ADEME, GRDF et GRTgaz dans leur scénario « Un mix 100% gaz renouvelable en 2050 » (2018), et les autorités françaises dans le scénario de la SNBC agricole « Avec mesures supplémentaires » présenté en 2018, fixent des objectifs de développement du biogaz où les CIVE après 2030 jouent un rôle essentiel.

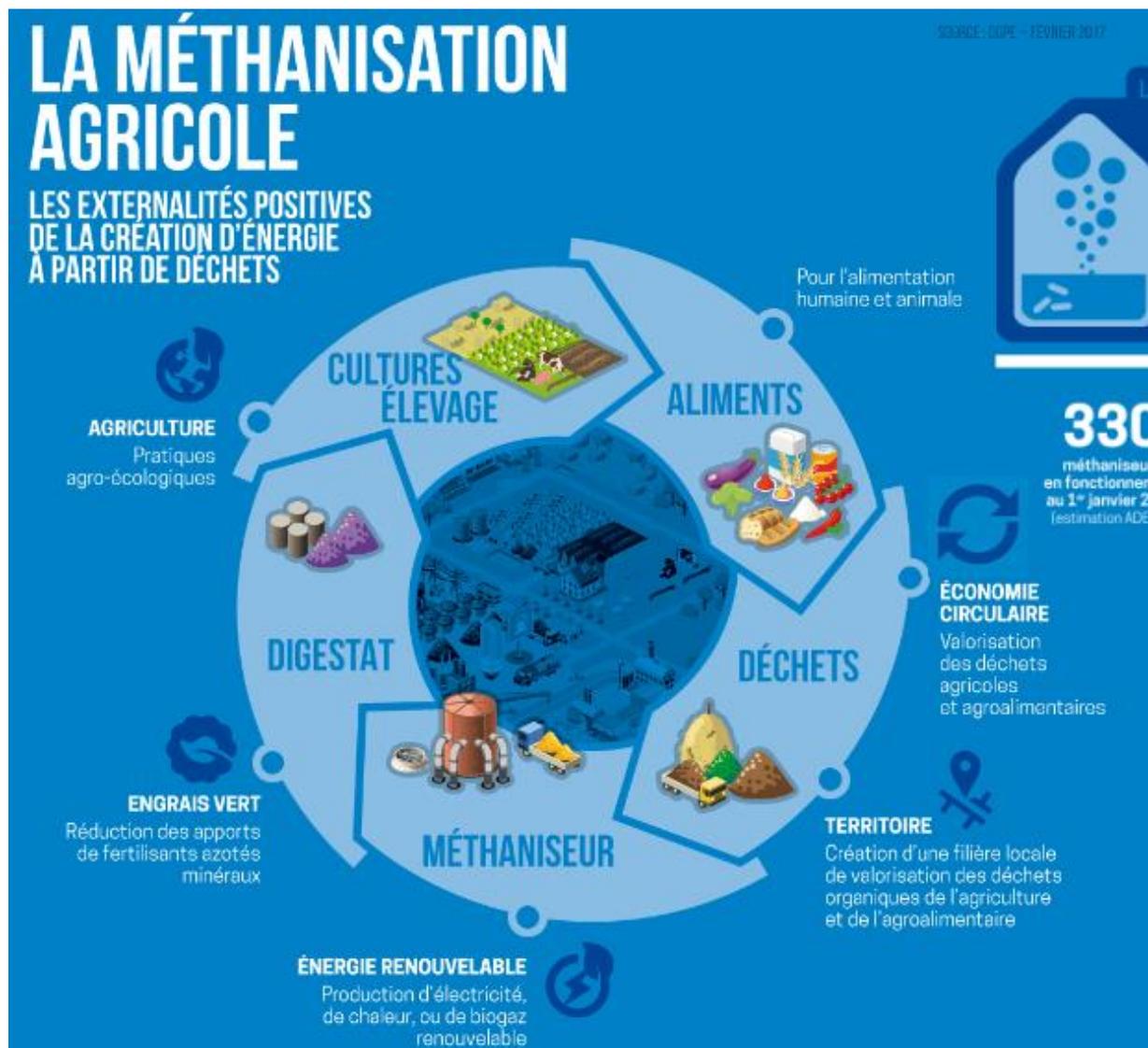


Figure 13 : Vision de la méthanisation agricole par la DGPE (Ministère de l'agriculture).

Source : Présentation de la DGPE aux Automnales 2017 de l'association française des professionnels de l'eau et des déchets (Molinié, 2017).

Un enjeu fort de la construction du cadre de politique publique de la méthanisation est ainsi la coexistence de différents forums (professionnels agricoles, professionnels du biogaz), qui portent inégalement leurs idées dans le forum des politiques publiques des ENR, où semblent prises la majorité des décisions de la politique du biogaz :

« Le monde agricole a compris qu'il y avait un sujet, qui était que le soutien à la méthanisation était dans les mains du ministère de l'Énergie, que le ministère de l'Agriculture pouvait parfois avoir son mot à dire mais qu'in fine, ceux qui ont le dernier mot sont le ministère de l'Énergie et Bercy⁶⁰. Donc il y a bien cette ambivalence en permanence dans la méthanisation. (...) Vous avez du coup des débats qui sont extrêmement tendus. » (GRDF - 2022)

⁶⁰ Surnom donné au Ministère de l'économie et des finances

Les intérêts convergents des professionnels du gaz (qui porte la promesse Revenu) et de l'agriculture les conduisent ainsi progressivement à s'allier. La FNSEA défend désormais une méthanisation promesse d'un nouveau revenu agricole (promesse Revenu), qui soutient la décarbonation de l'agriculture (Promesse ENR). Mais le syndicat reconnaît le peu d'influence des acteurs agricoles dans l'arène des politiques énergétiques.

« L'entrée des gaziers est plus facile auprès de Bercy, auprès des cabinets des ministres etc. GRDF ça l'avantage, c'est qu'ils ont des moyens humains, et matériels qu'ont moins le monde agricole. Si on travaille avec Bercy, c'est plutôt GRDF car ils ont leurs entrées là-bas. On travaille en commun car on est tous persuadé que cette énergie a des vertus complémentaires de l'électricité. » (FNSEA - 2021)

« Aujourd'hui, très concrètement, les mécanismes de soutien à la méthanisation sont décidés par le ministère de l'Énergie, la DGEC. » (GRDF – 2022)

Les gaziers, quand à eux, défendent la production d'un gaz vert durable, dont le gisement agricole dépend de sa mobilisation par le monde agricole.

« On a différentes études qui démontrent que le potentiel important est agricole. (...) En même temps ce potentiel il dépend du modèle agricole, de la volonté de faire des CIVE, de l'accès à ce modèle, c'est une vraie question sur la coordination des politiques agricoles et énergétiques et derrière une question d'économie. » (GRDF)

Différents exemples illustrent la construction de cette alliance. En 2016, les chambres d'agriculture, la FNSEA et GRTgaz créent un partenariat. Ils partagent en 2017 des positions politiques conjointes pour soutenir 3 mesures : favoriser le financement de projet, mieux accompagner les agriculteurs et développer la R&D. Cette alliance se cristallise en 2018 par la création du *think tank* France Gaz Renouvelable, commun à la profession agricole et aux gestionnaires de réseau. L'assemblée générale constitutive réunissait l'Association des agriculteurs méthaniseurs de France (AAMF), les Chambres d'Agriculture (APCA), la Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles (FNSEA), le Club Biogaz, la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), France Biométhane, GRDF et GRTgaz. Leur objectif est d'avoir une posture politique plus claire et commune pour défendre une méthanisation agricole dans les intérêts des deux professions, dans le forum des politiques publiques des ENR. Cette alliance est révélatrice du fait que la méthanisation est progressivement perçue pour ces deux familles d'acteurs comme un « *point de passage obligé* » (Callon, 1986). Ils essaient donc d'enrôler les acteurs publics à travers la création de ce *think tank*.

« L'acteur [de FGR] qui porte la position n'est pas toujours le même en fonction des interlocuteurs, les coprésidents sont issus du monde agricole, le [secrétaire général] est issu du monde gazier. L'association a été montée pour faire le trait d'union entre les deux filières. Pour décrypter les façons de penser, parler des deux mondes. » (GRDF - 2022)

Cette alliance n'est pas évidente et « *ça a pris du temps aussi d'apprendre à se parler et de comprendre aussi qu'il n'y avait pas de volonté de nuire dans un sens ou dans l'autre, mais bien une volonté de trouver des points d'équilibre. Il y a une vraie vigilance du monde agricole sur le fait qu'ils veulent pouvoir garder la main sur le développement de la méthanisation et il y a une vraie volonté du monde de l'énergie de pouvoir accélérer la transition énergétique* » (GRDF). FGR est une nouvelle entité du forum des professionnels du biogaz, à l'interface avec le forum des professionnels agricoles.

L'association rassemble seulement les acteurs gaziers et agricoles, sans les grands acteurs « classiques » de l'énergie ou de l'industrie des déchets.

Or dans le forum des professionnels du biogaz, la question du modèle de méthanisation à promouvoir auprès du gouvernement est un sujet de tension entre acteurs de l'énergie et acteurs agricoles. Dans le forum des politiques publiques des ENR, certains acteurs « classiques » de l'énergie comme ENGIE ou Total sont dans une logique industrielle de production de volume, associée à une baisse des coûts.

« Le monde agricole a un atout majeur, c'est qu'ils peuvent être maîtres d'une partie des intrants et ils peuvent être en bonne maîtrise de la gestion du digestat. (...) Et vous avez de l'autre côté des acteurs de la méthanisation plus industrielle, les développeurs des énergies renouvelables qui se sont mis sur le sujet de la méthanisation – en exemple on peut citer (...), Total, maintenant Engie – qui eux ont une approche qui est beaucoup plus énergie et économie, et qui sont confrontés au fait, par contre, qu'ils ne maîtrisent pas les intrants. » (Professionnel du gaz)

Dans le forum des politiques publiques des ENR, la FNSEA et l'AAMF défendent une méthanisation qui reste aux mains du monde agricole, quel que soit le modèle de production (cogénération/injection, porteurs de projets agricoles/autres).

« on a créé y'a deux ans, France gaz renouvelable, (...) On échangeait, on s'est dit on est sur une nouvelle filière qui apparaît dans un monde de l'énergie très aride, où il y a une vision très verticale, avec de gros gros projets venant d'en haut. Les projets doivent venir du territoire ». (FNSEA)

« Y'a aussi la volonté dans la profession de conserver le côté cogénération, elle peut être intéressante dans le monde de l'élevage, intéressante s'il y a la valorisation de la chaleur, pour des projets loin des réseaux, c'est pas la priorité car on estime qu'il y a assez d'électricité en France, mais ça n'empêche pas le développement. (...) D'ailleurs les tarifs en cogénération ont été maintenus. » (FNSEA)

Toutefois le poids fort des gaziers et des acteurs de l'énergie, dans le forum des politiques publiques des ENR, au détriment de la voix des professionnels agricoles, conduit en 2018 le Ministère de l'écologie à créer l'équivalent d'un GT sur la méthanisation agricole. Le ministère cherche ainsi à entendre davantage les voix spécifiquement agricoles de la méthanisation. Ce GT prend place au sein de la Commission Thématique Inter-filières Bioéconomie de FranceAgriMer, qui est créée en 2019. Courant 2020, la création du groupe de travail « Méthanisation agricole et agroalimentaire » est actée. Le nouveau rôle de ce GT dans les dynamiques discursives et sa connexion au forum des politiques des ENR sera à investiguer dans les années à venir...

6 Rupture 2018/2020 : la promesse Agroécologique échoue à justifier le coût de financement du biogaz

6.1 Essor rapide de l'injection : un arbitrage budgétaire pour limiter le coût de développement d'une production d'énergie

En février 2018, Sébastien Lecornu secrétaire d'État auprès de la ministre de la Transition écologique et solidaire lance le Plan de libération des énergies renouvelables. Ce plan doit permettre de faciliter la mise en œuvre de mesures opérationnelles pour appliquer la LTECV, la PPE et la loi mettant fin à la recherche et à l'exploitation des hydrocarbures (2017). La méthanisation est une des 3 filières renouvelables concernées, un nouveau groupe de travail Méthanisation est créé. Il est composé de plus d'une cinquantaine d'acteurs issus de fédérations professionnelles (comme l'AAMF, l'ATEE, la FNSEA), de gestionnaires de réseau et fournisseurs (comme GRDF, GRTgaz, ENGIE), d'établissements bancaires et financiers (comme la Banque publique d'investissement (BPI), le Crédit agricole), d'administrations, de collectivités et d'établissements publics (comme l'AMF⁶¹, AMORCE⁶²), de parlementaires, d'associations de défense de l'environnement (France Nature Environnement). Les acteurs agricoles impliqués dans le groupe de travail Méthanisation sont sortis déçus, s'estimant peu entendus dans la multitude de parties prenantes. Ce groupe de travail publie ses conclusions en mars 2018. Elles sont orientées selon 3 axes prioritaires (Ministère de la transition écologique (DGEC, DGPR⁶³), 2018) : 1/ Donner aux agriculteurs les moyens de compléter leurs revenus ; 2/ Professionnaliser la filière méthanisation ; 3/ Accélérer les projets de méthanisation, dans le but de « *se donner les moyens d'atteindre l'objectif de production de 10% de gaz vert en 2030* » (Lecornu & Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018). On retrouve dans le forum des professionnels du gaz, les promesses Revenu et ENR.

Différentes mesures découlent de ces ambitions réaffirmées (dans la suite de la LTECV), qui s'inscrivent dans les promesses Revenu et/ou ENR (DREAL⁶⁴ Grand Est, 2019; Ministère de la transition écologique (DGEC, DGPR), 2018). En Septembre 2018 le Ministère de l'agriculture réunit les acteurs de la filière pour présenter le projet de prêt PBI. Le prêt BPI vise à financer environ 200 installations de cogénération agricole (équivalent à 1M€) à un taux relativement avantageux par rapport à un prêt bancaire sans garantie. Ce prêt équivaut presque à des fonds propres pour les porteurs de projets, il permet de faciliter le financement des installations agricoles. Il est revu à la hausse en 2019⁶⁵. Une seconde mesure porte sur l'instauration d'un complément de revenu pour les installations en cogénération entre 500kW et 1MW car l'appel d'offre antérieur s'avérait peu incitatif pour ces

⁶¹ AMF : Association des maires de France et des présidents d'intercommunalité

⁶² AMORCE est un réseau français d'information, de partage d'expériences et d'accompagnement des collectivités et acteurs locaux en matière de transition énergétique, de gestion territoriale des déchets et de gestion durable de l'eau. Le nom de l'association est « Association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur ».

⁶³ DGEC : Direction générale de l'énergie et du Climat ; DGPR : Direction générale de la prévention des risques

⁶⁴ DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

⁶⁵ Deux prêts sans garantie sont développés par Bpifrance. Le prêt « Méthanisation agricole » (UM de puissance inférieure à 500 kW ou 125 Nm³/h) a une enveloppe de 100 millions d'€. Pour une installation, le prêt est compris entre 100 000 et 500 000 €, sur 3 ans et est soumis à des critères « agroenvironnementaux » : 15 % de cultures dédiées, un taux minimal de 33 % d'effluents d'élevage. Le fonds de garantie du prêt est apporté par le ministère de l'agriculture. Un second prêt « Injection » est proposé par l'ADEME (fonds de garantie de 20 millions d'€. Les candidats doivent notamment « recourir à des pratiques agricoles cohérentes avec le « Guide de pratiques exemplaires en cas de mobilisation de cultures énergétiques » (Sénat & Cuypers (Rapporteur), 2021).

catégories. Une troisième mesure est l'évolution des classes ICPE (décret du 6 juin 2018), pilotée par la DGPR au Ministère de l'agriculture, qui relève le régime d'Autorisation à 100 tonnes/j pour les projets agricoles. L'objectif est de faciliter les procédures administratives d'une majorité des projets agricoles (Encadré 5) mais aussi non agricoles. Une quatrième mesure concerne la simplification de la réglementation « loi sur l'eau » pour que l'épandage de digestat ne relève plus que de la réglementation ICPE (un hiatus existait entre les deux). Un cinquième type de mesure porte sur les conditions de réfaction des coûts de raccordement ainsi que sur la mise en œuvre du droit à l'injection, pour faciliter le raccordement au réseau des projets.

Les Installations classées pour l'environnement (désignées sous l'acronyme ICPE)

La réglementation ICPE répond à différents objectifs de développement durable de l'Agenda 2030, « en particulier les objectifs n°3 (bonne santé et bien-être), n°6 (gestion durable des ressources en eau) et n°15 (préserver et restaurer les écosystèmes terrestres) » (Cour des comptes, 2021, p. 5). Les nomenclatures ICPE visent à maîtriser deux types de risques : les risques accidentels et ceux chroniques. Concernant les risques accidentels, la réglementation ICPE va chercher à limiter leur probabilité et leurs conséquences. Concernant les risques chroniques, c'est-à-dire les impacts que va avoir l'activité en fonctionnement normal, la réglementation ICPE va encadrer ces risques de sorte à ce qu'ils soient acceptables pour l'environnement.

Il existe trois classes ICPE pour les installations de méthanisation agricole : déclaration, autorisation et enregistrement. Le régime de l'installation « définit les règles procédurales à respecter pour avoir le droit d'exploiter une unité de méthanisation ainsi que les mesures à respecter durant l'exploitation » (site web ATEE). Pour les méthaniseurs agricoles la nature et la taille de l'installation va orienter le classement ICPE de l'unité. Un Décret du 6 juin 2018 a modifié la nomenclature des installations classées. Le régime d'autorisation en 2781-1 est passé de 60 tonnes par jour à 100 tonnes par jour. Le régime d'enregistrement en 2781-1 est donc désormais applicable aux installations recevant entre 30 et 100 tonnes par jour.

2781-1. Méthanisation de matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires :	
a) La quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 100 t/j	Autorisation
b) La quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 30 t/j et inférieure à 100 t/j	Enregistrement
c) La quantité de matières traitées étant inférieure à 30 t/j	Déclaration
2781-2. Méthanisation d'autres déchets non dangereux	Autorisation

Tableau : Rubrique ICPE 2781 (Source : ATEE)

L'agrément ICPE pour les classes « Déclaration » et « Enregistrement » reposent principalement sur des dossiers déclaratifs, montrant que le porteur de projet respectera la réglementation. La classe « Autorisation » est nettement plus complexe à obtenir car le porteur de projet doit prouver que l'activité n'aura pas un impact significatif ou aura un impact acceptable en ce qui concerne un ensemble de critères (espèces protégées, paysage, habitats etc.).

Encadré 5 : Les méthaniseurs sont des Installations classées pour l'environnement (ICPE).

Les conclusions du GT Lecornu actent donc une volonté du gouvernement de soutenir la filière, particulièrement l'injection, en facilitant le développement des projets sur le plan technique et financier. Mais le Ministère réalise aussi, depuis 2017 avec la CRE, un travail d'évaluation technico-économique des coûts de l'injection pour réfléchir à leur évolution (Ministère de la transition écologique (DGEC, DGPR), 2018). Si le Ministère de l'écologie ne veut pas baisser les objectifs politiques des énergies renouvelables pour ne pas donner de mauvais signal politique à sa majorité, son objectif, à la demande du Ministère de l'économie et des finances (surnommé Bercy), est « *de faire baisser les tarifs d'achat et le soutien aux ENR* » (Agent administratif du Ministère de l'écologie). La méthanisation contribue en effet au déficit de la France selon le critère de Maastricht.

« Le gouvernement oppose un arbitrage budgétaire, mais ce n'est pas la position officielle, le cabinet s'est fait retoquer car il n'y avait pas eu de chiffrage des coûts globaux de la méthanisation. Le gouvernement n'impose pas une obligation de résultat chiffré mais impose les moyens, donc il faut faire moins cher. » (Agent administratif du Ministère de l'écologie - 2019)

Cet impératif budgétaire est défendu dans l'arène des politiques énergétiques par le Ministère, soutenu par des travaux de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), qui identifient que les projets en injection sont largement rentables. L'objectif est de maîtriser les coûts de développement de la filière dans les années à venir, si la méthanisation suit la trajectoire de la PPE.

« A tarif d'achat et prix du gaz constants, l'atteinte des objectifs de la programmation pluriannuelle de l'énergie représentera un coût pour les finances publiques de 640 M€ pour l'année 2023 et de 1,9 à 2,6 Md€12 en 2028. » (CRE, 2018)

Cette ligne budgétaire s'est construite à la suite d'une augmentation forte du coût de développement de la filière pour la puissance publique, liée au fort développement de l'injection à partir de 2018 (Figure 14 et Figure 15).

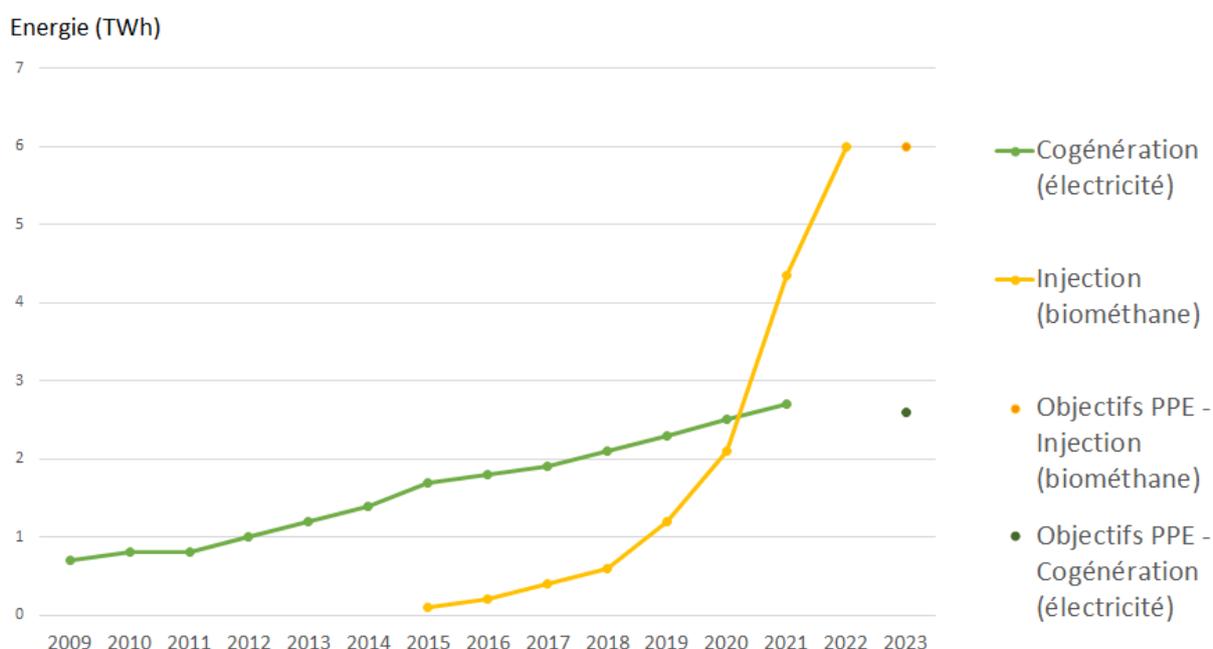


Figure 14 : Evolution de l'énergie primaire annuelle produite par méthanisation à travers la filière cogénération (électricité) et celle injection (biométhane).

Source : Données du Service des données et études statistiques (SDES) mises en forme par l'auteurice.

De plus les objectifs de la PPE sont atteints précocement, ce qui justifie selon le Ministère de l'économie et des finances, une diminution des soutiens. Comme montré sur la Figure 14, en 2020 pour la cogénération la production d'énergie atteint les objectifs de la Programmation pluriannuelle (PPE) de l'énergie attendus en 2023. De plus en mai 2020, les projets en file d'attente représentent une capacité totale de 25 TWh/an alors que la PPE cible 6 TWh en 2023 et une fourchette de 14 à 22 TWh injectés en 2028. Cela laisse donc présager d'une filière en avance sur ses objectifs.

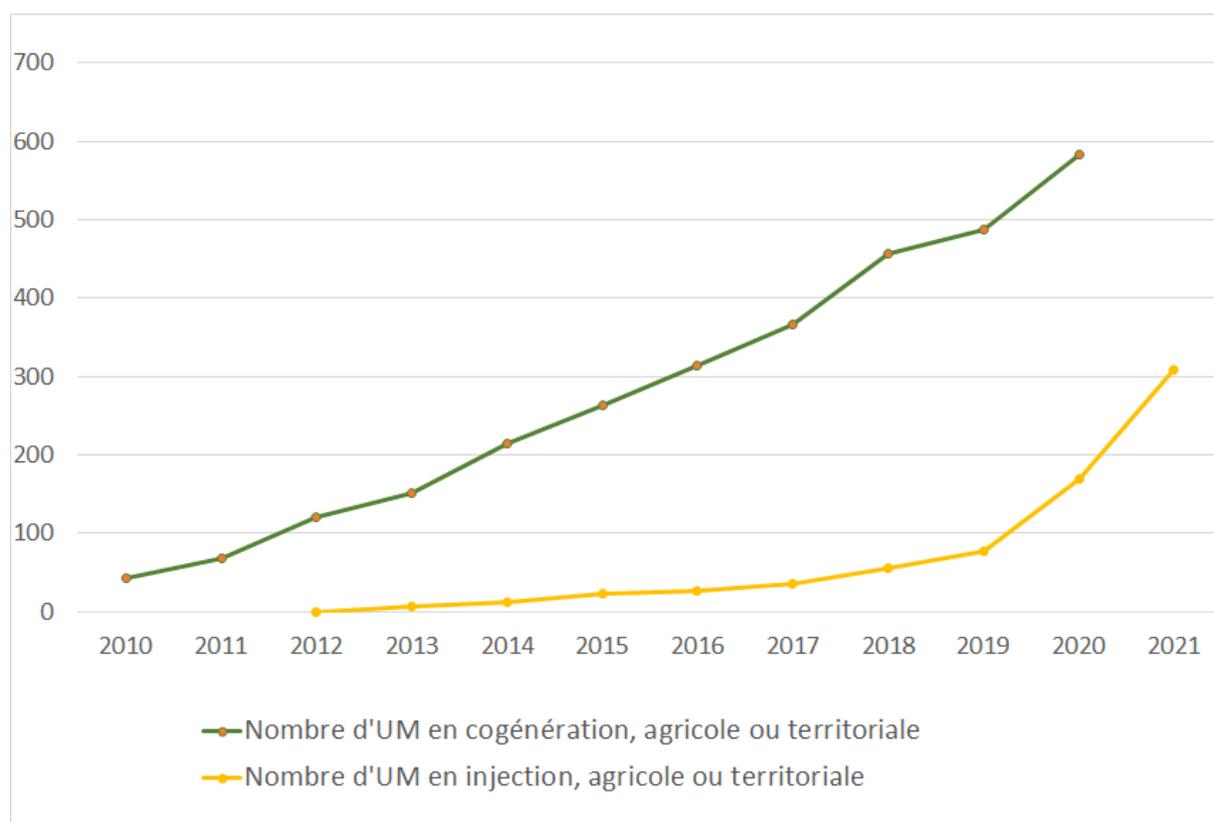


Figure 15 : Evolution du nombre cumulé d'installations de méthanisation en France.

Légende : Les données ont été triées pour représenter spécifiquement les UM dites « agricoles » ou « territoriales » donc sans les UM industrielles, et sans celles adossées à une station d'épuration. UM = Unité de méthanisation. Source : Données SDES, Observer 2021, SER mises en forme par l'auteurice.

Pour limiter l'augmentation trop rapide et non maîtrisée des coûts de la filière mise en avant comme problématique par le gouvernement⁶⁶, l'arène des politiques énergétiques a sélectionné une analyse des pistes de réduction de coûts proposées par un acteur leader de la filière (ENGIE) : celui-ci aurait présenté des pistes de réduction possibles descendant à 6 c€/kWh. Les Ministères de l'agriculture et de l'énergie, et la CRE font le diagnostic d'une filière rentable, qui peut donc baisser ses coûts.

⁶⁶ Les ordres de grandeur de l'évolution des coûts calculés par la CRE dans une délibération publiée en 2021 sont les suivants : La CRE prévoit une hausse des charges de 31,10 % à un an (+ 169,1 millions d'€ en 2022) et de 255,56 % à deux ans (+ 512,4 millions d'€ en 2023).

« Il y a une grande manœuvre au niveau national qui trouve que les nouveaux tarifs sont trop élevés, ça générerait un TRI à 10%, nous on voit plus 5-8% max. Donc là on est en train de se battre : concrètement on a remonté beaucoup de lobbying auprès de la DGEC, pour montrer notamment ce que ça fait sur le terrain. » (Solagro)

L'ampleur de cette réduction est contestée par des acteurs techniques et politiques de la filière, en particulier les acteurs agricoles (FNSEA, AAMF, FGR) (Actu-Environnement, 2020; FNSEA, 2020). Ceux-ci dénoncent une baisse de tarif trop élevée et non concertée qui va mettre à mal la rentabilité de la filière.

GRDF avait de son côté anticipé le besoin d'une baisse de coût en commanditant une étude à ENEA consulting sur les marges de réduction de coût. L'entreprise a un double intérêt pour un biogaz qui ne coûte pas trop cher afin que la filière se développe dans le cadre de contraintes posé par le gouvernement, et pour un biogaz qui demeure suffisamment attractif pour la profession agricole, qui le produit.

« [Les acteurs du gaz] ont du mal à se positionner parce que d'un côté ils estiment que c'est très rentable aujourd'hui avec les tarifs actuels et qu'eux leur but c'est que le gaz, dans le réseau, soit le moins cher possible. Après (...) ils ne sont pas du tout d'accord avec ce chiffre de [6,7c €/kWh]. Une étude ENEA Consulting travaillait sur la réduction des coûts, c'était un peu aussi par anticipation. (...) ils arrivent à quelque chose qui est intermédiaire entre les [6,7 c€/kWh] et la position de la filière qui est [9c €/kWh]. (...) ils proposent une trajectoire de réduction des coûts avec des méthodes de calcul (...) par exemple sur les économies d'engrais, ils sortent des chiffres qui sont très élevés qui ne font pas du tout consensus dans la filière, qui sont assez optimistes on va dire. » (Professionnel du gaz)

De son côté le Club Biogaz défendait une subvention autour de 8,0-9,0 c€/kWh.

Ces idées du forum des professionnels du biogaz, sont ainsi activement portées dans le forum des politiques publiques des ENR. Mais elles ne parviennent pas jusqu'à l'arène car elles n'influencent pas les décisions de l'arène des politiques énergétiques. Ainsi la DGEC (Ministère de l'écologie) présente en 2019 un nouveau projet de PPE qui propose une baisse des tarifs de rachat pour le soutien à l'injection, et une baisse possible des objectifs du biogaz, selon son coût de développement. Alors qu'en 2018, la SNBC agricole proposait une trajectoire de développement du biogaz forte, alors qu'en 2019, la loi « Énergie-Climat » revalorisait la place des gaz renouvelables parmi les objectifs de politique énergétique nationale, en 2020, le décret du 21 avril relatif à la PPE 2019-2023 et 2024-2028 rabaisse les objectifs du biogaz par rapport à la SNBC et à la LTECV. En porte-à-faux avec la SNBC, la PPE conditionne désormais l'atteinte des objectifs de production de gaz renouvelable, énoncés dans la loi de 2015, à une réduction de coût⁶⁷ : « L'objectif est de porter la part des énergies renouvelables à 7 % de la consommation de gaz en 2030 en cas de baisse de coûts de production du biométhane injecté permettant d'atteindre [7,5 c€/kWh]⁶⁸ en 2023 et [6c€/kWh] en 2028 et jusqu'à 10 % en cas de baisses de coûts supérieures » (article 5) (Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie, 2020). Ces objectifs sont à mettre en perspective avec les tarifs de soutien de l'époque alors entre 9-17,5c€/kWh.

⁶⁷ L'enveloppe globale dédiée dans la PPE s'élève à 9,7 milliards d'euros. (Info Contexte - Le projet de l'exécutif pour maîtriser les coûts de développement du biogaz - Contexte, 2020).

⁶⁸ Les tarifs de rachat ont été changé d'unité pour faciliter la comparaison.

6.2 Une remobilisation forte de la promesse Agroécologique pour justifier d'un financement public accru de la filière (2018-2020)

C'est dans ce contexte d'un appel à la filière à réduire ses coûts, qu'entre 2018 et 2020, la promesse Agroécologique est remise au cœur des dynamiques discursives de la méthanisation, au côté de la promesse ENR. Les travaux MethaLAE⁶⁹ menés par Solagro (entres autres avec Trame, AILE et CerFrance) sont clef dans la crédibilisation de cette promesse. Cette étude empirique est une première en France et devient une référence sur le sujet pour l'ensemble des acteurs de la filière (Ministère de l'agriculture, professionnels du gaz, ADEME). Face à la volonté de l'Etat de réduire les subventions, différents acteurs de la filière mobilisent cette promesse pour appeler à inventer de nouvelles modalités de financement de la filière. La monétisation des externalités positives est une voie privilégiée qu'ils explorent pour porter cette idée au sein du forum des politiques publiques des ENR (Figure 16). L'idée est que les bénéfices multiples pour l'agriculture et l'environnement justifient un soutien public accru par les subventions.

« Ils ont comparé en gros le photovoltaïque à la méthanisation. Pour les deux il y a un tarif d'achat depuis 2006, le prix du photovoltaïque a été diminué par cinq en dix ans et la méthanisation on a demandé cinq fois d'augmenter le tarif pour arriver à un prix qui est quatre fois celui du gaz naturel (...) Nous, on devrait leur expliquer que la méthanisation ce n'est pas produire de l'énergie. C'est certes produire de l'énergie, mais c'est toutes ces externalités positives. » (Agent de l'ATEE)

Dans ce contexte, des travaux sont commandités par GRDF auprès d'ENEA consulting sur les marges de réduction de coût et sur la monétisation des externalités du biogaz (ENEA Consulting, 2018). En lien avec les ministères, des travaux sur les externalités sont également menés au sein du Comité stratégique de filière⁷⁰ (CSF) « Nouveaux systèmes énergétiques » créés en 2018. Le groupe Méthanisation de ce CSF est piloté par ENGIE et il initie en 2019 des travaux sur l'évaluation économique des bénéfices du biogaz. Il représente une nouvelle instance de dialogue entre l'administration et le forum des professionnels du biogaz. Quatre groupes de travail se sont formés sur les externalités pour identifier ce qui pourrait être monétisé : « un sur l'eau, un sur les GES, un sur les déchets et un sur la résilience ». Le Club Biogaz appelle aussi à intégrer dans la PPE les conclusions du second rapport Quinet⁷¹, sur la valeur tutélaire du carbone. Cette valeur exprime le coût de production du carbone, et selon le club biogaz, sa prise en compte dans le calcul de la valeur du biogaz conduit à estimer un juste coût de production du biogaz à 8c€/kWh, pour les années 2028-2030. La piste de financement par les externalités positives est ainsi une manière pour les acteurs de la filière de sortir d'une niche de gaz renouvelable, en concurrence directe sur le plan économique avec un gaz naturel alors 3 à 4 fois moins cher. Un concept qui illustre cette remobilisation, dans la communication et la production de connaissance, de la promesse Agroécologique est celui de « culture intermédiaire multi-services » (CIMS). Ce concept est né dans les années 2010, pour désigner une culture intermédiaire

⁶⁹ Les travaux MethaLAE ont été menés entre 2012 et 2016, dans le cadre d'un projet CASDAR, auprès de 24 méthaniseurs et de 46 fermes liées à ces méthaniseurs. Leurs conclusions sont que la méthanisation peut être un levier de l'agroécologie

⁷⁰ « Les CSF ont pour mission d'instaurer un dialogue régulier en premier lieu entre les différents acteurs de la filière. CE dialogue s'articule au travers d'une gouvernance qui intègre l'Etat, les entreprises et les représentants des salariés. Les différents acteurs de la filière identifient, de façon convergente avec l'Etat, dans des « contrats de filière », les enjeux clés de la filière et les moyens d'y répondre. » (source).

⁷¹ En 2008, à la demande du Premier ministre, le Centre d'analyse stratégique a mis en place une mission présidée par Alain Quinet afin de proposer une nouvelle valeur de référence du carbone à intégrer dans l'évaluation des choix d'investissements publics.

non exportée, qui permet de produire un certain nombre de services écosystémiques (Justes & Richard, 2017). Il est remobilisé dès 2018 dans les travaux scientifiques et les discours politiques pour les comparer avec les CIVE afin de mettre en avant les co-bénéfices non énergétiques des CIVE semblables aux CIMS.

Cette mobilisation de la promesse Agroécologique intervient dans un contexte où la controverse sur la durabilité de la méthanisation est de plus en plus visible, dans les médias grands publics et au sein des ONG environnementales. Par exemple FNE, après un positionnement plutôt favorable de la fédération nationale (guide Méthascope), requestionne à partir de 2019 la pertinence de la méthanisation. Cette évolution vient d'une remontée, par les associations locales de nuisances et de critiques environnementales des projets, qui ne sont pas assez concertés avec les acteurs du territoire. En réponse à la controverse, des acteurs de la filière comme le Club Biogaz travaillent à renforcer leurs liens au forum scientifique pour soutenir leur compréhension de la durabilité du biogaz. A travers le CTBM, le club biogaz cherche à rassembler et communiquer les connaissances scientifiques de la filière, pour porter son développement. GRDF tisse aussi des partenariats avec des acteurs de l'environnement (ex) WWF) et du forum scientifique (ex) INRAE) pour travailler sur les conditions de développement d'une méthanisation durable.

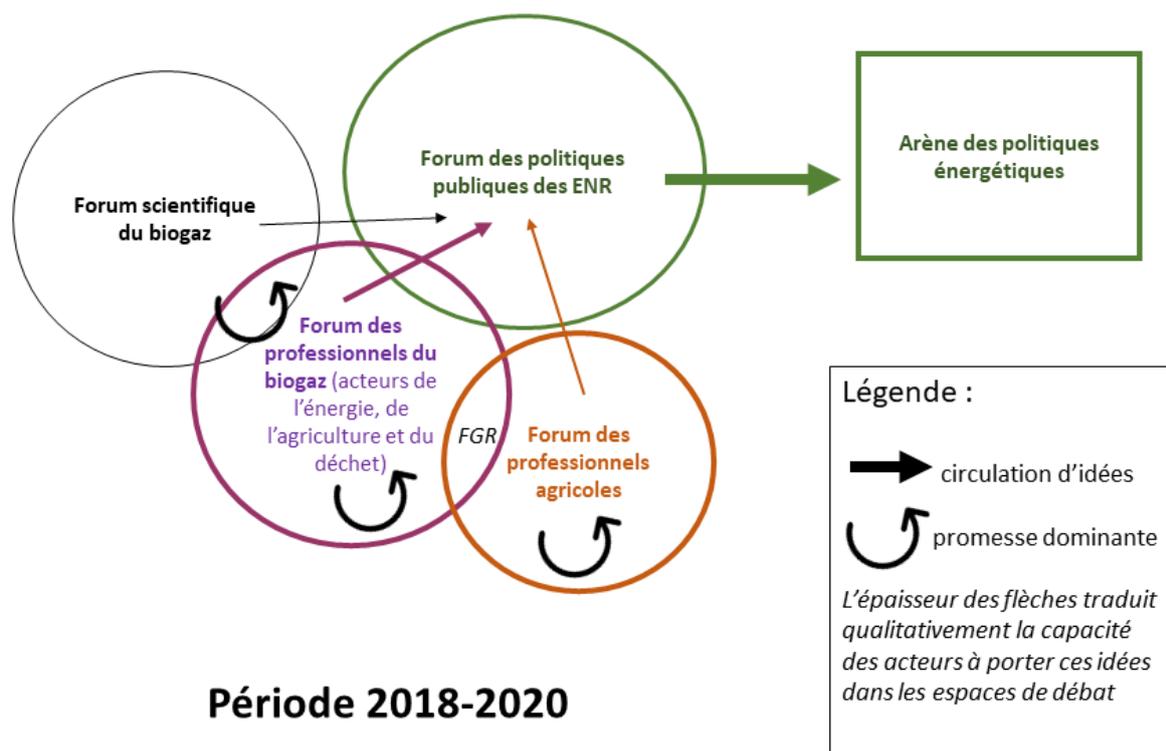


Figure 16 : Espaces de débat et circulation de la promesse Agroécologique entre 2018 et 2020.

Légende : La promesse Agroécologique du biogaz est dominante dans le forum des professionnels du biogaz, et dans le forum des professionnels agricoles. Elle circule aussi dans le forum scientifique. Les acteurs du forum des professionnels du biogaz échouent à la porter dans le forum des politiques publiques des ENR.

Mais la mobilisation de la promesse Agroécologique par ces acteurs ne parvient pas à porter, dans le forum des politiques publiques des ENR, des idées d'instruments de soutien convaincants (Figure 16).

Ni l'étude ENEA, ni l'étude de l'AAMF et de FGR ne donnent de résultats pratiques à mobiliser dans ce forum. L'évaluation des externalités s'avère notamment compliquée, vue la variété des projets et de ses effets qui remontent des territoires :

« Personnellement, je n'y crois qu'à moitié de pouvoir chiffrer, tellement c'est dépendant du contexte (...) Mais en même temps il faut bien un soutien. On ne va pas attendre que le prix du gaz fossile remonte. » (Solagro)

« Y'a un groupe technique sur l'eau là, on se réunit en ce moment-là, aujourd'hui c'est essayer de monétiser les externalités de la méthanisation par rapport à la qualité de l'eau. Wahou, bah les copains, on va se calmer. On va déjà essayer de montrer (...), que ça n'a pas que des impacts négatifs. On sent vraiment la volonté de la monétisation des externalités, qui sont une des clefs du développement de la filière » (Universitaire)

Ces pistes de financement des externalités ne convainquent ni le Ministère de l'économie et des finances, ni le Ministère de l'énergie. Pour le Ministère de l'énergie, les subventions au biogaz qu'il alloue sont liées à une production d'énergie. Les externalités positives en agriculture, portées par les forums professionnels, ne peuvent justifier, pour ce ministère, une consommation de l'enveloppe budgétaire allouée à l'énergie.

« On ne regarde pas les externalités à Bercy, j'avais rencontré le directeur des impôts et des douanes : lui a dit les externalités ça ne rentre pas dans notre logiciel, la lettre de mission c'est un biogaz pas cher » (Syndicat agricole)

« Les externalités c'est bien joli mais ça correspond à combien ? Le financement de la transition écologique se fait sur un compte d'affectation global (ce qui rentre et sort est pour l'énergie). Si on finance la méthanisation sur ce budget alors qu'on finance en fait autre chose (l'agriculture), ça ne va pas. En réunion interministérielle, la position de la direction énergie était claire : « on n'est pas là pour la mise aux normes de l'agriculture » ». (Agent du ministère de l'énergie)

Comme introduit en 6.1, l'Arrêté du 23 novembre 2020⁷² acte la baisse des tarifs de rachat de soutien à l'injection et définit des tarifs transitoires (ligne 7, Tableau 10). Le changement majeur réside dans la trajectoire forte de diminution des tarifs chaque trimestre. Une réduction supplémentaire est aussi prévue en cas de dépassement de la cible trimestrielle de la Programmation pluriannuelle de l'énergie. De plus, une pénalité de 0,5 c€/kWh pour les projets bénéficiant d'une aide à l'investissement de l'ADEME, réduit significativement l'intérêt de faire la demande des aides à l'investissement auprès de l'ADEME. Le cadre tarifaire oriente aussi les installations de grande puissance vers des financements par appels d'offre, afin de favoriser la baisse des coûts.

Ainsi fin 2020, la mobilisation de la promesse Agroécologique échoue à maintenir un tarif de rachat « favorable » du point de vue de la majorité des acteurs de la filière. Elle n'est pas sélectionnée dans le forum des politiques publiques des ENR, pour être portées dans l'arène des politiques énergétiques. Cependant, certaines évolutions du cadre réglementaire laissent supposer que des éléments concernant la controverse sur la durabilité de la méthanisation ont influencé les négociations dans

⁷² Arrêté du 23 novembre 2020 fixant les conditions d'achat du biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel, 2020

l'arène des politiques énergétiques. La suppression de la prime CIVE est probablement liée à la controverse sur les « fausses-CIVE⁷³ ». L'introduction d'une prime pour favoriser la méthanisation d'effluents d'élevage au-delà de 60%, reprend également le modèle de méthanisation défendu par le Ministère de l'agriculture. Enfin, si les instruments de politiques publiques évoluent, la promesse ENR demeure présente dans les discours gouvernementaux, et dans un ensemble d'instruments non budgétaires travaillés dans le forum des politiques publiques des ENR.

7 Nouvelle rupture et nouvelle séquence : une promesse ENR Biométhane relégitimée avec la guerre russo-ukrainienne ?

La naissance du conflit en Ukraine en février 2022 apparaît acter une nouvelle rupture dans la politique publique du biogaz. Cette guerre semble avoir relégitimé dans l'arène des politiques énergétiques la promesse ENR Biométhane. Comme le suggère le plan REPowerEU, en menaçant certains approvisionnements en gaz des européens, cette guerre pourrait renforcer l'intérêt politique du biogaz comme alternative actuelle au gaz naturel (REPowerEU, 2022; Sénat & Cuypers (Rapporteur), 2021). Nous discutons ci-après des apports de notre analyse pour appréhender cette potentielle nouvelle séquence.

DISCUSSION GENERALE DU CHAPITRE 3

Ce chapitre, que nous avons réalisé à la fin de notre travail de thèse, a deux apports principaux. Il permet d'une part de proposer une analyse de la politique du biogaz « repolitisée » ; il permet ensuite de questionner la place des enjeux agricoles dans la construction de la politique d'une filière.

1 Repolitiser l'analyse de la politique publique du biogaz pour tenir compte d'enjeux multisectoriels

Premièrement, notre travail explore un aspect encore peu analysé du développement de la méthanisation - en France comme dans d'autres pays - en s'intéressant aux dynamiques discursives au sein des arènes sectorielles qui organisent sa politique. Il propose une analyse en quelque sorte « repolitisée » des dynamiques de développement d'un biogaz aux multiples promesses. En effet, jusqu'alors, les travaux sur la construction des secteurs de la méthanisation dans différents pays s'intéressaient surtout aux dynamiques de son développement en explorant les dynamiques technologiques, institutionnelles et/ou cognitives (Carrosio, 2013b; Geels & Raven, 2006; Markard et al., 2016; Raven & Geels, 2010). Sur le plan socio-politique, ces travaux s'intéressent entre autres à la

⁷³ Comme le montre les analyses du chapitre 4 et du chapitre 5, la distinction entre cultures énergétiques principales et CIVE n'est pas toujours évidente sur le terrain.

construction des coalitions d'acteurs dans le développement de « niches⁷⁴ de la méthanisation » mais ils ne vont pas jusqu'à analyser le rôle de ces coalitions dans la décision politique qui acte une politique publique favorable ou défavorable. Or le développement de la filière (donc la croissance des niches) est très dépendante du cadre de politique publique (Gustafsson & Anderberg, 2021a; Zhu et al., 2019). En cela, notre travail nous semble prolonger et compléter les travaux déjà réalisés sur la construction de cette filière, entre différents secteurs. Ce travail pourrait être prolongé en documentant davantage les interactions entre arènes et forums du biogaz, dans les pays où le secteur agricole joue, ou est présumé devoir jouer, un rôle important à l'avenir.

Ensuite, les travaux portant sur la politique de la méthanisation analysent surtout les « mix de politiques publiques » (instruments combinés de politiques publiques entre secteurs), les enjeux de cohérence entre les politiques sectorielles ou l'influence de la politique sur le développement de la filière (voir Chung et al., 2022; Gustafsson & Anderberg, 2021; Kanda et al., 2022; Zhu et al., 2019). Nous pensons que nos travaux permettent de prendre du recul sur les « recettes de politiques publiques », en mettant en avant les dynamiques stratégiques derrière leur choix. En France, notre étude peut ainsi permettre de mieux comprendre le choix du mix de politiques actuel et les objectifs politiques (publics ou privés) qui le sous-tendent. Nos travaux permettent ainsi de dépasser le besoin souvent documenté dans la littérature d'une « cohérence au sein du mix de politiques » (Huttunen et al., 2014; Kanda et al., 2022; Muscat et al., 2021) pour s'intéresser davantage aux négociations qui déterminent *in fine* la diversité de ces mix et à leur (in)cohérence. En ce sens, notre étude de cas est intéressante au regard de l'originalité du portage de la promesse Agroécologique française (Gustafsson & Anderberg, 2022) et de ses effets relatifs : elle souligne notamment la relative faiblesse de cette promesse dans la fabrique concrète des politiques de développement de la méthanisation, majoritairement guidée par des considérations énergétiques.

C'est le choix d'une approche orientée sur les politiques publiques (et pas seulement sur les politiques agricoles) qui nous a permis de comprendre les enjeux spécifiques à la considération des enjeux agricoles. Mais au regard de la complexité de cette politique intersectorielle, nous avons aussi dû faire le choix⁷⁵ de mener certains entretiens généraux et rétrospectifs au lieu d'enquêter certains acteurs clefs des différents secteurs (comme le SER, AFG, la CRÉ, ou l'AAMF) ou d'approfondir certaines dimensions notables de la politique de la méthanisation côté énergie (comme l'évolution des conditions d'accès au réseau, le soutien aux usages de l'énergie). Nous n'avons donc pas bien pu démontrer l'existence des forums et peut-être sous-estimé les lignes de fractures internes aux acteurs d'un même forum. Mais faire l'hypothèse de l'existence de ces forums, nous a permis de raconter une histoire plausible et utile à la compréhension de la prise en compte des enjeux agroenvironnementaux dans une politique intersectorielle.

2 Particularité de la place de la promesse agroécologique en France

Nous montrons que la majorité des décisions structurantes du développement de la filière sont prises dans le forum des politiques publiques des ENR, au cœur de réflexions sur les politiques énergétiques.

⁷⁴ Dans ce champ de la littérature, les niches sont définies comme les lieux d'innovations qui, à travers leurs interactions avec les systèmes en place, peuvent ou non être à l'origine de dynamiques de transition écologique (cf. Encadré 9, chapitre 5 pour plus de précision)

⁷⁵ Par manque de temps, aggravé par les épisodes d'épidémie de covid et de confinement en 2020 et 2021

Au-delà des discours et attentes des acteurs de différents forums (dont celui prospectif), c'est la promesse ENR Biométhane qui est, avant 2020, réellement structurante de la fabrique d'un cadre politique favorable au développement du biogaz. Les promesses agricoles (Agroécologique et Revenu) influencent finalement peu les négociations qui prennent place essentiellement dans l'arène des politiques énergétiques. Elles semblent surtout venir conforter une promesse ENR dominante dans le forum des politiques du biogaz.

Le cas français apparaît pourtant spécifique dans la formulation et la place de la promesse Agroécologique dans les espaces de débat. En République tchèque (Martinát et al., 2013), en Italie (Carrosio, 2014), au Danemark (Geels & Raven, 2006), aux Pays-Bas (Raven & Geels, 2010), en Allemagne (Appel et al., 2016), en Finlande (Lyytimäki et al., 2021) les promesses concernant l'agriculture portaient davantage sur le revenu agricole ou le recyclage de l'azote. La France n'est pourtant pas le seul pays où les intrants agricoles jouent un rôle important dans le développement de la filière, c'est aussi le cas au Danemark, en Italie, en France, en République tchèque et en Allemagne, (Gustafsson & Anderberg, 2022). Le cas allemand, antérieur au décollage du secteur en France et proche géographiquement, paraît avoir joué un rôle important à la fois dans le développement de la filière (modèle de développement rapide, ressource techniques, acteurs économiques en commun) et dans la formulation de la promesse Agroécologique française : les acteurs français (énergétiques ou agricoles) qui portaient le développement de la méthanisation voulaient justement proposer un modèle différent du modèle allemand « maïs ensilage-lisier ». C'est finalement cet élément discursif majeur qui a conduit à l'introduction des dispositifs agroenvironnementaux existants : prime aux effluents, seuil de 15% de cultures énergétiques, considération des conflits d'usage en cogénération. Ces dispositifs marquent la volonté de se distinguer du modèle allemand. En 2022, deux ans après nos premières enquêtes, c'est d'ailleurs encore la volonté de limiter les cultures énergétiques qui a conduit à l'évolution en France du décret sur les cultures intermédiaires à vocation énergétiques, dans le but de mieux les distinguer de cultures énergétiques dédiées.

En France, on observe une relative déconnexion entre le foisonnement et la vivacité du débat sur *"le biogaz est-il levier de l'agroécologie ?"* dans les forums prospectifs, scientifiques et des professionnels du biogaz, et la faible considération des arguments agroécologiques (en promotion ou critiques) dans l'arène des politiques énergétiques. Cette déconnexion interroge, au regard des changements que cette politique peut induire en agriculture (cf. notre revue de littérature sur le biogaz en chapitre 1). Le faible rôle de l'arène agricole dans la construction de la politique du biogaz, questionne aussi par rapport au développement d'une énergie qui mobilise le monde agricole (biomasse, main d'œuvre, investissement, connaissances). Le faible rôle des acteurs agricoles et des arguments agroenvironnementaux montre une faible intégration des enjeux propres à l'agriculture et à sa transition. Avec la guerre en Ukraine, cette question devrait se poser encore de manière accrue, puisqu'une remise sur le devant de la scène de la promesse ENR Biométhane, pourrait éclipser davantage les enjeux agro-environnementaux.

Cette prééminence des enjeux énergétiques sur les enjeux agricoles est généralement la règle dans les autres pays européens : la prééminence des enjeux énergétiques est visible dans le coup d'arrêt que des arbitrages budgétaires propres à l'énergie, ont joué sur le développement de la filière (Gustafsson & Anderberg, 2022). En Allemagne Markard et al., (2016) identifient d'ailleurs un phénomène de réorientation (dans les discours et les instruments), au tournant des années 2000, d'une politique de

soutien à une agriculture durable, vers une politique énergétique. Il serait intéressant d'analyser plus précisément dans ce pays, et dans d'autres, les velléités de formulation et de portage de promesses agricoles ou environnementales.

Dans ce chapitre, nous identifions une limite de notre « posture » de recherche : nous sommes entrée sur le sujet de la méthanisation à travers les communautés scientifiques et professionnelles qui travaillent sur les enjeux agronomiques et environnementaux en agriculture. Nous avons donc un biais « d'enclicage » (Olivier de Sardan, 2003) par rapport à ces acteurs des forums scientifiques et des professionnels du gaz. Ce biais induit le risque « *de se faire trop l'écho de sa « clique » adoptive* » donc dans notre cas de surestimer le rôle des acteurs du forum scientifique ou des professionnels de la méthanisation agricole.

3 Une prise en compte différenciée des enjeux agro-environnementaux entre injection et cogénération ?

Le choix fait en France, ces dernières années, d'orienter le développement du biogaz sur l'injection dans le réseau de gaz, n'a pas été choisie par tous les pays européens. La République Tchèque, l'Allemagne et l'Italie ont privilégiés historiquement la cogénération (Eyl-Mazzega et al., 2019; Raven & Geels, 2010) ; mais, après 10 ans de fort développement dans ces pays, des évolutions de la politique publique ont ralenti la croissance de la filière depuis quelques années. Le Danemark a une trajectoire plus proche de celle française, puisqu'en 2014, le pays a mis en place un soutien à l'injection dans le réseau qui a conduit au rapide développement de l'injection (Gustafsson & Anderberg, 2022). D'autres pays comme la Suède, la Norvège et la Finlande, ont historiquement priorisé plutôt la valorisation du biogaz dans le transport (Gustafsson & Anderberg, 2022). Or, dans notre analyse, nous montrons que les enjeux agroenvironnementaux apparaissent davantage portés à travers des instruments de soutien à la cogénération, en lien avec une méthanisation d'effluents d'élevage. La vision du Ministère de l'agriculture (méthanisation d'effluents d'élevage et de déchet) reçoit peu d'écho, entre 2015 et 2018/2020, dans le forum des politiques publiques des ENR, où domine la promesse ENR Biométhane. Les relations entre ces choix de politiques énergétiques (injection versus cogénération), et leurs conséquences en agriculture, gagneraient à être davantage investiguées, en lien avec les communautés d'acteurs impliquées dans la fabrique de la politique.

Chapitre 4 : Effets de la méthanisation sur des systèmes de production agricoles

INTRODUCTION

La revue de la littérature présentée en introduction de ce mémoire de thèse identifie un angle peu documenté dans la littérature sur la durabilité du biogaz agricole : l'analyse de l'influence des transformations induites par le développement du biogaz sur la trajectoire de durabilité des fermes et des territoires agricoles. Pour apporter de premiers éléments de réponse à la sous-question de recherche 3 « *Quelle est la réalité de la promesse agroécologique dans la mise en œuvre de la méthanisation sur un territoire ?* », ce chapitre analyse les bénéfices et risques agroenvironnementaux que la méthanisation introduit au niveau de systèmes de production agricoles. Nous nous intéressons donc à des agriculteurs qui investissent dans des projets de méthanisation qui s'adosent à leurs fermes, et dont ils sont les gestionnaires principaux. Nous précisons donc la question suivante :

Comment la méthanisation agricole fait-elle évoluer la trajectoire de durabilité des exploitations agricoles ?

Pour évaluer la durabilité, nous nous appuyons sur le référentiel normatif de la dynamique agroécologique des écosystèmes construit en chapitre 1, ainsi que sur le cadre théorique de l'Agronomie système, introduit une première fois dans le chapitre 1. Nous étudions spécifiquement dans ce chapitre, les transformations induites par la méthanisation au niveau des systèmes de production. L'originalité de notre travail repose dans sa nature systémique, qui s'attache à analyser la durabilité des changements de pratiques, en lien avec les logiques d'action de l'agriculteur, dans un contexte agricole et social situé. Nous traiterons cette question sur nos deux terrains situés en région Grand Est : les Vosges et le Bas-Rhin.

CADRES THEORIQUES : APPORTS CROISES DE L'AGRONOMIE SYSTEME ET DE LA FARMING SYSTEM RESEARCH⁷⁶

Ce cadre postule qu'une approche systémique est nécessaire pour capturer la logique des systèmes agricoles et de l'évolution des pratiques. Il appréhende le système agricole à travers l'interaction entre trois échelles : celle des systèmes techniques (échelle de la parcelle), celle du système de production (échelle de la ferme) et celle du territoire agricole (échelle du paysage) (cf. Figure 17).

⁷⁶ Le cadre théorique à travers lequel nous portons un regard sur les systèmes agricoles a été exposé rapidement en chapitre 1 et mobilisé une première fois pour l'analyse de la promesse Agroécologique dans les prospectives (chapitre 2). Nous représentons ici les éléments et concepts de ce cadre qui guident notre analyse au niveau du système de production.

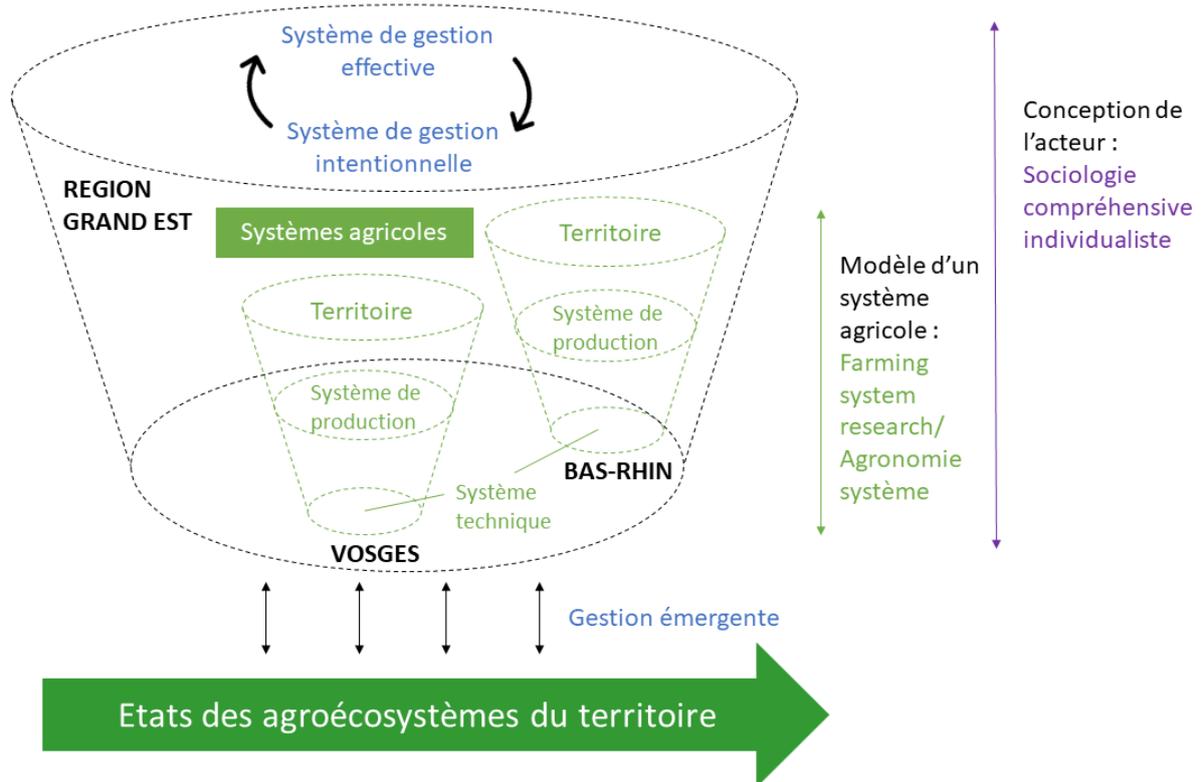


Figure 17 : Mobilisation des cadres théoriques de la Farming system research et de l'Agronomie système pour mener l'analyse de la gestion effective dans un dispositif de recherche emboîté.

Les systèmes techniques comprennent les systèmes de culture, d'élevage et de fourrage. Ils sont caractérisés par des choix techniques (machines, structures, itinéraire technique) et des pratiques qui sont interconnectés : l'évolution d'une pratique affecte souvent les autres (Meynard et al., 2001). Chaque système technique mobilise des ressources cognitives, en main d'œuvre, en finance etc. et s'inscrit dans un milieu biophysique (qu'il transforme en retour). Dans cette perspective, la méthanisation est un nouveau système technique dans les exploitations agricoles, dont l'agronomie système nous conduit à faire l'hypothèse qu'il modifie les liens existants entre les systèmes techniques et donc modifie les pratiques agricoles. La méthanisation, en tant que nouveau système technique, nécessite l'allocation de ressources (travail, terre, connaissances, ressources économiques). Ces choix d'allocations ont des conséquences sur le fonctionnement global du système agricole, puisqu'il implique soit une augmentation de l'activité de l'exploitation agricole, soit une réorganisation de son fonctionnement (Cochet et al., 2007). De tels changements dans le « système dur » (les composantes biologiques et technologiques des systèmes agricoles) doivent en fait être compris à travers « le sens que les acteurs donnent à [celui-ci] » (Darnhofer et al., 2012). Cette perspective place la rationalité des agriculteurs au cœur de l'évolution des systèmes agricoles, les considérant comme des acteurs et des moteurs de l'émergence de nouvelles formes d'organisation sociotechnique (Osty et al., 1998). Ce cadre nous éloigne d'une analyse du développement du biogaz basée sur la « modernisation rationnelle » où les acteurs choisiraient leurs pratiques dans le but d'optimiser rationnellement leur production (par rapport à un objectif économique, productif, écologique etc.). Il nous amène à comprendre la « logique » sous-jacente des agriculteurs (Meynard et al., 2001), en lien avec leur histoire, leur préférence, leur connaissance, leur famille et leurs projets sachant qu'ils peuvent avoir

des objectifs contradictoires dans la gestion du système de production et la mise en œuvre de la méthanisation. L'évolution des pratiques dépend des « *objets matériels (i.e. du sol, des plantes, des bêtes, des structures agricoles) aussi bien que [des] perceptions subjectives, [des] valeurs, [des] préférences c'est-à-dire comment est-ce que l'agriculteur va « donner sens » à ses pratiques* » (Darnhofer et al., 2012).

Cette appréhension des pratiques à partir des interactions entre techniques et milieux se traduit dans deux grands concepts. Le premier, défini par Sebillotte, (1974), est celui d'itinéraire technique : l'itinéraire technique est « *une combinaison logique et ordonnée des techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée* ». La notion de système de culture désigne quant à elle « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par la nature des cultures et leur ordre de succession, et par les itinéraires techniques appliqués à chacune de ces cultures* » Sebillote, (1990). Ces deux concepts aident ainsi à saisir la logique de construction des pratiques, inscrite dans une temporalité, et qui intègre au fur et à mesure du cycle de production de nouvelles informations. Ils permettent d'évaluer la cohérence entre pratiques, en lien avec le contexte spécifique de la décision.

L'évolution des pratiques n'est pas seulement décidée par les agriculteurs ; elle est influencée par les interactions de l'agriculteur avec les conseillers, d'autres agriculteurs, l'industrie agroalimentaire, les consommateurs et les autorités compétentes (Clermont-Dauphin et al., 2014). Comprendre l'importance du contexte territorial et les liens de l'agriculteur au territoire invite à sortir d'une approche sectorielle du biogaz agricole pour étudier le développement du biogaz, adossé à des systèmes de production agricole et à des territoires agricoles. L'évolution des pratiques ne peut donc pas être dissociée de la dynamique complexe du monde social.

Compte tenu de la place importante que peut avoir la méthanisation dans une exploitation agricole et sur un territoire, cette perspective montre qu'un changement, comme l'arrivée d'un méthaniseur, au-delà de la nouveauté des pratiques introduites pour ce système technique, peut avoir des répercussions sur l'organisation des autres systèmes techniques, sur l'ensemble de la cohérence du système de production et sur l'inscription du système de production dans le paysage agricole. Dans ce chapitre nous nous concentrons sur les effets de la méthanisation sur les trajectoires d'évolution des systèmes de production. Notre cadre théorique nous a permis de spécifier deux sous-questions : « *Quelle évolution de la cohérence du système de production en lien avec la méthanisation ? Comment la stratégie de gestion de l'agri-méthaniseur fait évoluer les systèmes techniques de la ferme, en lien avec son territoire et avec quels effets sur l'agroenvironnement* » ? Dans le prolongement de ce travail, nous analyserons au chapitre 5, certaines évolutions au niveau du territoire.

MATERIEL ET METHODE

1 Choix et caractéristiques du terrain d'étude

Comme présenté en chapitre 1, nos travaux sur le développement de la méthanisation en agriculture portent sur la région française du Grand-Est, dans le cadre d'un dispositif emboîté (*Figure 18*).



Figure 18 : Carte des territoires enquêtés en France.

Légende : Nous étudions les transformations que la méthanisation induit au niveau des systèmes de production dans les deux départements entourés en rouge.

Le développement de la méthanisation dans la région Grand Est est dynamique depuis 2014 (*Figure 19*). En juin 2021 (période de nos premiers entretiens avec des agri-méthaniseurs), près de 150 unités de méthanisation sont en projet, pour des mises en service au plus tard en 2023 (*Expobiogaz, 2021*).

NOMBRE DE PROJETS AIDÉS, CUMULÉS PAR DÉPARTEMENT

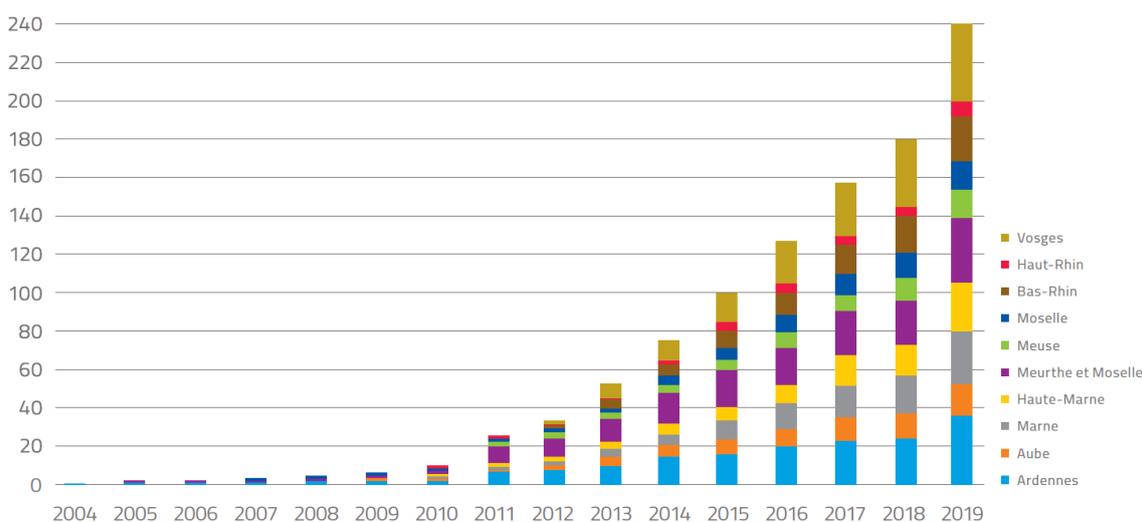


Figure 19 : Nombre de projets de méthanisation aidés, cumulés par département en région Grand Est (*Source Appel à projet Méthanisation 2022 Grand Est*).

Nous avons choisi de comparer deux départements, les Vosges et le Bas-Rhin (*Figure 18*), dans lesquels les dynamiques de développement de la méthanisation diffèrent, et qui ont des contextes agricoles contrastés (*Figure 20*, *Figure 21* et Encadré 6). L'objectif est de saisir une diversité de systèmes sociotechniques à travers l'étude des filières agricoles et de méthanisation.

Dans les Vosges, en janvier 2021, on compte 41 unités de méthanisation (UM), dont une seule en injection car le réseau gazier y est en 2021 encore peu développé. La distribution de gaz sur un territoire nécessite en effet pour le distributeur de gaz d'avoir un nombre suffisant de consommateurs finaux. Le nombre de méthaniseur a fortement augmenté depuis 2016. Ces unités se développent dans un département caractérisé par deux grands ensembles pédoclimatiques : la Lorraine des plaines et des plateaux, et les montagnes vosgiennes. Dans les montagnes vosgiennes, les reliefs et contraintes climatiques plus marquées favorisent des systèmes d'élevage à dominante herbagère (bas-niveau d'intrants, bio) avec des prairies permanentes, ou des systèmes laitiers spécialisés (*Figure 20*). Les plaines et plateaux sont orientés principalement vers l'élevage et la polyculture-élevage.

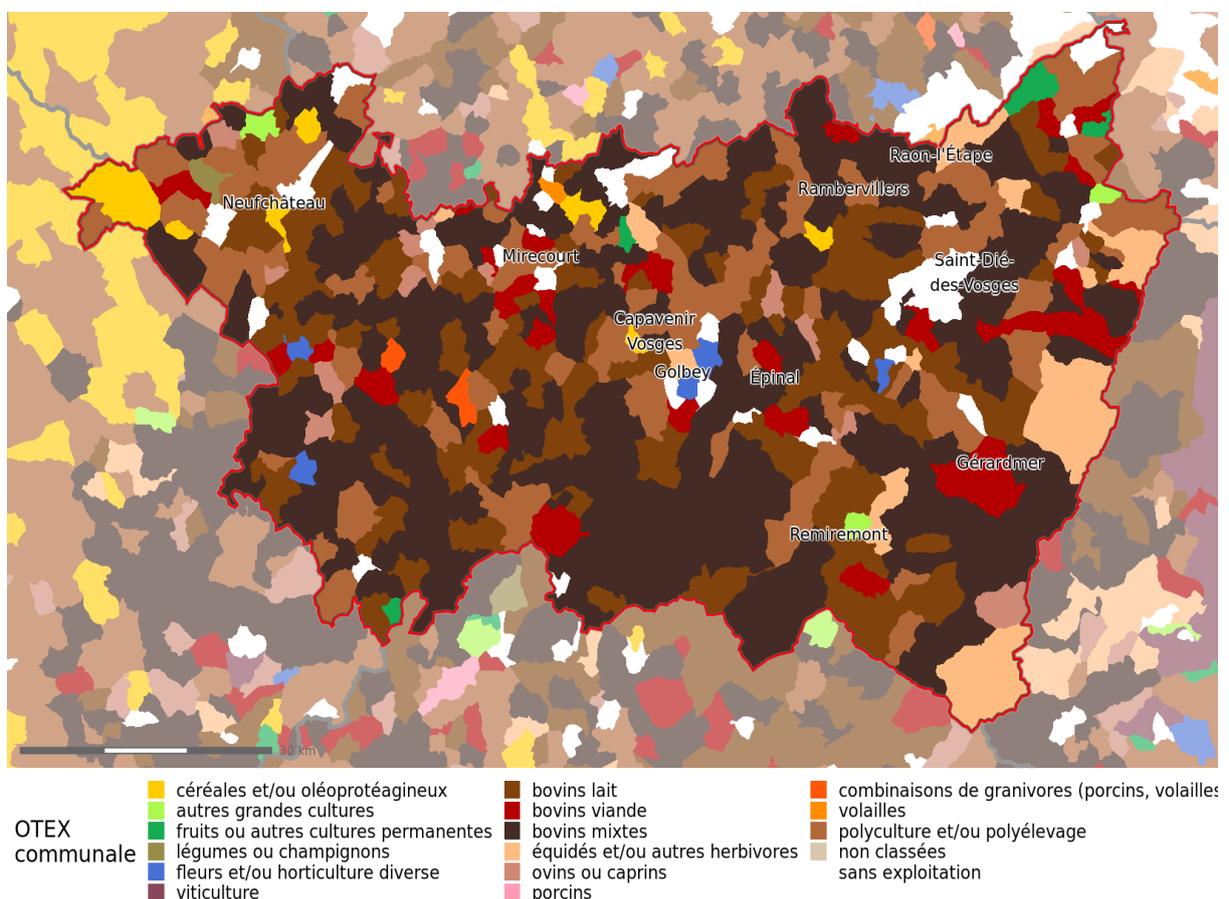


Figure 20 : Orientations technico-économiques communales des activités agricoles dans le département des Vosges (88).

Légende : OTEX = Orientations technico-économiques des exploitations. Source : Agreste issue du recensement agricole de 2020).

Dans le Bas-Rhin, on observe un développement de la méthanisation moins fort et plus récent. Une première vague de construction entre 2012 et 2014 (7 UM en fonctionnement en 2018) est suivie

d'une seconde vague plus intense ces 3 dernières années (17 UM en janvier 2021). Une augmentation forte des projets est prévue pour les 3 prochaines années selon les acteurs de la filière. Le département du Bas-Rhin est caractérisé par une agriculture plus diversifiée que celle des Vosges, implantée dans 3 grands ensembles agricoles. Le premier est la plaine d'Alsace aux sols profonds fertiles facilement labourables et souvent irrigables : des grandes cultures céréalières (maïs grain) et oléo-protéagineux y sont cultivées, et l'élevage (de porcs et bovins) y valorise la production végétale. Le deuxième ensemble est le *ried* alsacien : il se caractérise par une présence de systèmes de polyculture élevage, par des productions en polyculture élevage avec maïs irrigué, ainsi que de la viticulture. Le troisième ensemble est celui des montagnes vosgiennes, aux relief et contraintes climatiques marquées. Il est caractérisé par des productions bovines viandes, mixtes ou lait, où domine les surfaces toujours en herbe (cf. Figure 21).

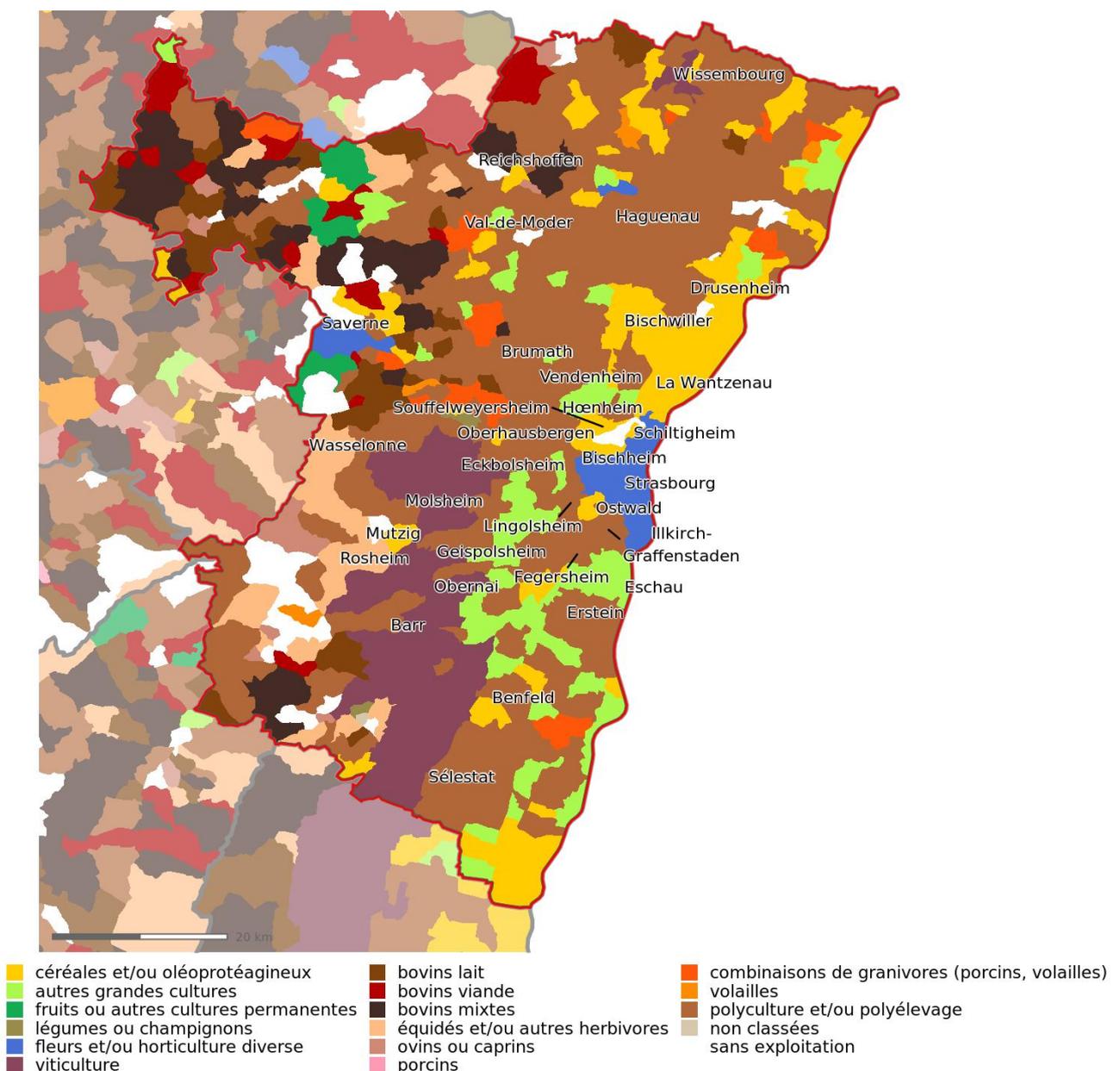


Figure 21 : Orientations technico-économiques communales des activités agricoles dans le département du Bas-Rhin (68) - Source Agreste issue du recensement agricole de 2020.

L'Encadré 6 présente les grandes dynamiques des territoires agricoles des Vosges et du Bas-Rhin durant les 10 dernières années.

Dans les Vosges, les secteurs d'élevage connaissent particulièrement des restructurations ces 20 dernières années avec -56% de producteurs laitiers entre 1996 et 2015. Toutes OTEX confondues, les dynamiques de concentration sont fortes avec -33% en nombre d'exploitations agricoles entre 2010 et 2020 (disparition principalement des petites et moyennes exploitations), parallèlement à une baisse du nombre total d'UGB de -6% (Agreste, 2021b). La dynamique de concentration est particulièrement forte pour les systèmes de production bovins mixtes et de polycultures, elle est moins forte pour les systèmes plus spécialisés bovins lait (-16%) et bovins viandes (-7%). La vache allaitante y est en effet peu rentable et décroît ces dernières années alors que l'élevage laitier se maintient un peu mieux économiquement. Ces dynamiques s'accompagnent d'une baisse de l'emploi agricole avec -17% entre 2010 et 2020. Les cultures d'oléagineux ont diminué de -40% entre 2010 et 2020 (Agreste, 2021b) tandis que les productions de céréales sont plutôt constante. La conversion en AB a été forte depuis 2010, avec 15% des exploitations certifiées Agriculture biologique en 2020 contre 4,5% en 2010. Les diversifications dans les énergies renouvelables ont également augmenté : 4% des exploitations sont concernées en 2020 contre 0,1% en 2010 (Agreste, 2021b).

La dynamique de concentration des fermes est un peu moins forte dans le Bas-Rhin que dans les Vosges, même si elle est aussi bien présente : les exploitations ont diminué en nombre de -25% entre 2010 et 2020, et ont augmenté de taille (+ 33% de la surface moyenne et légère augmentation des cheptels allaitants et laitiers). La concentration concerne aussi bien l'élevage bovins, porcins que la volaille (poulet de chair, pondeuses). La baisse d'emploi est moins marquée que dans les Vosges entre 2010 et 2020. Les surfaces de production céréalières s'y maintiennent ces dernières années (Agreste, 2021a), les prairies STH et fourragères augmentent tandis que diminuent les plantes industrielles à fibre (-22%), en particulier la betterave baisse au profit de la pomme de terre.

D'un point de vue économique, dans les Vosges comme dans le Bas-Rhin, le produit brut standard a diminué entre 2010 et 2020 pour les micro-, petites et moyennes exploitations, tandis qu'il a augmenté pour les grandes exploitations. Le produit brut standard demeure le meilleur dans les Vosges Dans les Vosges, pour les systèmes laitiers, et dans le Bas-Rhin pour les systèmes viticoles et porcins. Des problèmes agronomiques sont aussi prégnants dans ces deux départements, comme dans d'autres régions françaises. Les forts aléas climatiques (sécheresse d'été et d'automne) mettent à mal les productions historiques : les rendements en maïs et en blé sont de plus en plus imprévisibles et baissent en moyenne. La rotation colza-blé-orge est dans une impasse technique à cause du développement des résistances de bio-agresseurs du colza aux traitements insecticides.

Encadré 6 : Dynamiques des territoires agricoles des Vosges et du Bas-Rhin (Source : Agreste, 2021a ; 2021b).

En 2020, en Grand Est, on voit nettement se différencier les filières de méthanisation par injection et par cogénération. Elles se distinguent par leur taille avec des projets de cogénération en moyenne de 425 kWel de puissance installée pour des projets en injection de 211 Nm3/h (~650kWel) (ADEME & Région Grand Est, 2022). Elles se distinguent aussi par leurs intrants : les projets en injection consomment davantage de matières végétales (CIVE, cultures énergétiques ou résidus de culture) que les unités en cogénération (cf. Figure 22). Dans les Vosges, la méthanisation s’est développée quasi-essentiellement en cogénération tandis que dans le Bas-Rhin, les filières de cogénération et d’injection coexistent, avec des projets récents davantage en injection.

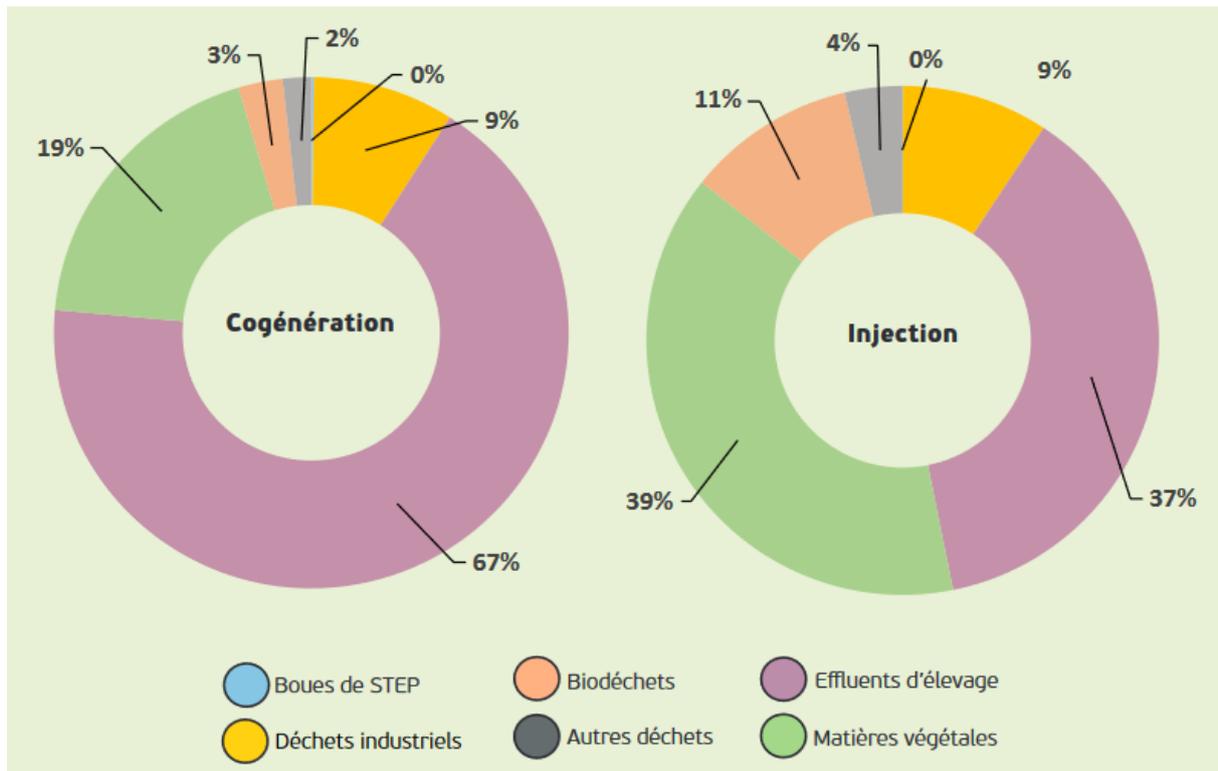


Figure 22 : Répartition des tonnages moyens de différentes catégories d'intrants par mode de valorisation, en Grand Est (hors stations d'épuration et unités de méthanisation industrielles).

Source : « Observation régionale de la méthanisation en région Grand Est » (ADEME & Région Grand Est, 2022).

Les deux départements enquêtés diffèrent donc (i) par le type de méthanisation (majorité en cogénération dans les Vosges versus développement de l'injection en Bas-Rhin) (ii) par leur contexte agricole (dominante polyculture élevage dans les Vosges versus OTEX plus diversifiées dans le Bas-Rhin avec des productions de grandes cultures, de polyculture-élevage, de maraîchage, de porc et de volailles). Leur comparaison des Vosges et du Bas-Rhin permet de mieux saisir ce qui est propre à la méthanisation et au contexte agricole.

2 Recueil de données

Nous nous appuyons sur des enquêtes conduites auprès d'agri-méthaniseurs dans les Vosges et le Bas-Rhin. Les premières exploitations agricoles enquêtées dans les deux départements ont été identifiées grâce aux entretiens exploratoires avec deux conseillers de chambres d'agriculture départementales. Nous avons choisi les agriculteurs enquêtés afin de saisir au sein de ces départements une diversité de systèmes techniques de méthanisation et de systèmes techniques agricoles. Les premiers agri-méthaniseurs enquêtés, nous ont donné à leur tour les contacts d'autres agriculteurs, que nous contactons s'ils répondaient à nos exigences de diversité. Le choix des enquêtés a donc suivi la méthode "boule de neige", pour pouvoir évoluer sur notre terrain d'enquête (Biernacki & Waldorf, 1981; Handcock & Gile, 2011), complétée de recherche parallèle sur les exploitations enquêtées dans la littérature grise ou auprès des acteurs du territoire.

Nous avons cherché à couvrir une diversité sur les critères suivants (*Tableau 12*) :

- OTEX de l'exploitation du porteur de projet contacté (élevage allaitant, laitier, polyculture-élevage, élevage porcins, céréalier)
- Nombre de porteurs de projets dans l'unité de méthanisation (unité de méthanisation individuelle, petit ou moyen collectif)
- Date de mise en route de l'unité de méthanisation (le plus souvent possible avant 2018 pour avoir un recul sur les changements de systèmes de production)
- Puissance installée de l'UM
- Mode de valorisation de l'énergie (cogénération ou injection, et atelier de valorisation d'énergie sur la ferme)
- Nature des intrants méthanisés (dans la mesure des informations que nous avons réussi à recueillir sur ce critère avant l'enquête)

Nous avons cependant découvert au fur et à mesure des enquêtes que certains projets avaient déjà évolué sur certains critères, par rapport aux informations qui nous avaient été données. Certaines unités de méthanisation sont aussi rentrées en fonctionnement plus tardivement que ce que la littérature grise indiquait (donc après 2018), nous les avons tout de même conservées dans nos données pour certaines analyses. Nous avons ainsi enquêtés 23 agri-méthaniseurs correspondant à 19 projets de méthanisation différents (*Tableau 12*). Chaque agriculteur a été interviewé entre 2 et 3 heures, en deux fois : un premier entretien en 2021 avec généralement une visite du site de méthanisation sauf pour trois agriculteurs où l'entretien a été réalisé par téléphone pendant qu'ils travaillaient sur leur tracteur ; un second entretien complémentaire a été réalisé par téléphone entre janvier et juin 2022. Les entretiens ont été retranscrits en majorité par l'autrice (cf. *Tableau 42* en Annexe pour plus de détails).

La construction de la grille d'entretiens a été pensée initialement afin d'explorer au cours d'un entretien semi-directif, les thèmes suivants : processus de montage du projet de méthanisation (ressources, relations de travail, difficultés rencontrées), dynamiques de transformation des systèmes techniques agricoles liée à la mise en place de l'unité de méthanisation (description des systèmes techniques avant/après) ; bilan sur ce que la méthanisation a apporté à l'agriculteur et à la ferme et sur le fonctionnement actuel (ressources, relations de travail, difficultés rencontrées). Puis au fur et à mesure des entretiens, notamment pour des questions de temps d'entretien, les thèmes abordés ont été resserrés autour des thèmes structurants. L'entretien commençait toujours par le recueil de données sur 1/ les systèmes techniques agricoles actuels et le système technique de méthanisation ;

2/ l'origine et l'histoire du projet de méthanisation. Ensuite l'entretien se poursuivait sur la manière dont la méthanisation avait modifié l'exploitation agricole en s'attachant à saisir :

- L'évolution ou non des systèmes techniques et des pratiques de l'agriculteur entre avant/après la méthanisation ;
- Les logiques d'action derrière ces évolutions ou le maintien des pratiques antérieures.

Territoire		Vosges	Bas-Rhin
Nombre de fermes de chaque OTEX	Polyculture-élevage lait	3	2
	Polyculture-élevage mixte	6	4
	Elevage viande herbager (ovin et bovin)	1	1
	Céréalière	1	2
	Elevage monogastrique	0	3
Caractéristiques des surfaces des fermes : moyenne et [gamme de variation]	SAU ⁷⁷ moyenne (ha)	330 [80-680]	146 [40-370]
	Surfaces en prairies permanentes moyenne (ha)	134 [25-360]	47 [0-150]
Type d'unité de méthanisation (UM) dans lesquelles les agriculteurs ont investi (nombre)	UM individuelle	6	5
	Petite UM collective (N=2)	1	2
	Moyenne UM collective N = [4-7]	3	2
Nombre total d'UM enquêtées		10	9
Nombre total d'agriculteurs-méthaniseurs enquêtés		11	12
UM avec acteurs extérieurs ⁷⁸ au monde agricole		1	2
Année de mise en fonctionnement de l'UM	Intervalle entre l'année de l'UM la plus ancienne et l'année de l'UM la plus récente	[2013-2019]	[2012-2020]
Puissance installée moyenne des UM enquêtées	Cogénération (kW)	404	542
	Injection (Nm3)	140	218
Mode de valorisation du biogaz (cogénération ou injection)	Nombre d'UM en cogénération/ nombre total d'UM	9 sur 10	5 sur 9

Tableau 12 : Caractéristiques des exploitations agricoles et unités de méthanisation enquêtées - UM = Unité de méthanisation.

L'exploration de ces deux axes a été menée avec notre compréhension sociologique de la stratégie des acteurs, exposée en chapitre 1. Nous avons donc prêté attention dans nos entretiens aux 3 catégories « activité », « ressources/contraintes » et « relations de travail ». Nous reprenons le terme de l'Agronomie système « logique d'action » dans l'analyse de nos résultats.

⁷⁷ La SAU (Surface agricole utilisée) comprend les surfaces en terres labourables et les surfaces en prairies permanentes.

⁷⁸ Les acteurs extérieurs peuvent être des industriels de l'agroalimentaire ou des déchets.

Nous avons également enquêté trois agriculteurs ayant envisagé de participer à un des projets de méthanisation enquêté, avant de renoncer. L'objectif était de prendre du recul sur les données recueillies à propos de l'attractivité économique de la méthanisation. Ces entretiens ont duré entre 20 et 45 minutes.

3 Analyse des données

L'analyse de données a été réalisée en trois temps. Dans un premier temps, pour caractériser dans chacune des exploitations les changements de pratiques, les impacts agroenvironnementaux associés et les logiques d'action sous-jacentes, nous avons construit une grille de 12 descripteurs. L'analyse des enjeux agroenvironnementaux, comme dans le chapitre 2, est réalisée par rapport au référentiel normatif de la politique agroécologique française. Chaque descripteur permet de relier, de manière qualitative, l'évolution des pratiques observées, à une évolution associée de la durabilité de l'exploitation agricole. Ces descripteurs ont été construits à partir d'indicateurs standards de la littérature et à partir des entretiens réalisés avec les agriculteurs. Ils recoupent quatre grandes thématiques et sont représentés dans la Figure 23 :

- A. Descripteurs (n°1, 2 et 3) sur l'évolution des techniques de fertilisation et des enjeux de tassement liés à la fertilisation
- B. Descripteurs (n°2, 3, 4, 8, 10, 11) liés à l'évolution de la gestion de l'N au niveau de l'exploitation et aux enjeux de bouclage du cycle de l'azote
- C. Descripteurs (n° 5, 6, 7, 8, 9) liés aux évolutions de l'assolement sur la ferme, en relation avec des enjeux de diversification, de réduction de la consommation de pesticides, et de gestion durable de l'eau
- D. Descripteurs (n°10, 11, 12) caractérisant l'évolution des ateliers d'élevages et les enjeux de gestion des effluents (bilan GES) et d'autonomie protéique

Nous précisons dans le Tableau 13 les descripteurs retenus, leurs modalités d'estimation, et leur lien aux impacts agroenvironnementaux.

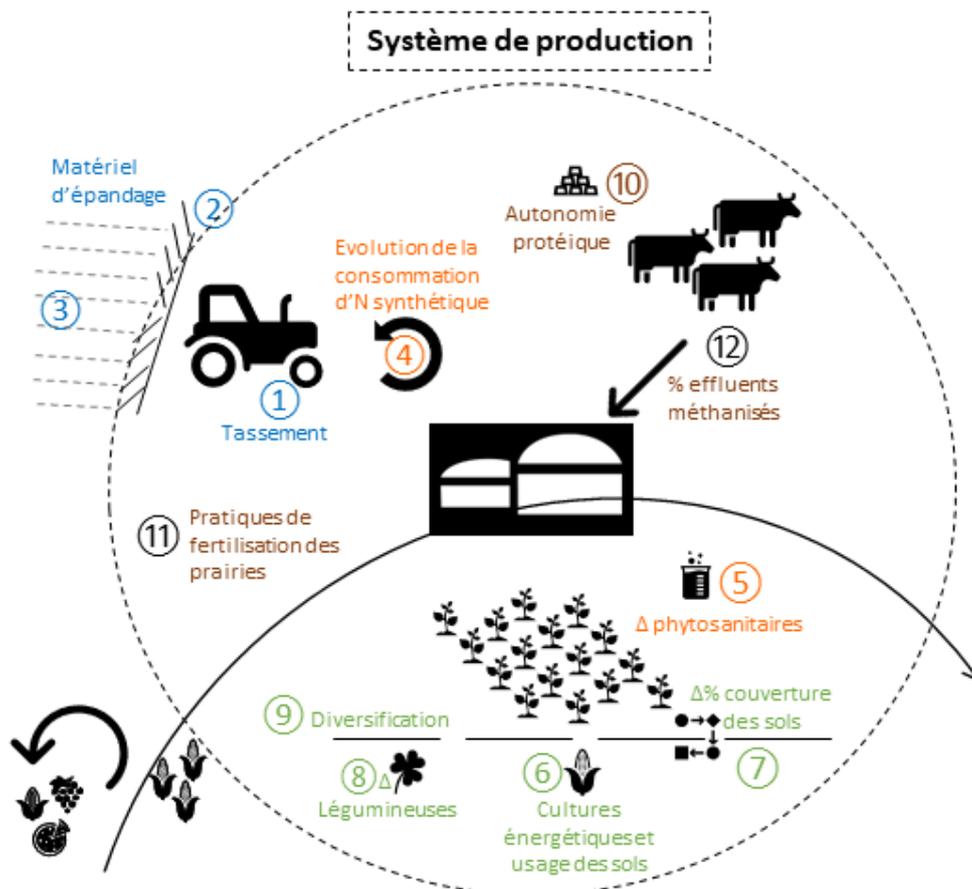


Figure 23 : Représentations des descripteurs de durabilité sur les différents systèmes techniques d'un système de production (ici avec un atelier d'élevage).

Si nous tenons compte des enjeux de la promesse ENR associés à certaines évolutions de pratiques, nous n'avons pas analysé l'ensemble des enjeux « gaz à effet de serre » introduits par la méthanisation, cela car ce sont les enjeux les plus étudiés dans la littérature pour l'analyse de la performance énergétique du système de méthanisation. De plus, nos données qualitatives ne permettraient pas une analyse holistique du bilan GES. Elles contribueront cependant à enrichir les hypothèses à poser sur les pratiques qui les font évoluer.

Dans un deuxième temps nous avons analysé les logiques d'action qui sous-tendent les changements (ou l'absence de changement) de pratiques, de technologies ou de structures agricoles (cf. Figure 24). Pour cela nous analysons comment chaque agri-méthaniseur a fait évoluer la gestion de son système de production et la structure de son exploitation agricole.

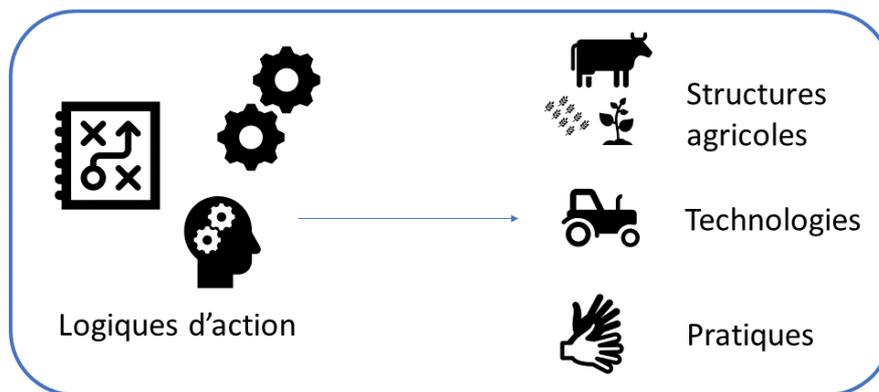


Figure 24 : Schématisation de la démarche d'analyse des évolutions sur les systèmes de production.

L'objectif est de pouvoir décrire l'évolution globale du système de production et de sa trajectoire de durabilité, en lien avec son insertion dans le territoire. Tous les changements ne vont pas être décrits : nous analysons ceux qui sont susceptibles de faire bouger les descripteurs agroenvironnementaux de la Figure 23, documentés dans la littérature.

Descripteur n°	Descripteur	Méthode d'estimation du descripteur	Bibliographie qui explicite le lien entre évolution des pratiques et évolution de l'impact agroenvironnemental	Enjeux agro-environnementaux concernés
D1	Evolution du tassement des sols	On estimera les risques de compaction du sol à partir (i) de la période d'épandage (ii) du matériel d'épandage et de décompaction (iii) de l'analyse de la compaction par l'agriculteur et sa stratégie vis-à-vis des risques de tassement	Le passage avec du matériel d'épandage lourd sur les sols de manière répétée, lorsque le sol est humide (l'humidité du sol est le premier facteur qui influence la compaction), augmente les risques de tassement du sol (Hamza & Anderson, 2005). Le tassement varie selon les conditions pédoclimatiques locales (Hénin et al., 1969). Un sol tassé conduit à des consommations accrues d'N et des risques accrus de pollutions au N ₂ O, et il diminue l'activité biologique et la fertilité du sol (Sitaula et al., 2000).	Santé des sols, GES
D2	Respect des bonnes pratiques d'épandage de digestat pour limiter la volatilisation	On caractérise les conditions de dépôt du digestat au sol, selon des risques décroissants de volatilisation de composés gazeux, en particulier azotés : épandage sans pendillard ; épandage avec pendillard simple ou rampe pendillard à patin et sabot au sol ; épandage avec injection/ enfouissement immédiat	Les conditions d'épandage du digestat modifient le bilan GES de la méthanisation et les risques de pollution (eau et air) (Beausang et al., 2021), avec des émissions de NH ₃ mais aussi de N ₂ O et CH ₄ lors de l'épandage (Boulamanti et al., 2013). La littérature montre aussi (Walling & Vaneeckhaute, 2020) que les impacts GES et la volatilisation peuvent être très variables selon les méthaniseurs, d'où l'importance du respect des bonnes pratiques d'épandage (Lukehurst et al., 2010; Nicholson et al., 2017) pour les limiter. Le guide (Carton & Bulcke, 2021) établit des classes de perte d'azote en fonction des outils d'épandage utilisés, qui nous ont inspirée pour construire l'indicateur : épandage sans pendillard (40-90% d'N ammoniacal perdu) ; épandage avec pendillard simple (15-20% d'N ammoniacal perdu) ou épandage avec rampe à patin et sabot au sol (10-15% d'N ammoniacal perdu) ; épandage avec injection/enfouissement immédiat (entre 0 et 10% de volatilisation).	GES, qualité de l'eau

D3	Respect des bonnes pratiques d'enfouissement	On caractérise les conditions d'enfouissement du digestat : enfouissement immédiat ; enfouissement juste après épandage dans les 6h ou enfouissement à plus de 6h/pas d'enfouissement	Comme pour D2, la littérature montre que les conditions d'épandage du digestat influencent le bilan GES de la méthanisation et que les impacts peuvent être très variables selon les méthaniseurs, d'où l'importance du respect des bonnes pratiques comme l'enfouissement (Lukehurst et al., 2010; Nicholson et al., 2017) pour les limiter. Nicholson et al. (2017) montrent notamment que les émissions de NH ₃ ont lieu en majorité dans les 6 heures après épandage, pour un digestat issu de biodéchets alimentaires. On prendra donc comme critère pour caractériser les risques de volatilisation, un enfouissement immédiat, dans les 6 heures, ou plus tardif.	GES, qualité de l'eau
D4	Evolution de la consommation d'N synthétique sur l'exploitation agricole	(i) Evolution de la consommation totale d'N de synthèse sur l'année ; (ii) Analyse de la substitution d'N minéral par du digestat sur la rotation ; (iii) Estimation des évolutions des importations d'azote organique sur l'exploitation	Hoang et al., 2020 font la synthèse des flux d'N et du niveau pertinent d'analyse (le système de production) pour caractériser l'évolution de la consommation et du recyclage de l'N. Tubiello et al. (2013) quantifient les impacts GES de la fertilisation azotée minérale ; Khan et Mohammad (2014) démontrent les effets d'eutrophisation liée à l'usage d'N minéral. Basosi et al. (2014) et Tian et Niu (2015) caractérisent les impacts de l'usage d'N minéral sur l'acidification des sols.	GES, qualité de l'eau, et santé des sols
D5	Evolution de la consommation de pesticides dans la rotation, au dire de l'agriculteur	Analyse de la consommation directe et indirecte de pesticides : diminution/ stabilité/ augmentation sur chacune des cultures en lien avec l'évolution de la rotation	Rani et al. (2021) et Meynard et Girardin (1991) caractérisent les effets négatifs des pesticides sur la biodiversité et la pollution de l'environnement (eau et air).	Qualité de l'eau, biodiversité
D6	Substitution de cultures alimentaires par des cultures énergétiques	Analyse de l'évolution de l'usage des sols	La compétition food-energy pour l'usage des terres augmente les risques de changement d'usage des sols et les ressources associées comme l'eau (IPCC et al., 2019).	GES, usages des sols, gestion de la ressource en eau

D7	Evolution de la couverture des sols	Caractérisation de l'introduction d'intercultures (surface et espèce)	La couverture des sols et la diversification de la rotation permet de réduire la consommation de pesticides (Schott et al., 2010), favorise la biodiversité et la séquestration de carbone (Kremen & Miles, 2012), en particulier les couverts intermédiaires limitent l'érosion du sol (Jian et al., 2020)	Biodiversité (pesticides), GES, stockage de carbone dans le sol
D8	Evolution de la culture de légumineuses	(i) Pratiques de réintroduction/arrêt de légumineuses dans la rotation, (ii) évolution de la part de légumineuses dans les prairies (d'après observation par l'agriculteur)	Les bénéfices de l'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture sont une réduction des émissions de GES (Jeuffroy et al., 2013), une séquestration accrue de carbone, une augmentation de la biodiversité des systèmes cultivés (Stagnari et al., 2017)	Biodiversité, GES, stockage de carbone et autonomie protéique
D9	Diversification de la rotation	Diversification caractérisée selon (i) l'introduction de cultures de diversification (càd autres que les cultures principales les plus présentes dans les Vosges et en Alsace : colza, blé tendre, orge d'hiver, maïs (Agreste 2016) ; (ii) la pratique de cultures intercalaires (iii) l'introduction de cultures intermédiaires	Beillouin et al. (2021) caractérisent les impacts positifs de ces pratiques sur la biodiversité de la parcelle, la qualité du sol, le stockage de carbone dans le sol et la gestion des adventices, maladies et ravageurs. Une faible diversification conduit au contraire à une consommation accrue de pesticides (Schott et al., 2010), et un appauvrissement de la biodiversité des paysages (Liebman & Schulte, 2015).	Pesticides et biodiversité
D10	Autonomie protéique	Evolution à la hausse, ou à la baisse de concentré pour animaux, en lien avec l'évolution de la production ou consommation de protéines végétales sur l'exploitation	Boerema et al. (2016) et Cuyppers et al. (2013) caractérisent la déforestation importée liée à la production de tourteaux de soja à destination de l'alimentation animale. Voir aussi D8 pour les impacts positifs des légumineuses.	Biodiversité, GES, usage des sols

D11	Pratiques de fertilisation des prairies	Evolution des pratiques de fertilisation des prairies en termes quantitatifs, et estimation de l'impact sur la flore de ces prairies, aux dires de l'agriculteur	L'augmentation des doses d'N épandues sur les prairies peut conduire à un appauvrissement de leur biodiversité spécifique (Pärtel et al., 2015; Plantureux et al., 2005). Voir aussi D8 pour les effets de la réintroduction de légumineuses.	Biodiversité
D12	Pratiques de valorisation des effluents de l'exploitation agricole dans l'unité de méthanisation	% de leurs effluents incorporés dans le méthaniseur	L'impact va varier selon la proportion de cultures énergétiques et d'effluents méthanisés (Beausang et al., 2021; Ingrao et al., 2019)	GES

Tableau 13 : Descripteurs qui organisent l'analyse qualitative de la durabilité agroenvironnementale des exploitations agricoles.

Dans un deuxième temps nous avons analysé les trajectoires de transformation des exploitations agricoles de manière transversale. L'objectif est alors d'analyser la variabilité des trajectoires (variété de logiques d'action et d'impacts agroenvironnementaux), et les motifs récurrents qui peuvent se retrouver dans différents systèmes de production.

Les résultats sont anonymisés, chaque agriculteur⁷⁹ enquêté s'est vu associer une lettre pour le désigner (Tableau 14). Le Tableau 38 en Annexe résume les principales caractéristiques de chaque ferme. Comme présenté dans le tableau, lorsque nous faisons référence à un phénomène qui est caractéristique de l'unité de méthanisation enquêtée et non des fermes associées, nous citons les 2 lettres des agri-méthaniseurs associés de ces méthaniseurs.

	Lettre de désignation de l'agriculteur ⁸⁰	Agriculteurs associés d'une même UM enquêtée (associé 1/associé 2)
Vosges	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K	H/I
Bas-Rhin	L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W	L/M, N/W, P/S

Tableau 14 : Dénomination des agri-méthaniseurs enquêtés⁸¹.

L'autrice a analysé les retranscriptions intégrales des entretiens menés en 2021. Elle a retranscrit certaines parties des entretiens complémentaires de 2022 ou s'est appuyée sur les notes exhaustives prises durant cette deuxième phase d'entretiens. Dans les citations d'entretiens, les passages à la bande de son de mauvaise qualité qui n'ont pas pu être retranscrits sont indiqués par les caractères suivants : « xxxxx ».

RÉSULTATS

1 Un atelier de méthanisation, de nouveaux enjeux pour l'agriculteur

1.1 Les motivations des agriculteurs pour initier un projet de méthanisation

La méthanisation est une nouvelle opportunité en agriculture, principalement d'un point de vue économique (Tableau 15). C'est un projet attractif pour diversifier les activités agricoles et avoir un revenu supplémentaire stable (explicité dans les entretiens avec 18 agri-méthaniseurs : B, C, D, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Q, R, S, T, U, V, W). Plusieurs agriculteurs considèrent aussi que la méthanisation est un investissement d'avenir (E, R). C'est un nouvel atelier pour favoriser l'installation d'un nouvel associé sur l'exploitation agricole (O, D, M) via un investissement jugé plus intéressant d'un point de vue économique que la mise aux normes (obligatoire) des fosses de stockage d'effluents (A, E). C'est aussi un projet qui permet d'améliorer l'acceptabilité sociale de l'élevage porcin, puisque la méthanisation désodorise les effluents (Q).

⁷⁹ Nous parlons d'« agriculteur » dans notre manuscrit car tous les agriculteurs enquêtés étaient de genre masculin.

⁸⁰ Dans ce chapitre, selon le contexte, nous utilisons les termes « agriculteur » ou « agri-méthaniseur » pour désigner les agriculteurs associés à un projet de méthanisation.

⁸¹ Les agriculteurs enquêtés ont donné leur accord pour une utilisation des données communiquées pour ce travail de thèse, sous réserve d'anonymat. Ils ont aussi donné leur accord pour que les entretiens soient enregistrés avec garantie de non diffusion des fichiers audio. Dans les cas où l'identification de l'agri-méthaniseur paraissait possible en raison d'un caractère très spécifique, l'autrice a fait le choix de ne pas indiquer l'agri-méthaniseur concerné.

Agriculteur	Citations	Objectifs du projet de méthanisation
J	« On avait beaucoup d'effluents, et on cherchait une diversification, l'effluent on le produit et on le valorise pas, on voyait la nouvelle PAC ⁸² arriver, (...) soit on accepte de voir notre revenu diminuer, en ayant autant de boulot, soit on se bouge et hop on part sur la métha, économiquement c'est quelque chose de valable »	Diversification
R	« Le fait d'avoir un contrat un prix garanti pour une durée, on avait déjà le [photovoltaïque], je voyais la stabilité du système, contrairement aux produits agricoles, on a un contrat d'achat sur 15 ans, avec un prix garanti, ça a motivé pour faire l'étude de projet. (...) C'est aussi un peu le goût de la nouveauté »	Stabilité du revenu
B	« On a une structure pas énorme, 400 ha, quand [notre associé] s'est installé, on s'est posé la question de « est-ce qu'on reprend une ferme, ou autre chose », on est un secteur où pas mal de concurrence, on s'est dit « est-ce qu'il faut faire 10 km pour aller reprendre [une activité agricole] », et on a opté pour la méthanisation. Et aujourd'hui on ne regrette pas. »	Installation d'un associé avec un travail moins pénible que la reprise d'une ferme
I	« Qu'on nous paye du lait et de la viande à leur juste prix, et pis on n'aurait pas (...) à faire de la méthanisation. »	Diversification
A	« Passer de capacité de stockage de 3 mois à 6 mois, sur nos fermes, ça paraissait pas très valorisant, y'en a certains qu'avaient pas la place, c'est pour ça, c'était l'objectif de départ. On est tous des éleveurs bovins laitiers, il fallait remettre 100 000€ chacun dans la mise aux normes. »	Eviter le coût de la mise aux normes des fosses
E	« Et pis socialement, même si les gens disent gnagna, mais c'est plus d'avenir, des fois vous vendez des taureaux, et ils en veulent pas. [La méthanisation] a plus d'avenir que la viande. »	Investissement d'avenir, réponse à la demande sociétale

Tableau 15 : Verbatim d'entretiens abordant différents volets de l'intérêt économique de la méthanisation. La première colonne se réfère au codage de l'agriculteur enquêté.

La forte fréquence (10/20) des décisions d'agrandissement de l'unité de méthanisation observées chez les enquêtés confirme l'attrait économique de l'activité de méthanisation (Figure 25).

⁸² PAC : Politique agricole commune

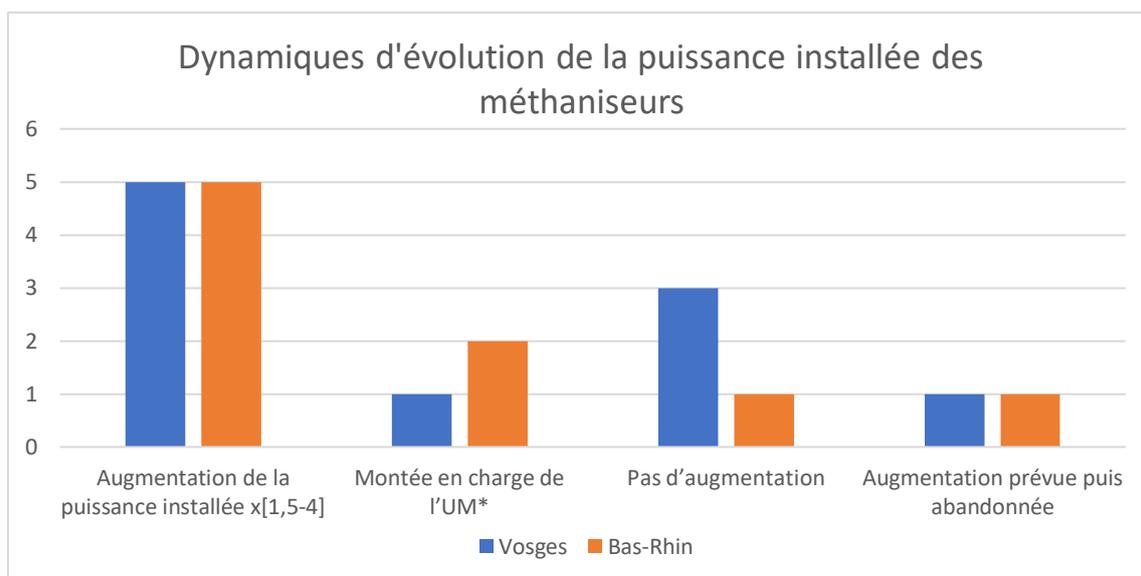


Figure 25 : Dynamiques d'évolution de la puissance installée des méthaniseurs.

*Montée en charge = augmentation de la production sans augmentation de la puissance installée (densification de la ration, ou agrandissement anticipé via un surdimensionnement des cuves ou de l'épurateur).

Certains agriculteurs, très satisfaits du bilan économique initial de la méthanisation, se sont agrandis pour produire davantage de gaz (E, H/I, J, K, Q, T, U), et profiter des effets d'échelles (H, J). Certains ont accès à des nouvelles sources d'intrants (agrandissement de la ferme et productions de plus d'effluents (J), rachat d'une ferme (T)), d'autres décident d'entrer sur le marché des coproduits⁸³ ou biodéchets, ou de produire des cultures pour approvisionner le méthaniseur (E, H/I, K). L'agrandissement s'accompagne parfois d'une perte d'autonomie dans l'approvisionnement en intrants, davantage achetés ou échangés à l'extérieur de l'exploitation (cf. 3.2.5).

« Pour profiter de l'économie d'échelle, et de l'infrastructure qu'il y avait déjà, pour produire le double. On avait investi 2,7[millions d'euros] pour la 1ere partie, on a ré-investi un 1 million pour doubler » (Agriculteur H)

« Après, on a franchi le pas de dire on va mettre des sous-produits, et là le réel objectif de l'agrandissement c'était d'écraser des charges de structure, là on crée de la charge opérationnelle, en achetant des matières, mais le fait d'écraser plus ses charges de structures, on est mieux, et mécaniquement, ça passe mieux » (Agriculteur J)

D'autres agriculteurs – moins nombreux – réinvestissent pour compenser un bilan économique mitigé, qu'ils espèrent meilleur à l'avenir, l'installation étant déjà en partie amortie (O, R). D'autres espèrent aussi anticiper l'usure et les travaux à faire sur leurs installations (O, V) et assurer une capacité de

⁸³ Les coproduits agroindustriels sont les résidus de la transformation de produits agricoles et ils n'ont pas le statut de déchets. Ce sont des produits végétaux tels que des issues de silo ou des produits déclassés, ou des produits animaux issus de la transformation du lait. Les biodéchets sont des déchets alimentaires usines de transformation de denrées alimentaires tels que des produits déconditionnés, ou d'industries de traitements des déchets tels que des boues de station d'épuration transformées.

production minimale, en cas de problème technique, en ayant plusieurs cuves ou plusieurs moteurs (O, K, V).

« On s'est rendu compte qu'on avait du potentiel pour faire plus. Certains jours on n'alimentait rien, on laissait tout éteint. On n'avait pas besoin d'alimenter, on s'est dit que ça pourrait être intéressant d'installer un second moteur, et aussi le nôtre était vieillissant et si on avait une panne on pouvait toujours utiliser l'autre. » (Agriculteur O)

« Disons qu'on anticipe l'avenir. En même temps, on anticipe aussi sur le vieillissement des cuves anciennes historiques pour ne pas les surcharger non plus, et ce qui nous permettra aussi, avec une cuve en plus, de vider les digesteurs et de les assainir, de faire l'entretien, tout en continuant à produire à côté » (Agriculteur V)

C'est donc principalement la promesse « Revenu » qui a incité les agriculteurs à investir en méthanisation. La grande majorité des agriculteurs sont très satisfaits du point de vue économique du revenu que la méthanisation leur procure (19 agri-méthaniseurs). D'autres n'ont pas encore assez de recul (2 agri-méthaniseurs), ou ont un bilan plus mitigé (2 agri-méthaniseurs). Cet investissement répond donc en moyenne positivement aux attentes économiques des agri-méthaniseurs grâce au nouveau revenu stable que cette activité leur rapporte.

1.2 La méthanisation est un nouvel atelier sur la ferme qui mobilise des facteurs de production et peut conduire à une évolution des ateliers agricoles

1.2.1 La méthanisation fait évoluer le travail au sein des exploitations

La méthanisation introduit de nouvelles tâches à réaliser sur la ferme. Le travail d'approvisionnement quotidien du méthaniseur est considéré par les agriculteurs comme rapide et facile à réaliser. Mais d'autres tâches sont signalées comme prenant plus de temps. En premier lieu il y a le travail supplémentaire lié à la culture de CIVE⁸⁴ (C, W, O, T), travail d'autant plus important que les agriculteurs font plus de CIVE pour alimenter le méthaniseur :

« Surtout les semis supplémentaires, la récolte supplémentaire, tout le travail supplémentaire. Quand on faisait du maïs ensilage, comme tous les paysans qui n'ont pas de biogaz, [on labourait nos] terres l'hiver quand [on avait envie et on était tranquille] jusqu'en avril, mai. » (Agriculteur T)

Ensuite, le travail d'épandage du digestat peut être très prenant (V, G, J, B, K, E). Mais si l'épandage est plus long, il peut aussi être plus facile en raison d'un meilleur équipement (U), ou au contraire être raccourci parce qu'il y a moins de volume à épandre (lié à l'arrêt d'un atelier de taurillon (C)). Le travail administratif est significatif (B, A, F, N, H). C'est surtout la gestion de l'unité de méthanisation, qui nécessite une disponibilité 24h/24h, qui est considérée comme très lourde par quelques agriculteurs. De même qu'un robot laitier, certains systèmes de méthanisation envoient aux agriculteurs des alertes lorsqu'il y a un dysfonctionnement sur le méthaniseur, et vu le chiffre d'affaire en jeu, il faut intervenir tout de suite (C, P/S). Un agriculteur qualifie ce travail d'« épuisant » (J), d'autant que pannes et problèmes techniques peuvent être complexes à gérer (A, E, I, Q). Un agriculteur enquêté était en train

⁸⁴ Culture intermédiaire à vocation énergétique

de se désengager de la méthanisation en raison de la charge mentale que sa gestion faisait peser sur lui.

« Les armoires électriques reliées au téléphone. Dès que y'a un problème ils envoient un sms, attention quand y'a des céréaliers qui viennent voir on dit attention les gars vous vous mettez la contrainte de l'élevage. Nous on a l'habitude des robots qui nous appellent ou un vêlage la nuit. Parce que là je disais y'a un certain chiffre d'affaires, on ne peut pas se permettre de rester calé une nuit. » (C)

« C'est pire qu'un robot je vous assure, après (...) si c'était à refaire je le referai. » (S)

Les postes de travail introduits par la méthanisation sont donc variables selon que les agriculteurs ont de gros achats d'intrants extérieurs à gérer (effluents, coproduits, biodéchets), font des cultures pour la méthanisation, prennent en charge en interne l'épandage, ainsi que selon le volume de digestat à gérer et le type de chantier d'épandage. Cependant, comme détaillé dans les paragraphes suivants, l'évolution de la charge de travail sur la ferme est liée plus largement à l'évolution de la main d'œuvre et de l'activité agricole concomitante à la méthanisation.

Les modalités de prise en charge du travail supplémentaire lié à l'arrivée du méthaniseur varient selon les agri-méthaniseurs. Une partie des agriculteurs enquêtés embauche un nouveau salarié ou prend un nouvel associé sur l'exploitation :

- La méthanisation permet l'installation d'un jeune ou d'un nouvel associé sur une des fermes, qui va gérer globalement la méthanisation (B, L/M O, R). Le travail de la méthanisation est moins lourd qu'un nouvel atelier d'élevage, et plus attractif économiquement (B, M).
- Des salariés sont embauchés sur le chiffre d'affaires de la méthanisation pour faire tourner les méthaniseurs (K, N/W, R, P/S, Q, T, U, V) : ils travaillent souvent aussi un peu sur l'exploitation agricole en soutien. Au moins une personne à temps plein est embauchée sur les grosses unités de méthanisation (N/W, V).
- Le supplément de travail est assuré par une prestation d'une société de travaux agricoles (G).

Les autres agriculteurs prennent en charge une partie du travail de la méthanisation en plus de celui des ateliers agricoles antérieurs (A, C, D, E, I/H, J, K). Un premier cas est celui des unités de méthanisation collectives où les associés du collectif se répartissent la charge de travail (A, C, H/I, K). Cette internalisation du travail peut avoir des impacts différents sur les fermes : un pic de travail (I) ; un arrêt d'une activité antérieure pour se libérer du temps (davantage de semis direct et moins de labour chez H, arrêt d'un atelier d'élevage chez les 4 agriculteurs du collectif de méthanisation de C). C réalise aussi davantage de travail d'entraide avec les agri-méthaniseurs du collectif. Un second cas est celui d'une unité de méthanisation individuelle qui ne va pas réaliser d'embauche (D, E, J). Dans ce cas le travail à internaliser est important par rapport aux forces de travail déjà présentes sur l'exploitation. Selon la marge de manœuvre qu'avait l'agriculteur avant la méthanisation, cela peut conduire à un alourdissement fort de la charge de travail (J et E avant agrandissement de l'UM), ou à une addition aisée (D).

Conclusion sur le travail : La méthanisation se distingue des autres activités de la bioéconomie ou l'agriculteur n'est d'habitude qu'apporteur ou fournisseur de matières premières. Avec la méthanisation, l'agriculteur devient gestionnaire d'une unité de production industrielle ICPE, il doit l'approvisionner et gérer l'aval du procédé industriel, c'est-à-dire l'épandage du digestat. La

méthanisation introduit donc une nouvelle charge de travail qui peut diversement être prise en charge. L'embauche, fréquemment observée dans le Bas-Rhin, moins dans les Vosges, limite la contrainte exercée sur la ferme. On peut supposer que cela est lié aux ressources économiques plus importantes de ces fermes dans le Bas-Rhin. La charge de travail totale (de la ferme et du méthaniseur) peut aussi évoluer avec l'engagement de l'agri-méthaniseur dans une transformation de ses activités agricoles. Dans des situations de transformation fortes de l'activité productive, la méthanisation peut être cause ou effet de l'évolution de l'allocation du travail sur l'exploitation. Nous présentons dans le paragraphe suivant les trajectoires où l'activité agricole (et donc le travail) a été remaniée en profondeur, avec l'arrivée de la méthanisation.

1.2.2 *La méthanisation fait évoluer des ateliers agricoles*

Nous définissons des situations de transformation forte de l'activité productive lorsqu'il y a ajout ou suppression d'un atelier de production, passage de productions conventionnelles en bio et/ou changement de système d'élevage. Nous détaillons dans ce paragraphe les trajectoires de transformation forte des systèmes de production de 8 des 23 agri-méthaniseurs. Les dynamiques de causalité ne sont pas toujours faciles à distinguer dans ces transformations, puisque le fait que la méthanisation soit en synergie avec certaines pratiques productives peut les conforter sans que la méthanisation en soit le déclencheur. On distingue donc dans le *Tableau 16*, les transformations induites par l'arrivée de la méthanisation (lignes 1-8) et celles qui sont advenues en synergie avec la méthanisation (lignes 9-11).

La première situation est celle de fermes qui se convertissent partiellement ou totalement en agriculture biologique (Tableau 16, lignes 2, 3 et 10, 11). N et V se sont convertis en AB grâce à la possibilité de fertiliser avec le digestat qu'offrait la méthanisation ; D et F se sont convertis en AB car ils cherchaient un système plus rentable et ils se sont rendus compte de la synergie entre méthanisation et AB :

« [le digestat] c'est un paramètre important, un levier important (...) on n'aurait peut-être pas converti [sans le digesta] » (Agriculteur V)

« en fait en regardant on a vu que c'était compatible [le bio et la méthanisation], on est le roi du pétrole » (Agriculteur F)

« On s'était posé la question de passer en bio en même temps. La chambre d'agriculture nous a dit vous êtes fou, ça n'ira jamais pour alimenter la métha, et puis au bout d'un an de fonctionnement (...) on s'est quand même dit, pourquoi ne pas passer en bio, surtout qu'avec le digestat, on n'a pas le problème de fertilité, et on s'est dit aussi si on loupe une culture en bio, la métha on arrivera toujours bien à la réaliser, on n'aura pas de perte sèche, donc la conversion s'est quand même fait plus sereinement » (Agriculteur D)

La seconde situation est celle où l'agriculteur reste en production conventionnelle et voit dans la méthanisation une opportunité de transformation de son activité agricole. C'est le cas par exemple de l'agri-méthaniseur U ((Tableau 16, ligne 6) qui s'est diversifié pour gagner en résilience.

La troisième situation correspond à la suppression ou l'ajout d'un atelier. Dans deux exploitations enquêtées (C, E) l'activité de méthanisation est venue remplacer un atelier d'élevage, afin de libérer

des facteurs de production (travail, terres) (Tableau 16, lignes 7, 8). Ces transformations sont respectivement choisies (C) ou subies (E). Chez l'agriculteur K, la méthanisation a au contraire conduit à l'introduction d'un atelier de diversification (Tableau 16, ligne 5).

Transformation forte de l'activité productive ... introduite par l'arrivée de la méthanisation		
Agriculteur	Description de l'évolution du système de production	Type de transformation
N	L'agriculteur a décidé de se convertir au bio, grâce à l'arrivée du digestat sur sa ferme avec la méthanisation. Sa rotation est passée de <i>maïs//⁸⁵blé/Couvert en mélange//betterave</i> à une rotation <i>blé//CIVE seigle//sarrasin//CIVE triticale-trèfle violet (1 an)//blé en bio</i> .	Conversion en bio
V	En lien avec l'arrivée du digestat dans son système de production, l'agriculteur a, quelques années après l'installation de son méthaniseur, converti 75% de ses surfaces de cultures en bio.	Conversion partielle en bio
K	L'agriculteur a mis en place un atelier de diversification de spiruline pour mieux valoriser la chaleur de l'UM.	Atelier de diversification
U	La méthanisation a été un stimulus pour repenser l'activité de sa ferme. L'agriculteur a fait évoluer ses vaches d'une production de 11 000L à une production de 9 000 L. Parallèlement il a fait évoluer sa rotation vers une rotation <i>méteil//couverts en mélange</i> pour approvisionner ses vaches et la méthanisation. Pour cela, il a retourné 10ha de prairies permanentes et intensifié (avec le digestat) la conduite de ses prairies permanentes.	Diversification de l'élevage et changements productifs pour concilier production de l'UM et plus grande résilience de l'élevage
C	L'agriculteur a arrêté un atelier d'engraissement de taurillons avec l'arrivée de la méthanisation afin de se libérer du temps de travail. Dans une même logique, ses associés sur la méthanisation se sont également spécialisés en lait ou en viande.	Suppression d'un atelier pour libérer des facteurs de production pour l'UM
E	Pour pouvoir assumer la gestion de son unité de méthanisation après l'agrandissement de celle-ci, l'agriculteur a arrêté son atelier de vaches allaitantes, arrêté ses cultures de vente et intensifié son atelier laitier (vaches rentrées en bâtiment (hors génisses), augmentation de la production laitière, installation d'un robot de traite).	
Transformation forte de l'activité productive ... en synergie avec l'activité de méthanisation		
F	L'agriculteur avait engagé une extensification de l'élevage laitier via sa conversion en AB : allongement de la rotation avec introduction de prairies temporaires de légumineuses, réduction du troupeau de vaches et évolution de l'alimentation animale vers l'herbe et le foin de prairies temporaires. Il a, juste après sa conversion en AB, décidé d'investir en méthanisation. La fertilisation des cultures au digestat des cultures s'est avérée en synergie avec la conversion en AB.	Conversion de la ferme en bio
D	L'agriculteur avait envisagé de convertir la ferme en AB, parallèlement il réfléchissait à un projet de méthanisation. Après avoir finalement opté pour une méthanisation, il s'est dit que le bio pouvait être complémentaire de la méthanisation, en permettant de mieux valoriser les cultures, sans problème de fertilité organique grâce au digestat.	

Tableau 16 : Description des évolutions fortes des systèmes de production qui ont accompagné l'arrivée de l'atelier de méthanisation.

⁸⁵ Un « / » désigne une succession intra-annuelle ; un « // » désigne une succession inter-annuelle

Toutes ces transformations, exposées dans le Tableau 16, conduisent à une allocation différente des facteurs de productions, mais également à une évolution des besoins en facteurs de production. Dans la suite du chapitre nous déplierons les logiques sous-jacentes à ces transformations. Chez tous les autres agri-méthaniseurs enquêtés, l'évolution du travail ou des investissements liés à la méthanisation ont conduit à des transformations moins profondes des systèmes de production, qui seront également analysées dans le reste du chapitre.

1.2.3 La méthanisation nécessite des investissements importants en capital au lancement et tout au long du projet

Dans ce paragraphe, nous décrivons succinctement comment la méthanisation, mobilise du capital (CAPEX⁸⁶ et OPEX⁸⁷) sur les fermes. La méthanisation représente un investissement conséquent par rapport aux investissements standards de l'exploitation agricole moyenne française. D'après nos enquêtes, les investissements en injection sont en moyenne plus élevés qu'en cogénération (entre 4 et 8 millions d'€ versus entre 1,2 et 6 millions d'€). Ce coût plus élevé des installations en injection est notamment lié au prix de l'épurateur (illustration Figure 26)



Figure 26 : Photographie d'une technologie d'épuration chez un agri-méthaniseur.

Légende : Le coût de l'épurateur justifie principalement la différence d'investissement entre UM en cogénération et UM en injection. (Source : autrice).

⁸⁶ CAPEX = « Capital expenditure » ce qui correspond aux dépenses liées au capital investi

⁸⁷ OPEX = « Operational expenditure » ce qui correspond aux dépenses liées au fonctionnement

En collectif, l'investissement à l'entrée est diminué mais demeure trop élevé pour certains agriculteurs : les 3 agriculteurs non méthaniseurs enquêtés ont envisagé un projet de méthanisation sans finalement le développer, par manque de ressources financières (3/3) et par manque de temps (2/3). Certains agri-méthaniseurs ont eu plus de mal (I, O, W, R/S, T, U, V), que d'autres (A, B, F, K, M, W) à obtenir les financements nécessaires à l'initiation du projet. Le bouclage du tour financier pour investir dépend⁸⁸ des subventions allouées au projet par l'ADEME (entre 5-15%), de l'apport en fonds propres des agriculteurs (les projets collectifs permettent d'augmenter les apports, tant en finances qu'en intrants) et de leur capacité à obtenir des prêts auprès d'instituts bancaires. Avec le développement de la filière, l'accès à des prêts pour la méthanisation est un peu facilité. Les critères de sélection des projets par les banques ont évolué depuis les années 2010 : elles peuvent accepter de prêter à des agriculteurs déjà bien endettés (D, F) si le projet leur paraît rentable, mais elles peuvent être réticentes sur des investissements dans des collectifs par peur des problèmes humains au sein de ces collectifs (C) ou dans des projets par manque de garantie financière (U, T). Les relations « bien placées » dans les banques ou le soutien d'un industriel peut faciliter le montage de projet dont le financement est difficile (C, F, I, O).

Au-delà de l'investissement dans l'infrastructure du méthaniseur, des investissements sur la ferme (par exemple pour épandre le digestat), des accidents techniques ou des coûts d'entretien pas toujours anticipés conduisent à des OPEX considérés comme élevés par les agricultures, tout au long du projet (A, D, E, H/I, J, K, L/M, R, U, W).

« Vous voyez là y'a les bâches à rechanger on va remettre 20 000-30 000€, les trucs à 1000€, ça existe pas, ça bouffe 3000€ courant chaque mois » (Agriculteur A)

« Le chiffre d'affaires baisse ces dernières années à cause des problèmes techniques, des casses, mais au final avec l'amortissement, le chiffre d'affaires ne baisse que de 2% » (Agriculteur J)

« Ça va vite les charges aussi. Et il y a l'usure, toutes les semaines il y en a pour 2000 € d'usure sur le matériel. » (Agriculteur W)

« On est plutôt satisfait, quand on aura fini de payer le génie [civil], ça sera payé, il y aura toujours les charges, car le moteur ça tourne tout le temps. Quand tout ça sera payé, ça sera une épine du pied en moins, enfin faut que l'Etat continue de payer à [25c€/kWh] » (Agriculteur E)

Des coûts d'approvisionnement non maîtrisés peuvent également introduire des charges élevées imprévues (cf. 3.1.2).

⁸⁸ Le tarif de rachat de l'énergie produite est également un élément clef de la décision d'investir, mais il est fixe au moment de l'investissement et ne dépend pas des ressources de l'agri-méthaniseur

1.3 La méthanisation est un atelier stratégique qui introduit un nouvel impératif de rentabilité fort

La méthanisation est donc un nouvel atelier stratégique pour l'exploitant agricole car à fort potentiel de revenu (1.1) mais aussi de coût (1.2).

Une fois l'investissement réalisé, l'agriculteur va chercher à maintenir la production à son maximum afin de payer la maintenance, de rembourser les prêts bancaires et de rémunérer le travail supplémentaire que la méthanisation mobilise (cf. *Tableau 17*). Le temps de fonctionnement de l'installation est central dans la rentabilité : l'installation doit tourner 24h/24h toute l'année, avec une biologie optimale. Les heures d'arrêt (en raison d'opération de maintenance ou de problèmes techniques et biologiques) grèvent ainsi le bilan économique. Il est possible de le rattraper pour les installations en injection, qui peuvent produire plus en compensation d'une sous-production passagère. Par contre les moteurs des installations en cogénération sont bridés et ne permettent pas cette même souplesse dans le niveau de production. Le réinvestissement (cf. 1.1) dans des infrastructures pour garantir une production minimum en cas de maintenance ou de casse machine confirme l'importance pour les agri-méthaniseurs d'assurer un fonctionnement continu.

<i>Verbatim</i>	<i>Agriculteur</i>
<i>« Nous on a fait un court terme de 120 000€ de fonds de roulement, (..) il faut à tout prix qu'on soit plus économe dans les intrants, et qu'on fasse du gaz, sinon dans 5-6 ans ce sera plus compliqué, enfin la situation d'emprunt de la métha ne s'améliorera pas, on aura toujours la même charge d'emprunt. »</i>	D
<i>« Nous l'objectif pour que ce soit rentable, c'est que le moteur d'électricité tourne en permanence. »</i>	A
<i>« Si une année, la production [des prairies] est bonne, il faut nourrir le méthaniseur, on a un objectif. »</i>	
<i>« On est toujours à la puissance maximale, avant on était à 250, on a tourné deux ans comme ça, maintenant à 500kW. (...) il faut, si les moteurs sont arrêtés, en vidange on produit pas, moi j'ai envie qu'ils tournent toute l'année à 500kW. Certains agriculteurs qui n'arrivent pas à gérer la biologie, quand ils ont pas assez de gaz, ils baissent leur moteur, c'est pas bien au niveau de la rentabilité. Sur la métha faut être bon sur la biologie et sur la mécanique, si y'a un problème, y'a pas la rentabilité »</i>	G
<i>« on n'est pas sur la même échelle. En bio, à part le foncier qu'on avait, j'ai investi dans trois machines ; en métha, j'ai quand même investi six millions d'euros, ce n'est pas la même échelle donc forcément la prise de risque est supérieure, il faut que ça tourne tout le temps »</i>	V

Tableau 17 : Verbatims illustrant l'impératif de continuité de la production, à un niveau proche du maximum.

Cet impératif de continuité de la production se traduit de manière variée sur les fermes, comme le montrent les stratégies de gestion détaillées dans le reste du chapitre.

1.4 Discussion du sous-chapitre 1

La motivation économique est première pour les agriculteurs qui veulent diversifier leurs activités pour mieux se rémunérer qu'avec les activités agricoles seules (Frantál & Prousek, 2016; Grouiez et al., 2020; Morris & Bowen, 2020). Dans la littérature, deux motivations principales sont identifiées dans le choix du biogaz comme diversification : la volonté d'avoir un nouveau revenu pour pérenniser l'activité agricole actuelle, et la volonté de produire de l'énergie, deux motivations qui peuvent se superposer (Frantál & Prousek, 2016; Grouiez et al., 2020). La motivation écologique est peu présente dans ces diversifications (Reise et al., 2012). On retrouve bien dans nos résultats cette prépondérance de la motivation économique, plus ou moins explicitement reliée à la volonté de pérenniser l'activité agricole. Dans l'étude française MethaLAE⁸⁹, la motivation d'une diminution du temps de travail y est aussi citée comme un motif d'investissement chez les éleveurs, ce qui ne se retrouve pas dans nos résultats.

Les résultats économiques en général positifs chez nos enquêtés sont en cohérence avec les résultats de l'étude MethaLAE (CerFrance, 2018). Ces travaux identifient également pour les unités gérées par les agriculteurs des impacts positifs en termes de sécurisation des revenus agricoles même si comme l'ont montré (Grouiez et al., 2020), les revenus sont assez inégaux et difficiles à évaluer.

Nos résultats sur le travail sont aussi en cohérence avec les résultats de MethaLAE (CerFrance, 2018), qui identifient, pour les unités gérées par les agriculteurs, des augmentations significatives du travail qui peuvent peser sur la ferme. Lorsque les unités sont gérées par des prestataires extérieurs non agricoles (cas que nous n'avons pas enquêtés), l'impact de la méthanisation sur le travail est bien moindre selon cette même étude. Nous montrons que la méthanisation peut aussi favoriser une nouvelle embauche ou l'installation d'un jeune dans la ferme de ses parents (CerFrance, 2018; Solagro et al., 2018)

Les transformations productives des systèmes agricoles, et les effets sur les territoires agricoles de ces nouveaux flux de capitaux, constituent un des enjeux d'une politique d'une méthanisation durable. En Allemagne, les subventions importantes allouées au biogaz, jusqu'aux amendements au Règlement sur les Energies renouvelables de 2014, ont conduit à des transformations fortes au niveau des systèmes de production, entre autres, des fermes qui « méthanisent » (Appel et al., 2016). Nous étudions dans la suite du chapitre les logiques de transformations des systèmes de production que nous observons en France dans les Vosges et le Bas-Rhin.

2 Influence de la méthanisation sur la gestion de l'azote

2.1 Evolution du recours à l'engrais minéral

Le procédé de méthanisation conduit à la production de digestat. Les agri-méthaniseurs parviennent plus ou moins à le substituer à leur fertilisation minérale azotée (*Tableau 18*). Ce paragraphe identifie

⁸⁹ Cette étude a été menée par l'entreprise associative Solagro qui développe la méthanisation. L'étude a étudié les exploitations de 56 agri-méthaniseurs dont les unités en cogénération ont été mises en route entre 2005 et 2013

les conditions et contraintes qui gouvernent les économies plus ou moins importantes d'engrais minéral, liées à l'épandage de digestat.

Nous excluons de ces analyses l'agriculteur A dont l'évolution du système de fertilisation est trop peu stabilisée pour pouvoir être analysée. Les agriculteurs L et W sont intégrés à l'analyse⁹⁰ même si la mise en place récente et encore incomplète de certaines pratiques laisse supposer qu'elles évolueront dans les années à venir. Il est important de noter qu'au fil du temps, les agriculteurs peuvent continuer à faire évoluer leurs pratiques, dans un jeu de contraintes qui peut aussi évoluer.

Evolution de la consommation d'N minéral estimée par l'agriculteur	Groupe 1 : 0% ou faible diminution	Groupe 2 : Entre -30% et -60%	Groupe 3 : Entre -70% et -100%
Sur 22 EA	C, E, H, I, K, L, W, P, Q	B, G, J, O, M, R, S	D, F, T, U, N, V
Vosges (10 EA)	C, E, H, I, K	B, G, J	D, F
Bas-Rhin (12 EA)	L, W, P, Q	O, M, R, S	T, U, N, V

Tableau 18 : Evolution de la consommation d'N minéral estimée par l'agriculteur lors des entretiens.

2.1.1 Groupe 1 : 0% ou très faible diminution de la consommation d'N minéral [C, E, H, I, L, W, K, P, Q]

Les pratiques d'épandage et de fertilisation de ce groupe consistent en des épandages sur cultures avant semis de maïs, ou au semis de céréales à l'automne (E, H, Q, I). Ces apports réalisés à des moments où les plantes ont de faibles besoins sont mal valorisés (Limaux et al., 1999). En revanche, les apports de printemps sur céréales, qui seraient bien valorisés, demeurent en engrais minéral. Les agriculteurs de ce groupe épandent aussi de grands volumes sur prairies à l'automne (C, E, K, I). Cela augmente les risques de lixiviation de l'N du digestat pendant l'hiver, au cas où celui-ci ne serait pas totalement valorisé par la prairie. La faible part de digestat appliquée sur céréales au printemps est liée à un matériel d'épandage trop lourd, pour une portance des sols insuffisante au printemps. Les agri-méthaniseurs de ce groupe mettent en avant (i) de trop grands volumes à épandre pour atteindre la dose en N qui serait nécessaire aux céréales (E, H), ce qui entraîne un gros travail (E, H) notamment si les parcelles sont éloignées (K) ; (ii) leur souci de ne pas abimer les cultures en épandant sur cultures levée (I) ; (iii) la nécessité de vider la fosse avant l'hiver, bien que les épandages à cette période ne soient pas alignés avec les besoins des cultures. Dans ce dernier cas, le rôle de la taille de la fosse est clef : un manque de capacité de stockage conduit ainsi à des épandages sur prairies à l'automne pour vider la fosse (E, K, H, I). L'agriculteur Q qui dispose de 9 mois de stockage a plus de souplesse pour décider de ses périodes d'épandage, mais n'a en revanche pas le matériel d'épandage qui lui permettrait de passer sur cultures au printemps. Deux agriculteurs soulignent qu'ils ont conscience qu'ils n'épandent pas au moment optimal pour valoriser l'N, mais ils ne voient pas comment ils pourraient faire autrement aujourd'hui (E, I).

« Le problème c'est [la compaction]. C'est pour ça qu'on en met beaucoup de digestat derrière maïs. Le problème c'est que l'hiver passe dessus et c'est pas valorisé, la partie P, K

⁹⁰ Cela permet de documenter leur cheminement dans la mise en place de leurs pratiques.

oui mais pas la partie azotée. Le problème c'est qu'on ne peut pas y aller au printemps c'est des sols argilo-limoneux (...) les terres sont drainées mais le tracteur plus le tonneau à charge ça fait presque 50 tonnes, c'est pas la peine » (Agriculteur E)

« Ça dépend, selon la portance des sols, (...) on a mis une partie en liquide, après on n'a pas... selon les conditions climatiques, le temps, aussi l'importance des champs, c'est soit du [digestat] liquide, soit du [digestat] solide, soit [de l'azote] minéral. » (Agriculteur H)

De nouveaux besoins d'N minéral sont aussi apparus sur la ferme, avec l'utilisation d'N minéral sur les cultures à destination de la méthanisation : sur les CIVE de seigle (80kgN/ha chez C ; 80-100kgN/ha chez E ; H) et sur triticale-trèfle (60kgN/ha chez I) ; sur les nouvelles surfaces de cultures introduites (K, H). Enfin des agriculteurs considèrent substituer davantage d'intrants potassium et phosphore que d'azote, au niveau de la fertilisation des prairies (L, I, Q).

Ainsi on voit que dans ces exploitations le digestat se substitue peu à de l'engrais azoté minéral, et que dans certains usages il est mal valorisé : épandage l'été avant semis, épandage de grands volumes à l'automne au semis de céréales ou sur prairies. Il y a donc des risques importants de volatilisation en été et de lixiviation de l'N épandu à l'automne et peu valorisé durant l'hiver par les cultures. En particulier chez l'agriculteur E la mauvaise valorisation de l'N du digestat est lié à un impératif de production fort sur la ferme : pour pouvoir maintenir les revenus de son élevage laitier et du méthaniseur il a dû intensifier ses productions fourragères et énergétiques et a privilégié l'usage de l'engrais minéral au digestat, le digestat étant plus difficile à épandre au moment propice pour la plante. Dans ce groupe, le cas de P est à part, l'absence d'économie d'engrais est lié au fait qu'il ne reprend que du digestat solide car il ne peut pas épandre de digestat liquide sur ses sols pentus de montagnes (matériel d'épandage de l'UM non adapté). Son système de fertilisation est donc quasi-indépendant de la méthanisation.

2.1.2 Groupe 2 : Entre -33% et -60% de consommation d'N minéral [B, G, J, O, M, R, S]

Les pratiques d'épandage et de fertilisation de ce groupe consistent à épandre selon la portance des sols au printemps sur céréales, en premier ou 2^e apport d'azote. Ils épandent le reste du digestat en été ou en automne sur prairies ou au semis de cultures. Les agriculteurs de ce groupe privilégient l'épandage sur cultures à celui sur prairies, mais ne peuvent pas toujours utiliser le digestat sur cultures au moment opportun. Les causes de ces pratiques sont assez similaires à ce que nous avons décrit dans le groupe précédent : la variable qui contraint le plus l'épandage au printemps est l'état du sol. S'il n'est pas assez porteur, les agriculteurs vont peu épandre sur cultures au printemps (B, G, J, O, M).

« Après je vais pas vous le cacher, quand y'a les bonnes conditions, on ne fait pas 8h par jour, on en fait 20, quand il faut y aller, il faut y aller » (Agriculteur S)

Les agriculteurs évoquent également le temps que prend l'épandage (O, B, G, M, R, S) et donc la main d'œuvre qu'il faut avoir disponible au moment propice. Le temps est lié à la nature des chantiers d'épandage et à la distance des parcelles : M a par exemple une petite tonne de 10m³, il partage le fait que c'est intéressant d'épandre « jusqu'à 5km, mais pour aller à 15km c'est impossible, sinon on prend 3 mois pour épandre ». B qui a un parcellaire regroupé et de la main d'œuvre disponible, souligne que ce sont de bons atouts pour épandre au bon moment au printemps. Les terres éloignées

bénéficient ainsi en moyenne de moins d'épandage en raison du temps et du coût nécessaire (M, R). Plusieurs agriculteurs (O, B, M) indiquent que ça demeure plus pratique d'épandre à l'automne car ils ont plus de temps pour réaliser l'épandage.

« L'épandeur à engrais on fait 50ha en une journée, avec le digestat, ça dépend à quelle distance, et avec quel outil, si on fait 20m³/h c'est beaucoup quoi [comprendre 10-15ha/jour]. En mars moi j'ai que fait ça. » (Agriculteur M)

Ils citent également le besoin de vider la fosse avant l'hiver (O, J, M, R), ce qui les pousse à épandre sur prairies ou céréales à l'automne ou sur CIVE d'hiver. Sur céréales à l'automne, les besoins en N sont faibles (15kgN/ha max en région Grand Est, Comifer 2013), donc ce type de pratiques conduit à des risques accrus de lixiviation de l'N durant l'hiver. Certains agriculteurs cherchent donc à augmenter leur capacité de stockage afin de limiter ces épandages d'automne dont l'N est mal valorisé : l'agriculteur (M) va avec son associé investir dans une fosse déportée tandis que l'agriculteur R vient de réinvestir dans une lagune de 5 500m³. Ils ont également souvent un nouveau poste de consommation d'N minéral sur les CIVE (sauf R qui ne fait pas de CIVE) : ils fertilisent à l'N minéral leur raygrass (O) ou leur seigle (B, G, J, M), sauf s'ils arrivent à passer en digestat l'hiver sur les CIVE (J, M).

« La grosse contrainte du digestat c'est qu'il faut l'apporter au bon moment, mais quand on apporte 20m³ à l'ha ça fait du volume, à la journée quand on met 20m³/ha, 15ha dans la journée, on a déjà bien travaillé, quand les créneaux sont courts, les 100ha de blé, on a une semaine et demie pour les faire, que avec notre distributeur d'engrais et le pulvé, on y va 3 jours et pis c'est fini, la contrainte elle est là quand même. Après on y va un peu trop tard, ou trop tôt dans l'hiver. Et après on peut pas tout mettre le jour où c'est l'optimal, de toutes façons tous ceux qui ont une méthanisation, ils le savent. » (Agriculteur G)

« On va épandre un peu après le seigle, (...) y'a encore des parcelles fauchées où on peut épandre, et après le blé peut-être encore, si la météo le veut, si on peut semer quelque chose pour que ça pousse, et si on arrive pas, bah on épandra à l'automne juste avant de semer du blé, c'est un peu ça, on en met un peu plus à l'automne, mon père il dit que ça se lessive pas mais il est de la vieille école, à voir, on va en mettre à l'automne du digestat. » (Agriculteur M)

Ce qui distingue ceux qui font le plus d'économie d'azote (au sein du groupe 2 et par rapport au groupe 1), c'est leur volonté d'épandre le digestat sur les premiers ou deuxièmes apports sur blé ou orge au printemps – et donc leur capacité à le faire en termes de main d'œuvre et de calendrier de travail. S'ils y arrivent, cela augmente bien la substitution. L'agriculteur M évoque d'ailleurs le fait que ça peut valoir le coût de tasser un peu les champs au printemps, s'il économise plus d'engrais. Les agriculteurs G et R évoquent aussi l'importance d'avoir à proximité sur le territoire des entrepreneurs de travaux agricoles équipés de matériels adaptés pour pouvoir épandre plus facilement au printemps, sans tasser les sols.

La part de substitution de digestat à l'engrais minéral évolue dans le temps pour certaines exploitations : l'agriculteur R n'a commencé à économiser des engrais minéraux qu'au bout de 3 ans, le temps qu'il fasse des stocks d'intrants (pailles) via des échanges digestat-paille. A présent qu'il a du stock d'intrants, et que le méthaniseur est rempli, il va commencer à utiliser une partie du digestat sur

ses terres. L'agriculteur S au contraire a diminué cette dernière année son économie d'intrants minéraux car il a davantage vendu de digestat à des agriculteurs bio du territoire.

En termes d'impacts agroenvironnementaux, on voit que la diminution de la consommation d'N minéral est vertueuse, mais que des pratiques d'épandage similaires à celles du groupe 1 contribuent à créer un risque de lixiviation de l'N du digestat durant l'hiver.

2.1.3 Groupe 3 : une réduction de 70% à 100% de la consommation d'azote minéral (D, F, N, T, U, V)

Les pratiques d'épandage et de fertilisation des agriculteurs conventionnels de ce groupe (T, U) s'inscrivent dans un système de fertilisation principal au digestat complété avec de l'N minéral lorsque que le sol n'est pas assez portant pour épandre du digestat. Ces agriculteurs ne se sentent pas trop contraints par la portance des sols, et la proximité des surfaces à épandre autour de leur exploitation facilite leur chantier d'épandage. Avec cette même envie de valoriser le digestat sur leurs cultures, les techniques utilisées et les objectifs de production peuvent être très différents. L'agriculteur T a agrandi son exploitation agricole et optimise la fertilisation par le digestat avec l'investissement dans des chantiers d'épandage capables d'épandre de grands volumes, sur des sols peu portants (cf. 2.2, Encadré 7). L'agriculteur U a choisi de réduire sa production laitière et a donc choisi un système d'épandage qui n'optimise pas l'apport d'N par rapport aux besoins des cultures au printemps mais qui est suffisant pour ses objectifs de production. Le bilan agroenvironnemental de ces fermes est largement amélioré sur la consommation de l'N, car les agriculteurs créent peu de surplus d'N par l'épandage du digestat.

La substitution chez les agriculteurs bio (D, F, N et V) est supérieure avec un arrêt total de la consommation directe d'N minéral sur leur ferme pour D, F, N, et un arrêt partiel pour V qui a converti 75% de sa surface de culture en bio. Ils épandent des doses variables d'N (Tableau 19), en lien avec les volumes de digestat à leur disposition : F a par exemple du digestat riche en N en surplus, tandis que D a un volume de digestat juste suffisant pour sa fertilisation.

Agriculteur	Volume de digestat épandu sur blé au printemps (m ³ /ha)	Equivalent N épandu sur blé (kg N/ha) [Teneur en N du digestat]	Equivalent N épandu sur cultures avec légumineuses (kgN/ha)
D	15 et 30 m ³	~ 60-120 [4-5 kgN/m ³]	40-50 kgN/ha sur prairies de légumineuses
F	20 m ³ et 25 m ³	~ 160-200 [8kg N/m ³]	200 kgN/ha sur prairies de légumineuses
N	25 m ³	~ 96 [4,8 kgN/m ³]	NC
V	30-40 m ³	~ 180-210 [6 kgN/m ³]	NC

Tableau 19 : Pratiques de fertilisation au digestat des agri-méthaniseurs en agriculture biologique.

Les motivations des agriculteurs bio, comme présenté en 1.2, sont principalement économiques, que la conversion en bio ait été pensée avant ou après méthanisation.

Comme pour les groupes 1 et 2, les chantiers d'épandage sont plus lourds que les chantiers antérieurs à la méthanisation :

« Ces chantiers sont lourds à organiser mais valent le coût « c'est tout un truc d'organiser des chantiers mais on y gagne forcément en vitesse, en performance, en résultats agronomiques et en durabilité du coup. (...) Après ça a un coût forcément, il faut payer, il y a deux chauffeurs, deux matériels. Ça a un coût » (Agriculteur V)

Le bouclage du cycle de l'N, au niveau de la ferme ou du territoire est une dimension forte d'une agriculture agroécologique. Elle repose notamment sur la présence de légumineuses dans les systèmes agricoles afin de réintroduire de l'N et compenser les pertes inhérentes à la production agricole. On voit, dans ces systèmes en AB, que les agriculteurs dépendent en partie de source d'azote organique extérieure à leur exploitation. Ils ne sont pas totalement autonomes en azote : l'agriculteur F méthanise de grands volumes de coproduits du territoire, sa fertilisation repose donc en partie sur cet import d'N organique via la méthanisation. Il est cependant tenu à la réglementation en bio, qui limite à 170kg/ha l'épandage d'azote par ha. V méthanise également une part importante de coproduits agricoles et agroindustriels extérieurs, et introduit de l'N via l'alimentation de son élevage porcin, qui demeure en conventionnel. De même D qui s'est converti en bio avec la méthanisation achète du maïs ensilage conventionnel (équivalent de 1 460t/an à raison de 7,5t/jour) et du fumier sur le territoire. Son système agricole consomme donc de l'azote minéral de manière indirecte via ces achats. De plus F et D fertilisent leur cultures de légumineuses, ce qui limite leur capacité de fixation symbiotique d'N (Guinet et al., 2019) et donc limite leur intérêt dans le bouclage du cycle de l'azote. L'agriculteur N s'inscrit dans un cycle de l'azote mieux bouclé. Il en importe une faible proportion via le digestat de la méthanisation collective à laquelle il est associé. Son méthaniseur importe en effet peu de produits extérieurs aux fermes du collectif et chaque agriculteur reprend du digestat proportionnellement à ce qu'il apporte comme biomasse.

2.2 L'évolution de la consommation d'engrais minéral est fortement liée aux chantiers d'épandage

Lorsque les agri-méthaniseurs se mettent à épandre du digestat, ils doivent la plupart du temps réadapter leur matériel d'épandage aux caractéristiques du digestat (liquide et/ou solide). Ces caractéristiques sont (i) des volumes à épandre généralement plus importants qu'auparavant et (ii) un fertilisant organique plus riche en N minéral que du lisier ou du fumier bovin.

Il y a deux grands types de chantiers d'épandage : un chantier classique avec une tonne d'épandage à lisier et un chantier « sans-tonne » (Encadré 7). Selon les solutions techniques et la stratégie de l'agriculteur, les effets sur le tassement des sols et la mise en œuvre des bonnes pratiques de valorisation de l'azote vont varier.

Un chantier d'épandage sans-tonne est un chantier qui permet l'épandage de digestat (ou de lisier) sur un champ sans tracter une tonne à lisier dans le champ. La tonne à lisier (ou le caisson) contenant le digestat reste en bord de champ, et est relié par un tuyau à un tracteur auquel est accrochée une rampe d'épandage. L'agriculteur peut alors épandre le digestat en limitant le poids au champ. Le caisson ou la tonne à lisier doit être ravitaillé tout au long du chantier, pour pouvoir approvisionner l'épandeur. Le tuyau peut également pomper directement dans une fosse déportée à proximité. Le débit de chantier théorique est élevé (autour de 50 à 130 m³/h) par rapport à un épandage avec tonne. Ce type de chantier demande cependant une main d'œuvre importante pour conduire le tracteur qui épand et les tonnes à lisier qui ravitaillent le caisson. Il nécessite aussi d'avoir à disposition le tracteur et les différentes tonnes de ravitaillement. Ce chantier est moins coûteux en main d'œuvre et en matériel si l'épandeur peut être directement relié à la fosse de stockage de digestat.

Il existe aussi des chantiers au sens-propre « sans-tonne » qui consistent en un automoteur au champ, qui va pomper le digestat à épandre dans une cuve à lisier hors champ. Le poids au champ dépend alors de la contenance de l'automoteur.

Une rampe à pendillard est une rampe munie de tuyaux souples qui déposent le liquide par écoulement sur le sol à intervalles réguliers. Elle coûte de 35 à 50 000 euros pour une rampe à pendillards 12-15 m (Carton et Bulke 2021). Un pendillard à patin possède au bout de chaque tuyau un patin qui creuse une trace superficielle dans laquelle le digestat est déposé.



Photo : Epandage de digestat liquide au pendillard.

Source : Photo issue de Carton et Bulke (2021), Crédit photo © FRCUMA Ouest.

Encadré 7 : Précisions techniques sur le matériel d'épandage de digestat (chantier sans-tonne et pendillard).

2.2.1 Une portance du sol au printemps contraignante pour l'épandage

Dans les entretiens menés, les agriculteurs interrogés sont plus diserts sur la portance du sol que sur le tassement. Comme le soulignaient déjà Hénin et al (1969), les agriculteurs évaluent mal les cas de tassements. Nous proposons donc ici une évaluation qualitative des risques de tassement : nous considérons que le risque de tassement est lié au passage avec une charge lourde en mars/avril quand le sol n'est pas encore ressuyé, ou en novembre lorsque le sol est réhumecté par les pluies d'automne.

Nous distinguons ci-après les différentes stratégies des agriculteurs⁹¹ dans le choix des chantiers d'épandage. La typologie est orientée selon deux variables qui apparaissent comme premières dans le choix du matériel d'épandage : (i) le poids du matériel d'épandage, qui conditionne les risques de tassement, et (ii) le débit de l'épandage ou efficacité de l'épandage selon un critère de volume (cf. *Figure 28* présentée en fin de section). La variable « débit » de chantier recouvre en fait plusieurs variables liées au temps de travail pour épandre un certain volume de digestat par hectare. Par exemple, un chantier sans-tonne peut avoir un haut-débit sur une grande parcelle, mais sa mise en place prend du temps, donc sur petite parcelle son débit sera faible. Le compromis entre volume épandu et poids du matériel d'épandage se traduit donc par le choix de différents chantiers d'épandage, par des calendriers d'épandage variables, et par des phénomènes de compaction variables. Les ressources matérielles sont enfin une variable déterminante, qui en donnant accès à tel ou tel chantier peuvent influencer ce compromis.

Stratégie a - (I) : Stratégie de limitation du tassement avec l'usage d'une petite tonne au printemps (de volume inférieur ou égal à 11m³) : (I) a fait ce choix car il ne voulait pas supporter plus que le coût d'une petite tonne. Comme ses terres sont tout près de l'unité de méthanisation et qu'il a peu de volumes à épandre, le débit faible du chantier (peu de m³/ha épandu par unité de temps) le gêne peu. Le risque de tassement est faible, vu le faible poids du matériel.

Stratégie b - (B, C, F, H, K, L, M, N, S, T, U, W) : Les agriculteurs font le choix d'une tonne entre 12-20m³ pour trouver un compromis entre débit de chantier et poids du matériel. Avec ce type de matériel, les agriculteurs épandent lorsque le temps et la portance des sols le permettent, voire selon les risques de tassement qu'ils acceptent (illustration *Figure 27*). Ils ont ainsi diverses stratégies pour essayer d'optimiser selon leur critères leur épandage (période, temps de travail, limitation de la compaction) : B, C, K, M, S, W épandent lorsqu'ils peuvent au printemps, généralement avant semis de cultures d'été ou d'hiver, ou sur prairies en dernier recours ; H, U travaillent peu le sol pour améliorer la portance (semis direct/technique culturale simplifiée) ; C, K, B, H, L investissent dans des solutions techniques pour limiter le tassement (tonne polypropylène, tonne à 3 essieux, pneus « basse pression », outils de décompactage) ; S augmente l'efficacité du chantier en transportant le digestat vers le champ avec des tonnes plus grandes de 24m³, et il épand ensuite avec sa tonne de 18m³ ; M, N, F considèrent qu'ils ont économiquement intérêt à épandre au moment optimal pour la plante au printemps même s'ils augmentent un peu le tassement. N et F sont deux agriculteurs bio chez qui l'épandage de digestat au printemps permet d'améliorer significativement les rendements, et donc les revenus globaux des ventes des cultures (cf. citation de F).

« Y'a forcément moins de rendement sur les passages de roues, mais quand on a un engrais gratuit... Après [les agriculteurs non bio] calculent pas pareil, ils vendent du blé à 150€ [par tonne], ne s'y retrouvent pas, nous on vend à 500€, quand on fait 10 quintaux de plus, c'est 500 balles. On dit, ça nous coûte 3,10€/m³ à épandre. Donc 60€ de l'hectare, si 3 passages et dans les passages on fait 20 quintaux de plus, donc ça rapporte 1000€ » (Agriculteur F)

⁹¹ L'agriculteur P n'est pas inclus dans cette analyse car il n'épand pas de digestat sur sa ferme

L'agriculteur W a accès à une tonne d'épandage via la CUMA car il coûterait trop cher à l'achat pour sa ferme. Le partage en CUMA limite parfois son usage au moment propice d'épandage, s'il est utilisé par d'autres.

« Le tonneau, si tu l'as en Cuma, tu ne peux pas le monopoliser pendant trois semaines du coup (...) la plage météo n'est pas toujours propice et du coup j'ai attendu janvier. » (Agriculteur W)

L'agriculteur T a un chantier spécifique équivalent à un chantier avec tonne moyenne : il a un automoteur qui va au champ, sans tonne mais avec un réservoir de digestat qu'il avitaille hors champ.



Figure 27 : Cette parcelle cultivée (céréales) d'un agri-méthaniseur des Vosges a été fertilisée au digestat au printemps (photographie en mai 2021).

Légende : La différence de couleur verte au sein de la parcelle correspond à un épandage hétérogène de digestat : le sol étant humide et trop peu portant, l'agri-méthaniseur n'a pas pu passer au pendillard sur la partie vert clair au centre. L'autrice pouvait aussi identifier des zones vert clair, peu visibles sur la photo, sur les bords du champ à gauche au loin, lorsque le chantier d'épandage tournait au bord du champ.

Stratégie c - (E, Q) : Les agriculteurs font le choix d'un chantier d'épandage à débit important (21m³-28m³) : l'objectif est d'épandre de grands volumes de digestat et de limiter le temps d'épandage. Le choix d'une grande tonne limite davantage les plages d'épandage au printemps ou augmente les risques de tassement s'il y a épandage à cette période. L'agriculteur E estime ainsi que les risques de tassement sont élevés sur ses sols argilo-limoneux, il épand peu au printemps et sur cultures, mais

plutôt avant semis de maïs l'été et sur prairies toute l'année. L'agriculteur Q a choisi un chantier qui permet un haut débit d'épandage (apprentissage issu de son savoir d'éleveur industriel porcin) et il « jongle » entre les parcelles de son plan d'épandage selon l'état des sols. Il a investi dans du matériel pour atténuer le tassement : pneus basse pression et outils de décompaction lorsqu'il y a tassement.

Stratégie d - (A, D, G, J, O, R, V) : Ces agriculteurs cherchent à étendre leur plage d'épandage, en investissant dans des tonnes de taille différente, et/ou en combinant l'épandage avec tonne (comme dans les 3 stratégies précédentes) à l'épandage « sans-tonne » (Encadré 7). A, D, G, O, R, V épandent au printemps avec une petite tonne pour passer sur sol peu portant, tandis que A, D, G, J, O, R, V épandent l'été avec des tonnes plus grosses qui permettent d'avoir de plus gros débits de chantiers. Les agriculteurs A, D, G, O, R, V ont donc plusieurs tailles de tonnes pour optimiser leur épandage. Les agriculteurs A, G, J, O, R complètent leur matériel d'épandage en mobilisant des chantiers sans-tonne. Ces chantiers sans-tonne réduisent le poids au champ ce qui permet d'élargir les plages d'épandages en limitant le tassement : ils peuvent ainsi réaliser des épandages en premier et 2e apport sur du blé au printemps (donc sur blé levé) avec moins de risque de tassement et de mortalité de plantes que s'ils le font avec une tonne d'épandage. La plupart font appel à des prestataires (A, G, J, O), car les prestataires du territoire commencent à s'équiper avec ce type de chantier ; l'agriculteur (O) a choisi de mettre en œuvre ce type de chantier à la demande des agriculteurs de son plan d'épandage ; l'agriculteur R le réalise en propre. Ce sont des chantiers complexes à mettre en œuvre par l'agriculteur lui-même : pour les conduire sur l'exploitation, il faut avoir assez de main d'œuvre, ou coopérer avec des voisins. Il faut aussi disposer d'un matériel suffisant (plusieurs tonnes d'épandage et tracteurs) ce qui a un coût. Deux agriculteurs (K et H) évoquent l'intérêt du chantier sans tonne, mais ils considèrent que cela coûte trop cher et demande trop de main d'œuvre et de matériel, entraînant une perte d'autonomie.

« Quand on fait venir un prestataire, il a peut-être pas forcément trop le temps, ou alors on va payer plus cher des forfaits de déplacement de tuyaux et tout ça, c'est quand même une mise en place, l'idéal c'est quand même la grosse parcelle. (...) Au moins 10ha pour faire du sans-tonne : on peut [faire à] moins mais il faut prendre le temps aussi, celui qui a le matériel soi-même, il peut s'amuser à le faire, mais voilà faut avoir le temps de le faire » (Agriculteur G)

« Pour les grands chantiers, sur le blé par exemple, on a de l'épandage sans tonne, ça veut dire que y'a un caisson en bout de parcelle, sur la parcelle y'a juste une rampe accrochée à un tracteur, on pompe, on est 2 sur le chantier, le tracteur, y'a la rampe et derrière y'a un tuyau qui est relié au caisson, y'a une pompe, et du coup ça (...) ça permet de passer. Ça c'est des gros chantiers, ça veut dire travailler en équipe, y'a 2 personnes qui sont au champ et après y'a souvent 3-4 tonne à lisier qui ravitaillent les caissons. C'est une logistique assez importante, l'épandage ça a un coût. » (Agriculteur R)

Ces chantiers ont également un meilleur débit qu'un chantier avec tonne, au-delà d'une certaine taille de parcelle. Plusieurs agriculteurs citent une taille minimum de parcelles pour que ça vaille selon eux la peine de le mettre en place : 10 ha pour G, 3-4 ha pour R, et 5ha pour S. Deux agriculteurs mentionnent le fait que le revenu apporté par la méthanisation leur a permis d'investir dans du matériel d'épandage plus lourd et efficace (S, Q).

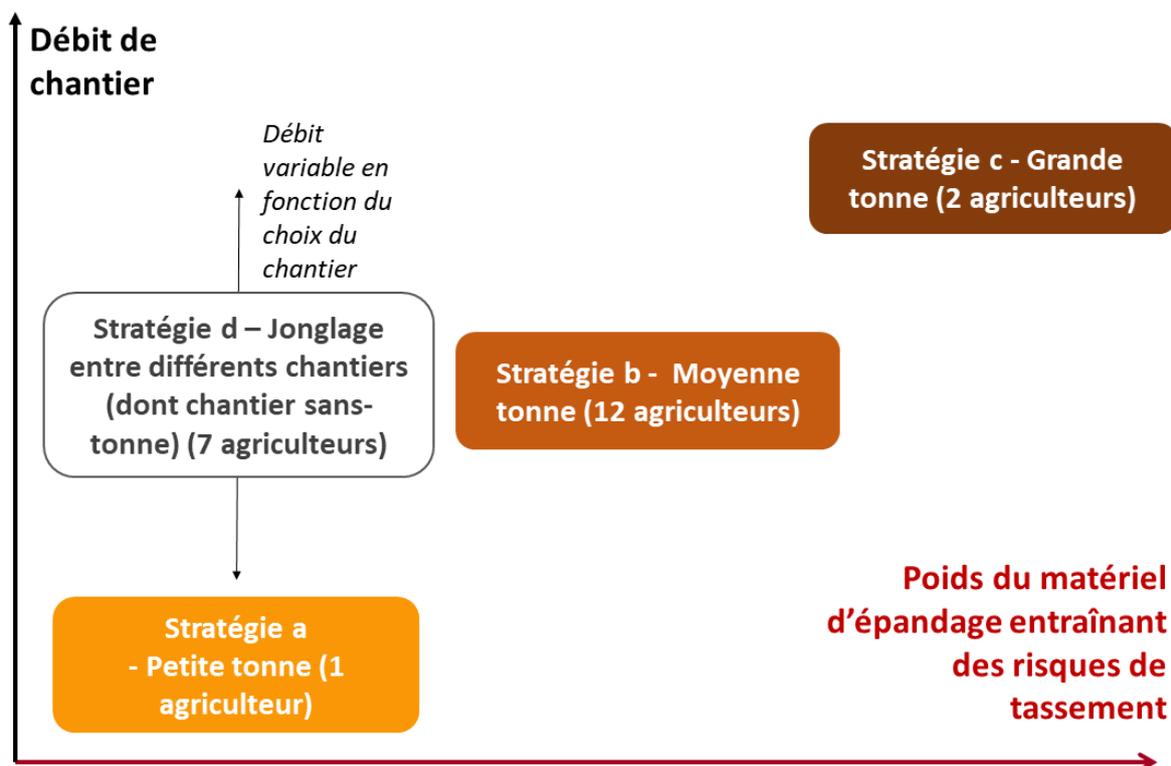


Figure 28 : Le compromis entre efficacité d'épandage et poids du matériel d'épandage entraînant risque de tassement, dans les stratégies de fertilisation des agri-méthaniseurs.

Légende : Petite tonne : $<11m^3$; Tonne moyenne $[12m^3-20m^3]$; Grande tonne $[21m^3-28m^3]$.

L'analyse des choix des matériels d'épandage selon le type de sol ne montre pas de corrélation simple. En sols variés, les agriculteurs ont plutôt tendance à choisir une tonne de taille moyenne, en faisant un compromis entre efficacité de l'épandage et risque de tassement des sols. On peut supposer que l'estimation du risque de tassement étant difficile, les agriculteurs choisissent un chantier qui leur permet ne pas s'embourber et d'avoir un débit d'épandage de digestat suffisant pour éviter que cela leur prenne trop de temps. On remarque que les deux agriculteurs (E et Q) qui cultivent des « sols « argilo-limoneux » (assez sensibles au tassement), n'épandent pas au printemps au moment optimal pour la plante, à cause des risques de tassement par leurs chantiers lourds (stratégie c).

Ainsi, nous montrons que les stratégies d'épandage sont contraintes par les ressources des agri-méthaniseurs : le coût du matériel et de la main d'oeuvre est un frein particulièrement pour les agriculteurs qui ont des petites fermes (I et W). Les stratégies d'épandage sont ensuite liées à la manière dont les agriculteurs vont définir leurs objectifs d'efficacité du travail d'épandage et calculer leur intérêt à épandre du digestat. De cela dépend la manière dont les agri-méthaniseurs gèrent le problème de la faible portance du sol au printemps et les risques de tassement qu'ils acceptent.

2.2.2 Les bonnes pratiques pour limiter la volatilisation de l'azote ammoniacal du digestat sont diversement mises en œuvre

Tous les agriculteurs sauf un (I) utilisent un pendillard, acheté pour la majorité à la mise en place du méthaniseur. Les agriculteurs l'utilisent pour limiter la volatilisation d'ammoniac lors des épandages de digestat. Certains choisissent un pendillard à patin (M, R) : M a choisi ce matériel car il lui permet d'épandre sur prairies, en souillant moins l'herbe, de sorte à pouvoir faire pâturer les vaches une semaine après. Cet investissement pèse plus ou moins lourd dans le budget des agriculteurs : certains (O, W) le louent à une CUMA avant d'en acheter un au bout de quelques années (O), d'autres le rentabilisent avec des prestations (B). L'agriculteur (I) n'a pas investi dans un pendillard car il préfère avoir un petit matériel moins onéreux, quitte à perdre de l'azote par volatilisation. Deux agriculteurs parlent de problèmes de tuyaux qui se bouchent (W, H) : H préfère ainsi l'hiver épandre à la buse à palettes pour ne pas risquer que le digestat gèle dans les tuyaux, et les bouche.

Dix-huit agriculteurs sur 21 n'ont pas de matériel spécifique d'enfouissement du digestat car : (i) Il coûte trop cher (A, B, D, E, U, H, I, J, W) ; (ii) il demande trop de puissance donc nécessiterait de réinvestir dans un nouveau tracteur (A, D, E, K, L, M, N, F, O, R) ; (iii) il épand moins large donc il faut faire plus de passages au champ (A, G, K, L, M, N, F, O, J, R) ; (iv) il n'est pas pratique pour épandre sur les prairies (S). Sept de ces 18 agriculteurs enfouissent rapidement le digestat (juste après ou dans la journée) lorsqu'ils épandent avant semis en travaillant le sol (déchaumeur, disque ou herse). Ils cherchent ainsi à éviter de fortes pertes d'ammoniac par volatilisation à l'épandage sur sol nu (par exemple avant semis de maïs au printemps). Le calendrier de travail peut retarder l'enfouissement, comme pour l'agriculteur (M) qui enfouit à la herse quand il a de la main d'œuvre disponible.

Trois agriculteurs (C, Q, T) ont investi dans un matériel qui peut tracter une rampe d'enfouissement et qui a un gros débit de chantier. L'enfouisseur permet de diminuer fortement la perte d'N par volatilisation, à environ 5% (Carton & Bulcke, 2021), c'est ce qui a motivé les agriculteurs. C enfouit sur cultures levées ou sur prairies ; les autres l'utilisent plutôt avant semis ou sur prairies, par peur d'abimer la culture (Q) ou de faire remonter les cailloux (T). Ces trois agriculteurs disposent d'une main d'œuvre suffisante pour gérer l'épandage et la capacité économique à investir dans ce matériel. En 2021, l'agriculteur (V) a testé une rampe d'enfouissement avec un prestataire. Il en a été très satisfait, et envisage d'y faire appel à nouveau pour limiter la volatilisation, et « *vu le prix de l'N cette année, les bénéficiaires sont plutôt intéressés.* » (Agriculteur V - en 2022)

2.3 Place des légumineuses

Le développement de l'atelier de méthanisation entraîne dans certaines exploitations une réintroduction ou un accroissement des légumineuses, dans des proportions variables (B, C, D, E, F, K, N, U). Les mécanismes derrière ces réintroductions sont divers (cf. *Tableau 39* en annexe pour la description précise des mécanismes). (i) L'agriculteur introduit à la marge des légumineuses via ces CIVE d'été (B) ou d'hiver (I). (ii) L'agriculteur, pour approvisionner son méthaniseur, introduit une culture pour la méthanisation, qu'il fait suivre d'une prairie ou d'un couvert temporaire avec légumineuses : c'est l'impossibilité de refaire une culture principale avec un rendement jugé suffisant après CIVE ou avec une gestion maîtrisée des adventices (C, D, E) qui les pousse à faire ces couverts. D et E évoquent l'intérêt supplémentaire de pouvoir déclarer le seigle en SIE pour la PAC. (iii) L'agriculteur convertit son système en bio, et réintroduit une diversité d'espèces dont des

légumineuses (D, F, N) sur une rotation plus longue. (iv) L'agriculteur, suite au retournement de prairies favorisé par la méthanisation, a libéré des surfaces qu'il va pouvoir exploiter pour tout ou partie avec des légumineuses (K, U).

Les autres agri-méthaniseurs ne réintroduisent pas de légumineuses dans leur rotation, principalement car ils n'y voient d'intérêt ni pour la méthanisation ni pour leurs systèmes de culture ou d'élevage (A, G, J, M, O, Q, R, S, T, V, W). Parmi ces agriculteurs, M et V cultivent en bio une partie de leurs surfaces, qu'ils fertilisent avec le digestat, mais sans avoir réintroduit de légumineuses. L'agriculteur O a fait des essais de cultures de luzerne, qu'il pensait valoriser avec le séchoir de la cogénération, mais sans les poursuivre à cause d'échecs répétés à l'implantation.

Les agriculteurs D et L considèrent que le choix de légumineuses pour la méthanisation n'a pas d'intérêt, l'objectif étant d'avoir des cultures qui font un maximum de biomasse méthanogène. Dans cette logique, certains agriculteurs diminuent leur culture de légumineuses avec la méthanisation : H a remplacé quelques ha de triticale-trèfle violet par du maïs pour la méthanisation, tandis que L a réduit la proportion de légumineuses dans ses CIVE pour avoir des mélanges qui font plus de biomasse.

« Au départ on avait essayé du méteil (triticale, pois vesce, trèfle scorosum) et ça coutait cher en semence, le seigle est moins cher et gaze plus car plus ligneux (...) c'est vrai qu'on ramène de la protéine, c'est pas le but recherché en méthanisation » (Agriculteur D)

« On a juste le mélange qui était modifié donc on va peut-être plutôt prendre des essences plus spécifiques à la méthanisation, avant c'était plutôt restructuration du sol. » (Agriculteur L)

L'agriculteur O est conscient que la fertilisation au digestat, parfois en surplus (vidage de fosse), ne favorise pas le développement des légumineuses, mais son objectif avec la culture de prairie temporaire est de produire du volume de biomasse :

« Au niveau des prairies on a remarqué qu'en termes de dérobées, si on met par exemple un raygrass trèfle, à l'heure actuelle on sait quasiment, que le trèfle, bah (...) on en aura une proportion infime, les légumineuses sont bien pour restituer de l'N, mais si on les pousse en azote, c'est pas ce qu'elles adorent. Nous on pousse quand même en N avec le digestat, parce que d'une part on veut du rendement, mais d'autre part car il faut qu'on épande le volume. » (Agriculteur O)

De manière plus générale, chez les agriculteurs enquêtés, la fertilisation des prairies permanentes s'est accrue avec la méthanisation (4.1.2). La fertilisation des prairies permanentes diminue leur biodiversité et favorise les peuplements de graminées au détriment de ceux de légumineuses (Plantureux et al., 2005).

La méthanisation apparaît donc favorable au développement de CIVE, et plus particulièrement dans les Vosges au développement des prairies temporaires (type raygrass) après CIVE. Mais toutes les prairies temporaires ou CIVE d'été introduites ne contiennent pas nécessairement de légumineuses, car celles-ci ne sont pas intéressantes selon les critères de la méthanisation. La majorité de ceux qui réintroduisent des légumineuses le font pour d'autres raisons que la méthanisation : produire des protéines végétales pour leur élevage (C), pour des raisons agronomiques de structuration du sol (U),

pour déclarer à la PAC⁹² les couverts de seigle en SIE⁹³ (B, D, E), ou pour mieux gérer les populations adventices en bio (D, F, N). Les systèmes ou les légumineuses sont en fait les plus présentes sont les systèmes qui ont opéré une transition vers des systèmes à bas niveau d'intrants. Les agri-méthaniseurs recherchent pour la méthanisation, des cultures qui font du rendement en volume et non de la protéine. Ainsi la plupart des exploitations enquêtées dans le Bas-Rhin (hors N et U) ont implanté des CIVE d'été ou d'hiver sans légumineuses.

2.4 Discussion du sous-chapitre 2

L'intérêt agronomique de l'azote du digestat est un argument fort pour son développement. Nous discutons ici des impacts environnementaux des modifications du cycle de l'azote liées à la méthanisation.

La méthanisation, levier ou frein à la substitution d'N minéral par de l'N organique ?

La littérature documente précisément les bénéfices et les conditions techniques de la substitution de l'azote minéral par du digestat (Carton & Bulcke, 2021; Lukehurst et al., 2010; Nicholson et al., 2017, 2018; Severin et al., 2016). Les évaluations agroenvironnementales des méthaniseurs sont souvent réalisées en faisant l'hypothèse du respect de ces conditions (chapitres 1 et 2 et Esnouf et al., 2021; Grillo et al., 2021; Moinard, 2021; Vaneeckhaute et al., 2018). Or nous avons montré que ces conditions ne sont pas toujours réunies, et ne peuvent pas toujours être réunies par les agriculteurs. Les obstacles évoqués par les agri-méthaniseurs enquêtés (portance du sol, matériel disponible, calendrier de travail, intérêt économique à épandre) conduisent à des substitutions très variables de l'N minéral par le digestat. Nos résultats montrent donc les écarts possibles entre la mise en œuvre technique et les projections « optimisées » issues de la théorie et ils identifient les causes de la variabilité de la substitution réelle. En termes quantitatifs, les deux dernières études françaises empiriques sur l'évaluation de la méthanisation sont MethaLAE (méthanisation en majorité en polyculture) (Cordelier, 2019) et les travaux de Carton & Levavasseur (2022) (méthanisation sans élevage) : elles documentent une diminution moyenne respectivement de 20% et 30% de la consommation d'N minéral chez les agri-méthaniseurs, ce qui est du même ordre de grandeur que la moyenne de nos observations. Cependant, nous ne retrouvons pas les mêmes évolutions que dans MethaLAE (ADEME & Solagro, 2018) selon les OTEX ce qui pourrait être lié à la diversité de stratégies de fertilisation dans des contextes sociotechniques qui évoluent. Il serait intéressant de mieux distinguer dans ces travaux les conditions des économies observées, les plus fortes.

De la substitution de l'N minéral par du digestat, à un bouclage du cycle de l'azote

Nous avons montré que la collecte d'intrants agricoles a plutôt tendance à s'effectuer via des échanges coproduits contre digestat, ce qui limite l'import d'N sur les fermes des agri-méthaniseurs. A l'opposé, les coproduits agroalimentaires et les biodéchets sont achetés par les agri-méthaniseurs, donc contribuent à l'importation d'N dans les exploitations. La méthanisation de cultures énergétiques

⁹² Les déclarations PAC sont réalisées par les agriculteurs pour obtenir les subventions de la Politique agricole commune (PAC) européenne.

⁹³ Les SIE ou Surfaces d'intérêts écologiques englobent une diversité de cultures (CIPAN, jachères, cultures dérobées) qui ne sont pas traitées avec des produits phytopharmaceutiques et qui sont présentes sur la parcelles à certaines périodes de l'année, sur au moins 5% de la surface de l'exploitation. Par exemple la réglementation en vigueur en 2015 précise qu'une culture dérobée est comptée en SIE si son ensemencement est réalisé entre le 1^{er} juillet et le 1^{er} octobre, et que le couvert a levé (Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015)

fertilisées par de l'N minéral (et plus rarement de CIVE), contribue aussi à un import. La gestion durable de cet azote dépend alors de la stratégie d'épandage et de substitution de l'agri-méthaniseur, du nouveau bilan d'azote organique de sa ferme, et de la part de l'N du digestat qu'il peut valoriser sur ses cultures. Les enjeux économiques de l'achat de biomasse (donc de l'import d'azote) et de bouclage du cycle varient fortement selon les configurations des méthaniseurs et les productions des fermes.

Par rapport à l'enjeu de fermeture du cycle de l'azote, si les apports de digestat ne se substituent pas à des apports d'N minéral (sur la ferme où dans des fermes voisines), cela crée des surplus azotés au niveau de l'exploitation et donc des risques de pollutions accrus (groupe 1). Les diminutions de l'achat d'N minéral, remplacé pour fertiliser les cultures par des épandages de digestat (groupe 2 : fermes qui font des économies entre -30% et -60%) améliorent le bilan agroenvironnemental des exploitations agricoles. Ces fermes ne réintroduisent généralement pas de légumineuses en cultures principales, et importent de l'N organique via l'achat d'intrants extérieurs. Par rapport à un enjeu de bouclage du cycle de l'N, la question est alors : est-ce que les économies déjà réalisées vont croître ? ou vont-elles se stabiliser avec une fertilisation qui fait coexister N minéral et digestat ? De plus, comme l'épandage de digestat a un coût (pneumatiques, fuel, matériel d'épandage, temps de travail), il serait intéressant d'étudier la sensibilité de cette substitution aux variations de prix de l'engrais N et de l'énergie, et les conditions économiques du maintien de ces pratiques de substitution. Si l'apport de digestat vient en substitution forte, il permet de réintroduire au niveau du territoire davantage de circularité, et sans doute d'améliorer significativement le bilan GES des fermes (groupe 3).

Par rapport à l'enjeu d'autonomie en azote des exploitations : la valorisation d'intrants agroindustriels / biodéchets en méthanisation offre une opportunité d'économie circulaire, si l'azote du digestat est bien valorisé. L'accès aisé à des intrants extérieurs riches en N organique peut cependant rendre moins intéressante, au plan agronomique, la réintroduction de plantes fixatrices d'azote dans les rotations. La conjonction du bio et de la méthanisation peut permettre de favoriser la circularité de l'azote, si la ferme parvient à reboucler son cycle de l'N. On voit dans nos exploitations enquêtées que deux agriculteurs bio font reposer leur production sur l'import d'N extérieur (via les biodéchets pour F ou via l'achat de fumier et de maïs ensilage pour D), tandis qu'une exploitation comme la (N) est quasi indépendante de l'azote extérieur. L'enjeu de bouclage qui apparaît est le même que celui déjà identifié dans la littérature sur l'agriculture biologique : l'évaluation de la durabilité de ces systèmes doit passer par une quantification de la dépendance du bio à l'agriculture conventionnelle (Dumont et al., 2020; Nowak et al., 2015), et ce phénomène doit être pris en compte dans les travaux sur les transitions.

Un cycle de l'azote bouclé dans les scénarios de transition agricole : les scénarios de transition de l'agriculture comme Afterres (Couturier et al., 2016) ou TYFA (Aubert et al., 2019) mettent en évidence deux processus nécessaires à la transition (i) une limitation de la sortie de l'N du cycle et (ii) la mise en place de systèmes agricoles qui introduisent de l'N dans le cycle, via la fixation symbiotique des légumineuses. Les systèmes agricoles peuvent alors perdurer sans dépendre d'importations d'N extérieur, dans une logique systémique. En reprenant cette distinction, on identifie dans notre échantillon (i) des trajectoires incrémentales, qui ne remettent pas en cause la logique globale d'un système dépendant de l'N minéral de synthèse et (ii) des trajectoires associées à des transformations plus en profondeur du système de production (par exemple conversion en bio). Nous discutons donc

les freins et leviers à la mise en place de ces logiques pour aller vers un meilleur bouclage du cycle de l'azote.

Levier de transition des systèmes de production.

Les trajectoires de réduction de l'azote associée à des transformations en profondeur du système de production, vers des modèles agroécologiques, sont, dans notre échantillon principalement le fait des fermes qui se sont converties en bio. Ces conversions sont liées à une attractivité économique du bio accrue grâce au pouvoir fertilisant du digestat. En effet, celui-ci permet de maintenir en bio des rendements proches de ceux obtenus avec de l'azote minéral, ce qui incite à son usage dans un régime agricole où de hauts rendements sont attendus (Voisin et al., 2014). La conversion en bio apparaît comme un levier fort de la réintroduction de légumineuses, pour allonger la rotation et gérer les populations adventices. Cependant, de même que montré par Blumenstein et al., (2015) en Allemagne, l'approvisionnement des méthaniseurs bios enquêtés nécessitent parfois l'import de biomasses agricoles ou non agricoles extérieures. Plus de 40% des exploitations bio de l'étude allemande achètent de la biomasse conventionnelle en extérieur pour le méthaniseur, et 66% estiment que leur modèle économique ne tiendrait probablement pas s'ils devaient méthaniser seulement de la biomasse bio (Blumenstein et al., 2015). Les causes que Blumenstein et al. (2015) ou Siegmeier et al. (2015) documentent sont les mêmes que celles que nous avons identifiées dans 2 de nos exploitations : (i) il est souvent difficile pour un agriculteur bio d'être totalement autonome dans l'approvisionnement de son méthaniseur et (ii) méthaniser des cultures bio n'est pas intéressant économiquement. Cela conduit à acheter des cultures ou des coproduits extérieurs et donc à importer de l'N dans le système agricole, diminuant la possibilité de boucler le cycle de l'azote.

Nous avons aussi montré que la valorisation de l'azote du digestat en production conventionnelle, dépendait de la capacité de l'agriculteur à optimiser son système de fertilisation avec le digestat. Cette optimisation implique des évolutions fortes des pratiques et donc une perception favorable de ces pratiques (par exemple l'acceptation de voir son blé au stade tallage couché après épandage de digestat). Le digestat introduit de nouvelles normes dans la fertilisation très différentes de celle de l'azote minéral (temps d'épandage, volumes à épandre, calcul des doses). Faire de cette fertilisation au digestat une pratique durable nécessite de faire évoluer les normes, croyances, connaissances des systèmes sociotechniques conventionnels qui organisent la fertilisation minérale.

Freins à la gestion durable de l'azote.

Dans le groupe d'agriculteurs qui substitue peu le digestat à l'engrais minéral, on identifie des freins à la limitation des pertes d'azote dont les conséquences agro-environnementales sont peu documentées dans la littérature. Le coût du matériel d'épandage, de même que la main d'œuvre nécessaire, les risques de tassement du sol et la complexité technique des chantiers freinent la substitution N minéral-digestat chez ces agriculteurs. Il est intéressant de remettre en perspective le coût du matériel d'épandage avec le bilan économique global sur la ferme de l'évolution de la fertilisation. Comme confirmé par les agriculteurs à leur échelle, l'évaluation du coût total de l'épandage n'est pas toujours facile à réaliser. Les travaux de Rodhe et al. (2006) qui ont estimé la valeur actuelle nette⁹⁴ d'un digestat, montrent que l'intérêt économique de l'agriculteur d'épandre au printemps ou à l'automne peut varier, selon la teneur en N du digestat, le matériel d'épandage et le volume épandu. Nous

⁹⁴ Net present value (NPV) is defined as the difference between the present value of cash inflows and outflows (Kumar et al., 2020)

suggérons que la taille, donc les ressources des fermes, jouent aussi dans l'intérêt à investir des agri-méthaniseurs.

On peut imaginer que le développement de la méthanisation entrainera davantage de demande des agri-méthaniseurs auprès des entreprises de travaux agricoles et favorisera l'investissement des CUMA dans le matériel d'épandage adapté (effets d'échelles et apprentissage). Certaines barrières aux bonnes pratiques semblent cependant plus difficilement franchissables, telles les contraintes de travail liées à l'enfouissement. Des recherches supplémentaires, notamment à travers des comparaisons avec d'autres pays, permettraient d'améliorer la connaissance sur les freins et leviers à ces changements de pratiques. Par exemple au Danemark, l'injection de digestat dans le sol semble davantage mises en œuvre (Al Seadi, 2010).

Enfin, la méthanisation n'apparaît pas dans nos entretiens comme un facteur permettant de déverrouiller la production de légumineuses, ni en tant que culture de vente ni pour alimenter le méthaniseur. Comme le digestat est caractérisé par une disponibilité forte de l'azote sous forme minérale, l'agri-méthaniseur fait ses choix de cultures dans un contexte en général de surplus azoté, ce qui ne le porte pas à choisir de réintroduire des légumineuses. L'introduction de légumineuses est cependant effectuée par certains polyculteur-éleveurs, en lien avec une adaptation indirecte de la rotation à la production de CIVE.

Valorisation de l'N et préservation des sols ?

L'impact à moyen et long terme de l'épandage du digestat sur la fertilité des sols et sur la dynamique des populations adventices et des ravageurs est encore peu documenté. Les impacts sur la vie du sol sont aussi peu documentés en conditions réelles, et sur le long terme (Piutti et al., 2022; Sadet-Bourgeteau et al., 2020). Les maladies des feuilles et des champignons sont souvent plus graves dans les systèmes plus intensifs en azote (Huber & Watson, 1974; Van Bruggen, 1995), il en est de même pour les dégâts des ravageurs (Altieri & Nicholls, 2003). Cependant cette évolution de la dynamique des populations adventices et de la micro- et macrofaune dépend également de l'évolution des systèmes de culture étudiée dans le sous-chapitre suivant.

Nous avons aussi mis en évidence que la valorisation optimale de l'azote pouvait être en porte-à-faux avec la préservation des sols lorsqu'un épandage de digestat au printemps augmente les risques de tassement des sols. Or un tassement accru est associé avec un risque accru d'affecter le fonctionnement écologique du sol (Keller & Or, 2022), de réduire l'efficacité de l'engrais et de rendement (Meynard et al., 1981) et d'augmenter les processus de dénitrification et d'émissions de N₂O (Sitaula et al., 2000). Nous montrons que la méthanisation a tendance à augmenter la fréquence des passages et le poids des machines sur les parcelles (cultures et prairies) ce qui peut induire des tassements. La plupart des agriculteurs épandent avec une tonne qu'ils choisissent selon un compromis entre valorisation de l'azote du digestat et risque de tassement du sol. Certains agriculteurs s'affranchissent de la contrainte de la portance du sol en investissant dans des chantiers sans-tonne ou des solutions techniques pour limiter le tassement, solutions préconisées dans la littérature (Carton & Bulcke, 2021). Mais le coût de ces investissements limite encore la mise en place de ces solutions, particulièrement pour les petits parcellaires où elles sont trop complexes et coûteuses à mettre en œuvre. L'enjeu de compaction des sols lié à la méthanisation est encore très peu traité empiriquement

dans la littérature, et mériterait de l'être plus, mais nos résultats qualitatifs sont cohérents avec les quelques travaux de modélisation sur le sujet (Ruf et al., 2021).

Nos résultats appellent donc à des travaux complémentaires pour approfondir l'analyse des marges de manœuvre des agriculteurs, qui apparaissent dépendre beaucoup des ressources disponibles (main d'œuvre, temps de travail, capacité à investir dans du matériel). Mais nos travaux montrent aussi que des obstacles comme la distance aux parcelles, l'organisation du parcellaire ou les modalités de travail d'épandage limitent la mise en œuvre des pratiques optimales de gestion de l'azote.

3 L'agri-méthaniseur fait évoluer son assolement et la conduite de ses cultures, en relation avec sa stratégie d'approvisionnement du méthaniseur

Les agri-méthaniseurs construisent la ration du méthaniseur pour concilier leurs objectifs de production d'énergie - contractualisés auprès d'un acheteur - et leur stratégie de production agricole. Certains agriculteurs mettent ainsi en place une stratégie de production d'intrants végétaux pour la méthanisation, ce qui peut modifier plus ou moins leurs assolements antérieurs. Cette partie décrit les pratiques d'approvisionnement des agri-méthaniseurs enquêtés, les transformations des soles qui en découlent, et les effets agroenvironnementaux associés.

3.1 Des pratiques d'approvisionnement des méthaniseurs déterminantes pour l'évolution des systèmes de culture

3.1.1 Logiques d'approvisionnement des unités de méthanisation enquêtées

Dans les Vosges et le Bas-Rhin, la méthanisation agricole est généralement adossée à un élevage (bovin, porcin ou avicole) (*Tableau 20*). Les méthaniseurs, pour la plupart, traitent au moins 60% d'effluents d'élevage, complétés de produits plus méthanogènes, qui vont augmenter la production du biogaz. Les agri-méthaniseurs mobilisent différentes filières d'approvisionnement : des coproduits (effluents, pailles, refus) issus de leurs fermes, des coproduits des fermes du territoire (effluents, résidus de culture, cannes de maïs), des cultures (énergétiques ou intermédiaires) de leurs fermes ou du territoire, des coproduits agro-industriels (issues de silos, pulpes de betterave déclassées, lactosérum, etc.) ou des biodéchets produits par industriels du territoire (par exemple produits transformés comme des pizzas ou résidus de traitement de boues d'épuration) (illustration Figure 29).

Moyenne [gamme de variation] /Département	10 UM Vosges	9 UM Bas-Rhin
Moyenne du % d'effluents d'élevage	71% [35-83%]	66% [30-90%]
Moyenne du % de coproduits (agricole et agroindustriels) et de biodéchets	8% [0-16%]	22% [5-60%]
Moyenne du % de cultures énergétiques	12% [5-45%]	4% [3-17%]
Moyenne du % de CIVE	6% [4-18%]	7% [0-42%]

*Tableau 20 : Approvisionnement des unités de méthanisation enquêtées (pourcentage moyen en volume de matière brute par catégorie d'intrants et gammes de variation sur notre échantillon).
Source : agriculteurs.*

On voit que les agriculteurs vosgiens enquêtés méthanisent une base d'effluents d'élevage autour de 70% et complètent avec des produits très méthanogènes de type cultures énergétiques (essentiellement maïs) ou CIVE (principalement seigle), et d'un peu de coproduits. Dans le Bas-Rhin, les agriculteurs ont également une proportion importante d'effluents d'élevage, un peu inférieure à celle des Vosges mais fréquemment d'au moins 60% (cf. citation ci-dessous). Ils complètent avec davantage des coproduits très méthanogènes du territoire (agricoles ou agroindustriels), ainsi qu'avec des CIVE (méteil avec seigle et/ou triticales ou prairies temporaires) ou dans une moindre mesure des cultures énergétiques (maïs). La structure des approvisionnements montre donc que la part de produits très méthanogènes provient davantage des cultures énergétiques dans les Vosges, tandis qu'elle provient principalement de coproduits dans le Bas-Rhin. Lorsqu'on compare les approvisionnements entre méthaniseurs en cogénération et en injection on voit que les 5 méthaniseurs en injection consomment une part plus élevée en moyenne d'intrants très méthanogènes (40%), par rapport aux 14 méthaniseurs en cogénération (28%). Si ces échantillons ne sont pas statistiquement représentatifs, ces chiffres permettent toutefois de suggérer des tendances que nous mettrons en regard des analyses plus précises des transformations analysées dans nos enquêtes.

*« On est payé 20 c€/kwh. Sur les 20 centimes, y'a 15 centimes du prix de l'électricité et y'a 5 centimes c'est les effluents, si y'a pas la prime « effluents », c'est pas rentable, donc obligé [de mettre des effluents], c'est ce créneau-là, c'est ce qui était prévu au départ, c'est ce qu'on fait »
(Agriculteur A)*

La prime aux effluents d'élevage incite les agriculteurs à méthaniser les effluents à disposition, même s'ils ne sont pas aussi méthanogènes que d'autres intrants. Cependant l'étude des 3 unités qui fonctionnent sans la prime aux effluents montre que d'autres logiques productives peuvent être choisies. La première unité est adossée à une ferme des Vosges, qui pour maintenir ses objectifs de production suite à un agrandissement (puissance installée de 200kW), a dû intensifier la ration de son méthaniseur. Dans un contexte où le marché des coproduits était fortement à la hausse et mettait à mal son modèle économique, l'agriculteur a cultivé davantage de CIVE et de cultures énergétiques à la place de cultures fourragères et de vente. Les deux autres unités qui méthanisent moins de 60% d'effluents sont deux des quatre unités collectives en injection du Bas-Rhin. Elles méthanisent en contrepartie respectivement 52% de coproduits et 42% de CIVE triticales.



Figure 29 : Coproduits agroindustriels (dont son de blé) et biodéchets (dont boues de STEP) dans un silo de stockage. (Source : autrice).

3.1.2 Une concurrence accrue sur les intrants qui incite à la méthanisation de cultures à la place de coproduits

Les agri-méthaniseurs dont les unités de méthanisation sont les plus anciennes [2012-2016] soulignent le fait que le prix des coproduits et biodéchets a considérablement augmenté ces dernières années. Il y a 8 ans, ils en prenaient certains à bas coût ou gratuitement, alors que maintenant ils les achètent à des prix qui ne cessent de croître [11 agriculteurs : B, E, H, I, K, O, Q, R, T, U, V] (Figure 30, Tableau 21).

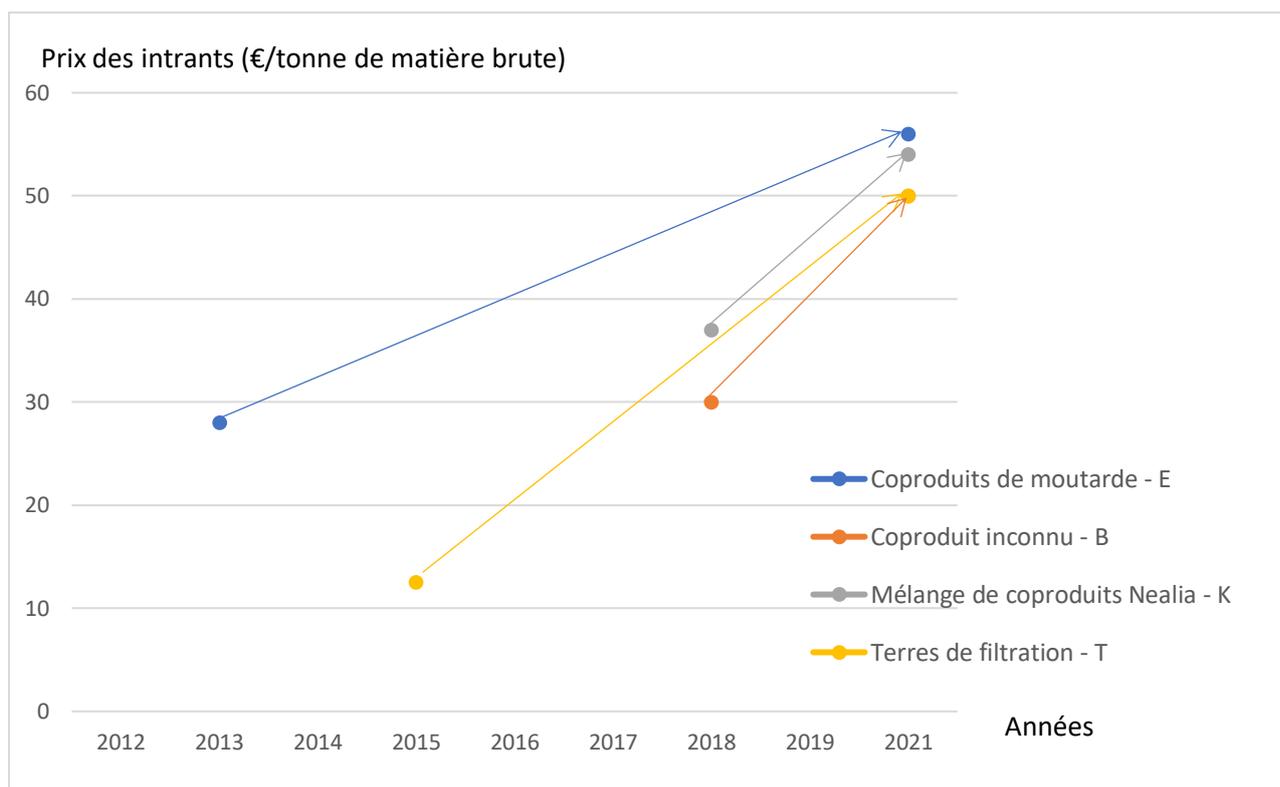


Figure 30 : Evolution sur 10 ans du prix de 4 coproduits agro-industriels et de biodéchets (Source : agriculteurs).

Citations	Agriculteur
« On voit aussi ces dernières années bah que ça évolue beaucoup, notamment avec les nouvelles méthanisations, à une époque on pouvait avoir autant produit que voulait, et on pouvait négocier, les tarifs qu'on voulait plus ou moins, là avec l'explosion de la méthanisation, on voit qu'il commence à avoir de la concurrence, au niveau des déchets en fait. Certains appros qu'on avait ils commencent à moins venir. »	O
« Il y a de nouvelles unités de méthanisation ce qui entraîne une raréfaction du déchet, les prix flambent. »	V
« Il faut qu'on monte le prix de plus en plus, parce que t'as des industriels, c'est même pas les industriels c'est les commerçants entre, qui achètent de plus en plus cher (...) ils en ont rien à foutre, c'est comme ça, c'est le business, on est tous pareil »	T
« C'est le prix, du marché, c'est plus à la hausse qu'autre chose. »	Q

Tableau 21 : Verbatims illustrant la concurrence et l'augmentation des prix sur le marché des coproduits agroindustriels.

Les agriculteurs interprètent cette concurrence comme de la spéculation, liée à la raréfaction d'une ressource sur le territoire, dans un contexte de développement fort des unités de méthanisation :

« Biolid y'a beaucoup de choses, de grosses industries, de Roquette, Terreos, d'amidonnerie, après Biolid n'ont pas toujours [des coproduits], car ils fournissent leurs premiers clients auparavant, et y'a tellement d'unités de méthanisation » (Agriculteur G)

Le choix et la part de ces produits très méthanogènes se fait différemment selon l'agriculteur, selon sa stratégie de gestion de l'unité de méthanisation et l'accès aux intrants qu'il souhaite méthaniser. Le calcul de la rentabilité en biogaz d'un intrant est cependant au cœur de l'approvisionnement en produits très méthanogènes : c'est le pouvoir méthanogène (Tableau 22). Une référence est partagée par une partie des agriculteurs enquêtés [G, H, J, L, T] : c'est le ratio prix-pouvoir méthanogène du maïs ensilage. Les agriculteurs vont acheter des matières extérieures (coproduits agro-industriels ou biodéchets) si le m³ de gaz produit par la matière achetée est moins cher que celui produit par le maïs ensilage :

« L'objectif c'est que ce soit pas plus cher que le maïs ensilage, (...) une matière qui fait vite du gaz on essaie d'en avoir car si on voit que les méthaniseurs descendent on remonte, mais on essaie de rester à 7-8 ct/kW. Pour le moment ça se fait, ça monte tout doucement. » (Agriculteur J).

D'autres agriculteurs [N, K, I] calculent un prix à ne pas dépasser par kWh de gaz. Le maïs ensilage devient ainsi un étalon pour décider de la bonne rentabilité d'un intrant.

Intrants de méthanisation	Pouvoir méthanogène Nm ³ CH ₄ /tMB
Maïs ensilage	90
CIVE triticale-seigle-avoine	60,6
Fumier bovin frais	40,5
Lisier porçin frais	8
Coproduits agroalimentaire : lactosérum	23
Coproduits agricole : issues de silo	318 (données SIA)
Pulpe de betterave	30
Biodéchets : huile alimentaire	784
Biodéchets : boues de STEP	10-250

Tableau 22 : Table des pouvoirs méthanogènes de quelques intrants.

Légende : Le pouvoir méthanogène d'un intrant est exprimé en normo-mètre cube de méthane produit par tonne de matière brute (tMB) d'intrant méthanisé. Ces valeurs peuvent varier selon les sources. L'auteur a repris ou calculé ces valeurs à partir de données issues des sources suivantes : Esnouf et al., 2021; FranceAgriMer, 2022; Morin (ADEME Franche-Comté), 2015.

Les agri-méthaniseurs s'approvisionnent aussi selon l'accès physique à des intrants à proximité du méthaniseur, et selon les contraintes mécaniques que l'intrant exerce sur le méthaniseur : certains agriculteurs (H, F, R) partagent la volonté de traiter moins d'intrants très fibreux (comme un fumier bovin ou de la paille), qui usent davantage le matériel du méthaniseur par rapport à un maïs ensilé ou des intrants liquides (lisier ou biodéchets). Une solution adoptée pour limiter les problèmes mécaniques liés à la consommation de paille est d'investir dans une sorte de broyeur ou défibreux pour

favoriser la dégradation des pailles et limiter l'introduction de cailloux dans l'unité de méthanisation [A, C, I/H, M/L, N, P/S, R, U].

« Si vous mettez du fumier "pauvre" de vaches allaitantes, alors vous avez du volume de fumier mais vous ne faites pas de gaz, (...) faut incorporer beaucoup plus, faut casser les machines, faut plus de volume de fosse, vous mettez 2 fois le volume pour faire la même quantité de gaz, la fosse de stockage faut suivre. C'est pour ça ils ont bonne gueule les allemands, ils nous ont envoyé leur process, mais eux ils ne mettent que du maïs » (Agriculteur E)

La stabilité des variables biologiques et biochimiques est également clef pour un fonctionnement optimal du méthaniseur. La production de biogaz sera meilleure si la ration biologique est stable (donc les populations microbiennes et bactériennes aussi). Certains agriculteurs essayent, dans la mesure du possible, de stabiliser leur ration, la part de coproduits agro-industriels restant souvent imprévisible selon l'approvisionnement de ceux qui les revendent. De plus, le soufre est un inhibiteur de la réaction de méthanisation (Yang et al., 2016) : chez les agriculteurs A et B, ce processus a contribué à inciter les agriculteurs à remplacer dans leur rotation le colza (plante riche en soufre - Grant et al., 2012) par du maïs pour la méthanisation.

3.2 Les différentes stratégies d'évolution des systèmes de culture, avec l'arrivée de la méthanisation

Un des systèmes enquêtés est quasiment indépendant de l'unité de méthanisation : l'éleveur ovin P n'apporte pas de cultures à la méthanisation. Il a pensé le projet indépendamment de son élevage : cela est possible car ses associés agriculteurs (comme S) mettent en place des cultures pour la méthanisation, et car il a réussi à établir de nombreux partenariats avec des industriels du territoire pour s'approvisionner en coproduits. Il est intéressant de garder ce cas P « extrême » en tête pour comprendre les logiques d'évolution des systèmes de culture exposées dans la suite.

3.2.1 *Stratégie 1 : Un maintien des productions antérieures et une faible évolution du système de culture avec la mise en place du méthaniseur*

L'agriculteur fait le choix de ne pas bouleverser ses productions végétales antérieures pour approvisionner son méthaniseur. La rotation initiale est peu modifiée, avec une introduction de nouvelles cultures intermédiaires qui reste marginale, pour ne pas affecter les cultures en place. On identifie deux variantes de cette stratégie. La première variante rassemble des agriculteurs qui ont décidé de modifier seulement leur couvert intermédiaire d'été pour la production de biogaz, car ils ne veulent pas affecter les rendements de leurs cultures de printemps (Q, R). Mais ces agriculteurs ne comptent pas vraiment sur ces productions de CIVE d'été pour l'approvisionnement du méthaniseur, en raison des faibles rendements de ces CIVE (Q, R) :

« Nous on n'a pas mis en place de cultures comme certains ont fait pour méthaniser ; (...) on a encore passé zéro maïs ensilage, zéro pulpe de betterave, on méthanise vraiment que des déchets avec lesquels on ne peut pas faire autre chose » (Agriculteur R)

La seconde variante concerne des agriculteurs qui ont décidé d'introduire des CIVE d'hiver pour faire 3 cultures en 2 ans, ainsi que parfois des CIVE d'été. Ces agriculteurs (J, O, T) estiment intéressant de produire davantage de biomasse sur la rotation grâce à des intercultures, sans toutefois modifier la

succession des cultures principales. La priorité à l'élevage est affirmée chez O et T qui veulent préserver le fonctionnement antérieur de leurs ateliers d'élevage. Ces agriculteurs étendent cette double culture à une part plus ou moins grande de leur sole : T et J couvrent fortement leur sols l'hiver avec du seigle et du raygrass (respectivement 80ha et 40ha chez J) tandis que l'agriculteur O a introduit une vingtaine d'ha de CIVE d'hiver dans ses rotations, et a davantage augmenté ses surfaces de CIVE d'été (même si elles sont peu productives car elles souffrent de la sécheresse).

Ces agriculteurs ont en commun le fait que leurs intrants les plus méthanogènes proviennent généralement d'achats extérieurs aux exploitations : biodéchets (O), coproduits agro-industriels (J, O, Q, T) et coproduits agricoles (cannes de maïs (R)), ... Les agriculteurs jugent leur approvisionnement plus ou moins vulnérable : Q, qui échange coproduits contre digestat avec ses voisins (Q) et a de bonnes relations avec les industriels à proximité ne se sent pas menacé par le marché des coproduits. Au contraire O et T se sentent trop dépendants d'un marché des coproduits à la hausse. L'agriculteur T explique qu'en raison de la hausse des prix des coproduits, l'approvisionnement de son méthaniseur évolue dernièrement vers de moins en moins de coproduits et davantage de CIVE et de cultures énergétiques (maïs). Il évolue donc vers la stratégie 2 (3.2.2). De même l'agriculteur O a dû pour la première fois en 2021 mettre dans son méthaniseur un peu de maïs ensilage prévu pour ses vaches, car l'approvisionnement en coproduits était impossible. Il envisage aussi de produire plus de cultures si le marché des coproduits devient trop cher, ou de réduire la production de méthane. Au contraire, l'agriculteur J en 2022, expose avoir arrêté l'achat de cultures énergétiques chez ses voisins, car leur activité avait été reprise par d'autres, et s'être rabattu sur l'achat de coproduit.

3.2.2 Stratégie 2 : Introduction de cultures énergétiques et de CIVE produites pour la méthanisation en substitution à des cultures antérieures : les systèmes de culture sont modifiés pour contribuer à la production de biogaz

L'agri-méthaniseur modifie ses rotations pour introduire des cultures énergétiques et intermédiaires de sorte à approvisionner le méthaniseur (Tableau 23). Onze agriculteurs augmentent leur surface en maïs ensilage (A, B, C, E, G, H, I, L, M, S, V) et deux agriculteurs introduisent une culture de triticale/seigle (K, W) pour approvisionner la méthanisation. Ces cultures remplacent une culture de vente, en général des céréales à paille (A, C, E, H, I, V), du colza (B, G), ou du maïs grain (K, L, M, S, V) (Tableau 23). Le remplacement de quelques cultures de vente par des cultures énergétiques est la stratégie la plus courante dans les exploitations de polyculture élevage vosgiennes enquêtées. Dans les Vosges, ces cultures énergétiques peuvent être introduites dans l'assolement après retournement de prairies permanentes (A, H, I, K).

« Avant la métha on avait du colza, on a arrêté le colza pour faire du maïs, déjà le colza, y'a toujours quelque chose qui n'allait pas, fallait faire des insecticides, et pis nous c'est plus des terres à maïs qu'à céréales » (Agriculteur G)

« On a essayé d'augmenter au max, on avait des parcelles en prairies naturelles qu'on a pu relabourer, pour augmenter un peu la rotation » (Agriculteur I)

« J'ai douze hectares qui sont destinées pour la métha, parce que j'ai supprimé le blé également. J'ai supprimé l'orge, le blé, toutes les terres pauvres je les valorise en triticale/seigle et les précédents betterave je les fais en triticale pour la méthanisation » (Agriculteur W)

Comme dans la stratégie 1, les agriculteurs introduisent des CIVE dans la rotation, entre leurs cultures principales ou à la suite de cultures énergétiques. Les agriculteurs choisissent en majorité des CIVE d'hiver (seigle, triticale/méteil ou prairies temporaires type raygrass) (A, B, C, E, G, H, I, M, S, V, W) méthanogènes et dont le rendement en volume est bon (A, B, E, G, H, M, S, V, W). Par rapport à la stratégie 1, les agriculteurs acceptent davantage que la double culture affecte le rendement du maïs (culture principale) car la marge nette moyenne à l'hectare est meilleure de leur point de vue (B, C, G, H, I, S, V, W, voir *Tableau 23*). Certains agriculteurs préfèrent tout de même ne pas faire de double culture incluant un maïs car la double culture affecte trop le rendement du maïs (A, E, L), et ainsi opter pour une culture d'hiver maintenue sur la parcelle plus longtemps : ils vont donc cultiver un seigle d'hiver suivi d'une prairie temporaire ou d'une CIVE d'été (A, E) – dans ce dernier cas le seigle devient juridiquement une culture principale. Comme dans la stratégie 1, certains agriculteurs introduisent aussi des CIVE d'été derrière céréales avant culture d'hiver (mélanges graminées légumineuses) ou plus rarement à la place d'un maïs pour tenter d'avoir un peu de biomasse. Pour limiter les charges engagées sur des cultures sujettes aux sécheresses, l'agriculteur B produit la semence des CIVE lui-même. La méthanisation favorise chez ces agriculteurs la couverture des sols l'hiver car les cultures d'hiver méthanogènes font de bon rendement. La méthanisation incite aussi au semis de CIVE d'été même si contrairement aux CIVE d'hiver, les agriculteurs sont souvent déçus des productions.

En moyenne sur les 13 agriculteurs mettant en œuvre cette stratégie, la production de cultures pour la méthanisation (à la place d'une culture principale) concerne 15% de leur surfaces cultivées⁹⁵, avec un écart entre 6% et 41%. La valeur extrême de 41% concerne une très petite exploitation. Une culture principale peut cependant être remplacée par une double culture qui répond à la fois à la fonction alimentaire et énergétique, avec comme précisé en colonne 4 du *Tableau 23* des baisses de rendement possible sur la culture principale.

⁹⁵ En considérant dans la surface cultivée les ha de prairies permanentes retournés pour les agriculteurs concernés. La surface cultivée ne prend pas en compte les surfaces toujours en herbe.

Agriculteur	Cultures arrêtées...	Remplacée par...	Pratiques de double culture (si concerné)
A	5-6 ha de céréales 7-8ha de prairies permanentes	12-14 ha de seigle Quelques ha de maïs	Double culture plus ou moins possible selon les années, et les parcelles
B	15-20ha de colza	15-20ha de maïs 10-15ha de CIVE raygrass 50ha de CIVE d'été (mélange graminées, légumineuses)	Double culture avant maïs
C	20ha d'orge	20ha de maïs Réintroduction partielle de prairies temporaires (luzerne, trèfle)	Double culture avec perte de rendement sur le maïs suivant
E	30-40ha de céréales	40ha de seigle suivi d'un raygrass (3 ans)	Pas de double culture à cause de la perte de rendement sur le maïs
G	15ha de colza	15ha de maïs 65ha de CIVE d'hiver (15ha de seigle, 50ha de raygrass) Quelques ha de CIVE d'été	Double culture avant maïs
H	x ha de prairies permanentes (25-x) ha de triticale-trèfle	25ha de maïs/sorgho 25ha de CIVE seigle	Double culture avec perte de rendement (-10tMB/ha) sur le maïs suivant
I	4-5ha de prairies permanentes 2ha d'orge	6-7ha de maïs Quelques ha de prairies temporaires en couverts	
K	25ha de prairies permanentes 10ha de maïs	10-15ha de luzerne + 10ha de cultures de vente 10ha de seigle// prairies temporaires de trèfle Augmentation des surfaces de CIVE d'été	
L	15ha de maïs grain	15ha de maïs ensilage Evolution des espèces de CIVE d'été pour la méthanisation	
M	20ha de maïs grain	20ha de maïs ensilage 15ha de CIVE d'hiver seigle Quelques ha de raygrass	
S	10ha de maïs grain	10ha de maïs ensilage 20-30ha de seigle ou raygrass	Double culture avec perte de rendement sur le maïs suivant
V	Variables selon les années : quelques ha de maïs grains irrigués	Variables selon les années : quelques ha de maïs ensilage irrigués ou de sorgho ou autre CIVE d'été irriguée Surface variable de CIVE d'hiver	Double culture en conventionnel
W	12 ha de blé et orge	12ha de triticale-seigle	Double culture avec perte de rendement sur le maïs suivant

Tableau 23 : Récapitulatif des évolutions des assolements des agriculteurs de la stratégie 2 avec le développement de la méthanisation.

3.2.3 *Stratégie 3 : Dynamique de transformation forte de l'activité agricole dans laquelle s'inscrit la méthanisation, ce qui conduit à une transformation forte du système de culture*

Les agriculteurs de ce groupe ont fait évoluer leur système de culture en profondeur (*Tableau 24*) en lien avec les besoins d'approvisionnement du méthaniseur (même si, comme expliqué dans le § 1.2, la méthanisation n'est pas toujours l'origine directe des évolutions des systèmes de culture).

Dans leur rotation diversifiée de grande culture bio, les agri-méthaniseurs N et D ont introduit des CIVE à destination de la méthanisation. D a testé la double culture seigle/maïs dans ses terres aux sols limoneux profonds, et a finalement opté pour une CIVE suivie d'une prairie temporaire, car le seigle assèche trop le sol avant le maïs, souligne-t-il. Il achète en complément du maïs ensilage conventionnel pour approvisionner son méthaniseur. N fournit à l'unité collective dans laquelle il est, le quota de CIVE sur lequel il s'est engagé.

Pour F et U, l'évolution de la rotation est davantage liée à la logique d'évolution de l'élevage. Ils passent tous deux d'une ration animale à base de maïs à une alimentation à l'herbe (F) ou herbe et méteil (U), associée à un arrêt du maïs dans l'assolement. L'agriculteur F approvisionne aisément son méthaniseur, car il est associé à une entreprise de traitement du déchet via laquelle il a accès au marché des biodéchets et des coproduits agroindustriels. Il n'a donc pas intégré de cultures pour le méthaniseur dans sa rotation. Au contraire l'agriculteur U a fait évoluer parallèlement son système de culture et son élevage de sorte à pouvoir approvisionner avec plus de résilience et d'autonomie son élevage laitier et son méthaniseur. Initialement il avait décidé d'introduire dans sa rotation de maïs et céréales une CIVE seigle. Mais le rendement du maïs en double culture était économiquement peu satisfaisant, et l'agriculteur cherchait à maîtriser davantage les risques liés à la sécheresse sur son exploitation. Il a donc fait évoluer sa rotation vers une rotation méteil//couverts en retournant 10ha de prairies permanentes, pour avoir suffisamment d'aliment à la fois pour les vaches et le méthaniseur.

Agri-culteur	Rotation antérieure	Rotation ayant intégrée le méthaniseur
N	Maïs//blé (engrais vert)//betterave	blé/ CIVE seigle //sarrasin/ CIVE triticale // prairies temporaires de trèfle violet (1 an)
D	<i>Rotation céréalière conventionnelle</i>	CIVE seigle //prairies temporaires de raygrass (1 ou 2 ans) avec trèfle // blé // couverts/ orge de printemps ou avoine // tournesol + quelques ha de lentilles
F	Maïs//blé//orge	blé//blé//prairies temporaires (3 ans) (mélange de 8-10 espèces dont des légumineuses)
U	Maïs//maïs//maïs//céréales	Méteil protéagineux//couverts// méteil énergétique

Tableau 24 : Récapitulatif des évolutions des rotations des agriculteurs de la stratégie 3 avec le développement de la méthanisation (/ succession intra-annuelle ; // succession inter-annuelle).

Ces évolutions des systèmes de cultures plus durables que les précédentes (diversification, réintroduction de légumineuses) montrent également que si l'agriculteur a un accès aisé à des intrants méthanogènes, il va moins consacrer de surfaces pour des CIVE ou des cultures énergétiques.

3.2.4 *Evolutions en cours des stratégies d'approvisionnement des méthaniseurs et des systèmes de production*

On observe ainsi différentes stratégies des agriculteurs : les transformations choisies de leur système de culture diffèrent notamment s'ils peuvent ou non faire des doubles cultures, et s'ils décident de substituer des cultures alimentaires, ou destinées aux troupeaux, par des cultures énergétiques. On voit que les potentiels des terres en Bas-Rhin rendent la double culture seigle//maïs économiquement plus attractive, mais la double culture semble mal s'accommoder du bio. Les CIVE d'été sont globalement peu productives dans un contexte de sécheresses récurrentes ces dernières années et donc peu intéressantes pour la méthanisation. Le remplacement de quelques cultures de vente par des cultures énergétiques est la stratégie la plus courante dans les exploitations de polyculture élevage enquêtées.

Dans un territoire comme les Vosges, l'évolution des systèmes de culture dépend beaucoup de l'accès non limitant à des intrants très méthanogènes. Ainsi, parmi les agri-méthaniseurs enquêtés les plus anciens - qui approvisionnaient leur méthaniseur avec peu de cultures énergétiques et beaucoup de coproduits extérieurs - plusieurs (T, K, O) font évoluer leur stratégie d'approvisionnement de la stratégie 1 vers la 2, dans un contexte où certains intrants pour la méthanisation font l'objet d'une concurrence croissante. Deux agriculteurs de la stratégie 2 envisagent aussi de produire davantage de cultures pour être plus autonome dans leur approvisionnement et moins dépendre des marchés à la hausse des coproduits :

« Les coûts [d'achats de coproduits] franchement, ça cogne quand même (...) 45 000€ de fourniture en coproduit, (...) on achète 45€/tonne, faut arrêter, on va chercher l'autonomie [en intrants] » (Agriculteur D)

L'augmentation des prix des coproduits, ces dernières années, rend économiquement plus intéressante la valorisation de cultures en méthanisation. On voit que ce phénomène de report vers les cultures énergétiques est accru dans les Vosges, tandis que les enquêtés du Bas-Rhin ont une plus grande capacité à s'approvisionner à l'extérieur de leur exploitation. On peut faire l'hypothèse que cela est liée à l'implantation de davantage d'agro-industries dans le Bas-Rhin, donc à un volume de coproduits élevé sur le territoire, et aussi au fait que la demande en produits méthanogènes y est pour le moment plus faible, puisque la méthanisation s'est développée plus récemment.

L'approvisionnement du méthaniseur met moins de pression chez les agriculteurs qui ont des sources d'approvisionnement diversifiées : productions sur la ferme, achats ou échanges de coproduits du territoire et achats de biodéchets. Ainsi les agri-méthaniseurs qui voulaient peu modifier leurs activités agricoles pour la méthanisation et qui se retrouvent dépendants d'approvisionnement extérieurs instables en coproduits cherchent à se diversifier dans le biodéchet (O, R) ou transforment leur assolement en conséquence (E, T) ce qui peut conduire à des modifications plus ou moins fortes de leurs activités agricoles, selon leur capacité à faire de la double culture (T) ou non (E). Le bilan économique du méthaniseur qui en résulte peut en être affecté (E, R). Faire du stock de produits méthanogènes est aussi une stratégie mise en place par des agriculteurs (A, B, K, O, G, V, T) pour

pouvoir faire face à une interruption dans leur approvisionnement en coproduits, ou pour faire face à de mauvaises récoltes. Le stock peut être formé à partir d'achats de cultures/coproduits extérieurs (B, K, G, V), ou à partir d'une production plus importante de biomasse sur l'exploitation (A, T).

« Aujourd'hui y'a plein de gens qui ont arrêté le lait, qu'ont du maïs ensilage (...) ils savent pas quoi en faire, on l'achète à 28€/tonne, on l'achète à la tonne de matière sèche, (...) car une année de sécheresse, on a beau avoir 150ha de maïs dans notre assolement, une bonne gamelle, ça va vite. Et pis demain, les issues de céréales, admettons j'en ai plus car trop cher, c'est le voisin qui les a eu, je dormirais tranquille. » (Agriculteur G)

Les projets en injection ou en cogénération ne se distinguent pas sur ces différents aspects.

Comme présenté en 1.1, 10 unités sur 19 ont vu augmenter leur puissance installée depuis le projet initial. Cette dynamique d'agrandissement des méthaniseurs s'accompagne chez les agriculteurs enquêtés d'une évolution de la structure de l'approvisionnement caractérisée par une moindre autonomie. L'agrandissement des installations nécessite de méthaniser davantage d'intrants et/ou des intrants plus méthanogènes. Un agrandissement se traduit alors souvent par une consommation accrue d'intrants extérieurs, en proportion de la ration : coproduits agricoles [V] ou agroalimentaires [H/I, J, K, S, U] ou biodéchets [G, H, O]. Une dynamique d'agrandissement peut aussi renforcer la tendance à la production de davantage de cultures énergétiques [E, G, H, O] ou de CIVE (E).

En conclusion, les méthaniseurs dont les approvisionnements reposent sur des ressources extérieures stables et méthanogènes (F, P, V, G, Q) modifient moins leur assolement que ceux dont la part très méthanogène provient de leur fermes (L/M, C, I/H, B, A, U, W/N), sauf pour ceux comme J qui peuvent produire suffisamment de CIVE en interculture en plus de leur cultures antérieures. Le ratio (*ha de SAU⁹⁶*) / (*kW de puissance installée/associé*) est très variable d'une ferme à l'autre, sans corrélation évidente avec la transformation des assolements. Le calcul de ce ratio gagnerait cependant à être réalisé sur l'ensemble de la SAU des associés d'un même méthaniseur, en tenant compte de la main d'œuvre des fermes. Il semble donc que l'insertion dans le territoire est déterminante dans la sécurité de l'approvisionnement - nous l'analyserons dans le chapitre 5 – et donc dans l'évolution des systèmes de culture des fermes. Ces évolutions des systèmes de culture ont des impacts agroenvironnementaux divers, analysés dans le paragraphe qui suit.

3.3 Conséquences de l'évolution des assolements sur la durabilité des systèmes de production

3.3.1 Focus empirique sur l'évolution de la consommation de pesticides dans la conduite des systèmes de cultures

On distingue 3 grandes sources d'évolution de la consommation directe de pesticides chez les agri-méthaniseurs⁹⁷ (cf. *Tableau 40* en Annexe pour la description précise des mécanismes). La première d'entre elles est la substitution de cultures de vente par du maïs, des CIVE et/ou des prairies temporaires (A, B, E, G, H, I, W). Par exemple l'agriculteur va arrêter des cultures de céréales ou de colza et les remplacer par du maïs : il arrête ses traitements sur céréales ou sur colza (nombreux

⁹⁶ SAU : Surface agricole utilisée. La SAU recouvre les terres labourables (y compris les pâturages temporaires), les prairies permanentes et les cultures permanentes (vignes, vergers...).

⁹⁷ Dans ce paragraphe, l'échantillon étudié n'inclut pas les agriculteurs M et S, qui considèrent n'avoir pas encore assez de recul pour parler d'une évolution de consommation possible de pesticides.

traitements insecticides) et augmente ses traitements herbicides sur maïs. L'agriculteur W a cependant diminué ses traitements herbicides anti-liseron avec l'implantation plus tardive du maïs après CIVE. Dans le cas où les agriculteurs arrêtent des céréales ou du maïs pour introduire une CIVE et une prairie temporaire, ils consomment moins de pesticides que sur les cultures antérieures : seuls 2 agriculteurs (C, J) traitent ponctuellement les CIVE.

« Avant je passais trois fois dans le maïs, deux (...) herbicides et puis un désherbage liseron. Maintenant je fais le traitement du liseron tout de suite. Le maïs je l'implante le 5 mai, le 10 mai, trois semaines après tu peux déjà traiter du liseron qui a cette taille-là, alors que si tu l'implantes en avril, ton liseron ne se développe qu'au mois de mai, du coup ton liseron pour le premier passage herbicide (...) il n'est pas là, et le deuxième, tu le traites, mais le maïs est trop haut donc là je peux le prendre quand le maïs est encore petit et je limite à une dose d'anti-liseron. » (Agriculteur W)

La 2^{ème} source d'évolution d'usage de pesticides est l'augmentation de la surface cultivée et traitée, et du nombre de cultures. Cette logique concerne les agriculteurs qui ont introduit des traitements sur des CIVE (C, J) et ceux qui ont remplacé des prairies permanentes par des cultures de maïs/CIVE (A, H, I, K). Ces derniers ont retourné des prairies pour produire des cultures annuelles : l'augmentation de surfaces en maïs et en cultures de vente, donc de surfaces traitées, augmente la consommation de pesticides sur la sole.

« je faisais un insecticide à l'automne, et un désherbage tous les ans, jusque-là pas besoin de désherber, cette année y'a eu besoin, sinon ça fait 2 ans que je faisais rien. L'année dernière j'avais eu de la concurrence, j'ai perdu en rendement. Des mauvaises herbes : panic, renouée, vulpin un peu aussi. » (Agriculteur C parlant du traitement de son seigle CIVE)

La 3^e source est une transformation profonde de la logique du système de production (D, N, F, U, V). La conversion totale (D, N, F) ou partielle (V) en bio, et la diversification des rotations conduit à un arrêt ou à une forte diminution de l'usage direct de pesticides.

« C'est une récolte précoce en tant que CIVE et que vous ensilez tout (...) Le risque pour moi en termes de salissement est vraiment limité. C'est l'avantage d'avoir une CIVE en intermédiaire que vous récoltez plante entière, c'est qu'il n'y a pas de risque de salissement majeur. » (Agriculteur N)

Plusieurs agriculteurs font peu évoluer leur système de production, et la consommation de pesticides demeure globalement la même qu'auparavant (L, O, P, Q, R, T). Cependant l'évolution de leur consommation de pesticides est aussi liée à leurs consommations *indirectes* via l'achat de cultures énergétiques pour le méthaniseur. Les agriculteurs (A, B, D, F, G, H/I, J, O, S, V) achètent ponctuellement ou régulièrement, de quelques ha à une cinquantaine d'ha par an du maïs ensilage conventionnel pour la méthanisation.

En conclusion, la méthanisation ne modifie pas la consommation de pesticides chez la plupart des agriculteurs, ou bien à la marge, en positif ou en négatif, exception faite des conversions en bio. Lors des conversions en agriculture biologique, la méthanisation joue le rôle de levier ou accompagne un système moins consommateur de pesticides. Mais la méthanisation en système bio peut continuer à consommer indirectement des pesticides comme chez les agriculteurs D et F qui achètent du maïs ensilage conventionnel pour approvisionner leur méthaniseur. En conventionnel, l'évolution de la consommation de pesticides est davantage liée à une évolution des cultures (donc des traitements

classiquement utilisés par l'agriculteur pour ces cultures), qu'à une dynamique de diminution/augmentation du « salissement » des parcelles, observé par les agriculteurs. L'effet CIVE potentiel sur la baisse de consommation des pesticides n'est pas documenté par nos enquêtes. On peut supposer que cela est dû à l'évolution fréquente et continue des cultures au cours du projet de méthanisation qui laisse peu le temps à l'agriculteur d'observer des effets directs et avérés sur les dynamiques des populations d'adventices et de ravageurs à moyen terme ; les agriculteurs méthaniseurs qui ont mis en place en 2018 leur méthanisation disent aussi avoir encore peu de recul sur l'évolution du salissement.

3.3.2 Diversification des cultures et impacts agroenvironnementaux associés

Nous détaillons dans ce paragraphe les effets agroenvironnementaux liés aux trois stratégies d'évolution des systèmes de culture décrites précédemment.

- Stratégie 1 : des effets positifs de l'introduction de cultures intermédiaires

La biodiversité de la parcelle, l'activité biologique du sol, l'accumulation de carbone dans les sols, et la gestion des adventices et des maladies sont favorisées chez les agriculteurs qui introduisent des cultures intermédiaires supplémentaires et couvrent leur sol l'hiver, comme le soulignent les agriculteurs T, J et O. Les CIVE d'été contribuent aussi à ces impacts positifs lorsqu'elles lèvent, ce qui est de moins en moins fréquent ces dernières années avec le manque d'eau (R, O). En cas de non levée des CIVE d'été, les risques de pollution sont accrus, puisque leur fertilisation azotée n'aura pas été consommée par les cultures. Les CIVE d'hiver semblent ainsi avoir plus d'impacts positifs sur l'environnement que les CIVE d'été.

- Stratégie 2 : des effets agroenvironnementaux contrastés

La production de cultures énergétiques conduit souvent à augmenter les surfaces de maïs, qui n'est pas une culture de diversification dans notre région d'étude. La substitution « céréales par maïs » ne va donc pas dans le sens d'une diversification (A, C, E, H, I, V). Les effets de la substitution de prairies permanentes par des cultures énergétiques ou de vente (A, H, I, K) sont négatifs pour la biodiversité de la flore et du sol, et pour le stockage de carbone dans le sol. Mais la transformation des rotations s'accompagne aussi de l'introduction de cultures (intermédiaires) énergétiques d'hiver qui diversifient la rotation et couvrent le sol l'hiver, avec des effets positifs sur la biodiversité, l'activité biologique du sol, le stockage de carbone et la réduction de la pression des adventices et des maladies (Beillouin et al., 2021). Cependant les traitements et les apports d'engrais minéral réalisés par certains agri-méthaniseurs sur ces CIVE limitent ces gains agroenvironnementaux. L'introduction dans la rotation d'une CIVE seigle suivi d'une prairie temporaire est particulièrement intéressante en termes de diversification de la rotation. Les CIVE d'été permettent aussi d'augmenter le nombre d'espèces cultivées chez certains agriculteur (G, B, H), améliorant alors la biodiversité et la gestion des adventices et maladies. Inversement l'agriculteur L remplace des cultures intermédiaires diversifiées avec légumineuses par des cultures davantage orientées vers la production d'énergie, ce qui n'est pas favorable à la diversité spécifique de la rotation. En général le nombre de cultures dans la rotation reste le même, ou augmente d'un point avec la CIVE d'hiver.

- Stratégie 3 : des transformations systémiques vers des trajectoires plus vertueuses

La transition en bio des deux agriculteurs céréaliers les a conduits à allonger et diversifier leur rotation, avec des effets bénéfiques attendus sur la biodiversité, la gestion des maladies et adventices et le stockage de carbone dans le sol. La transition des élevages de F et U vers des systèmes extensifs à

l'herbe les a conduits à arrêter la production de maïs pour produire respectivement du blé//prairies temporaire de légumineuses et graminées (3 ans) et du méteil avec légumineuses, donc à réintroduire une diversité spécifique favorable à la biodiversité des parcelles et à la gestion des adventices, des maladies et des ravageurs. Toutefois l'agriculteur U a retourné 10 ha de prairies permanentes, ce qui est défavorable à la biodiversité et au stockage de carbone dans le sol.

3.3.3 *Concurrence feed/food et énergie : usage des sols et usage de l'eau*

On observe des effets contrastés sur la concurrence entre production d'énergie et production d'aliments. Les agriculteurs de la stratégie 1 limitent la concurrence énergie/alimentation sur l'usage des sols en maintenant leur production et débouchés antérieurs. Les agriculteurs de la stratégie 2 réorientent (en moyenne 15%) une partie de leurs productions de cultures antérieures pour produire des cultures pour la méthanisation. La concurrence apparaît porter davantage sur l'alimentation humaine (cultures de vente) que sur l'alimentation animale. La culture de CIVE d'hiver évite cette concurrence, mais peut diminuer les rendements sur les cultures principales.

La concurrence entre feed/food/energy se joue aussi sur l'usage des ressources qui vont être à l'avenir plus rares, comme l'eau. Le manque d'eau ces dernières années est souligné par de nombreux agriculteurs enquêtés. Dans les Vosges, l'irrigation est peu pratiquée. Dans le Bas-Rhin où les pratiques d'irrigation sont plus développées en raison de la proximité du Rhin, certains agriculteurs peuvent consommer de l'eau pour une CIVE (M), une double culture (associé de N) ou une culture énergétique de maïs (V). Ils cultivent ainsi leur culture de vente ou pour la méthanisation de manières similaires, selon le besoin des plantes et leur capacité économique à irriguer. Cela pose la question des usages prioritaires d'une eau qui avec le changement climatique va être une ressource de plus en plus rare (IPCC et al., 2019).

3.4 Discussion du sous-chapitre 3

Evolution des systèmes de culture : quelles tendances introduit la méthanisation ?

Nous montrons à travers une analyse systémique qu'il existe une diversité d'effets agroenvironnementaux sur les rotations, qui ne sont pas toujours anticipables et généralisables. Il n'y a pas, dans nos enquêtes, un seul modèle de système de culture favorisé par la méthanisation en France, mais une diversité de stratégies d'adaptation de l'assolement aux besoins (plus ou moins importants) d'intrants méthanogènes. Ces évolutions des systèmes de culture peuvent être plus ou moins subies : l'impératif de rentabilité du méthaniseur dans des situations de disponibilité incertaine de coproduits peut conduire l'agri-méthaniseur à consommer plus de cultures en méthanisation qu'il ne le souhaiterait. Cavicchi (2016) identifie en Italie, ce même phénomène d'augmentation de la demande en cultures énergétiques face à une concurrence croissante sur les biomasses méthanisables du territoire. Plus précisément nous montrons donc la prépondérance de la logique de chaque agriculteur dans un environnement d'approvisionnement en biomasse plus ou moins contraint (besoins du méthaniseur, relations au territoire et réglementation). Ainsi quelques agriculteurs choisissent de peu modifier leur production antérieure, et y parviennent. Cela implique la capacité à assurer un approvisionnement d'intrants stables et méthanogènes, venant du territoire ou de la ferme. Ces choix dépendent notamment du contexte pédoclimatique et de la capacité des sols à produire des doubles-cultures. Mais au-delà de cette diversité, nous retrouvons une tendance globale à une réorientation partielle des systèmes de culture pour permettre une production d'énergie, tendance

documentée dans d'autres contextes agricoles et d'autres pays (Carton & Levavasseur, 2022; Lüker-Jans et al., 2017).

Il est toutefois difficile de tirer de nos résultats des conclusions claires à l'échelle de l'exploitation sur l'évolution quantitative des surfaces, car notre échantillon n'est pas représentatif⁹⁸. De plus concernant la hiérarchie des usages, les frontières d'usage en polyculture étant floues (Kemp, 2011; Launay et al., 2022; Marx, 2020), il n'est pas évident de caractériser les évolutions d'usage des sols. Cependant nous retrouvons deux tendances identifiées dans la littérature. La première correspond au développement des cultures énergétiques d'hiver, dans des systèmes de double culture comme ce qui est promu dans d'autres pays avec l'initiative BiogasdonerightTM en Italie (Dale et al., 2020) et le projet de recherche Syn-Energy en Autriche (Szerencsits et al., 2015). Comme observé dans nos résultats, ces systèmes de culture ont des atouts intéressants en termes de couverture du sol et de diversification (selon les cultures de la région), mais aussi des effets négatifs s'ils sont associés à une gestion de l'azote non durable (Kemp, 2011; Launay et al., 2022). Les CIVE d'hiver non traitées et non fertilisées apparaissent intéressantes par rapport aux objectifs d'une transition agroécologique.

La deuxième tendance est celle du développement du maïs, excellente culture en termes d'énergie produite par hectare, dont les surfaces augmentent fréquemment dans les régions où se développent les méthaniseurs (Carton & Levavasseur, 2022; Herrmann, 2013; Lüker-Jans et al., 2017; Ruf et al., 2021; Vergara & Lakes, 2019). Le maïs ensilage, au cours des marchés mondiaux de 2021, est bien une culture intéressante économiquement à méthaniser en France. En termes quantitatifs l'augmentation des surfaces de maïs est bien moindre en France qu'en Allemagne. Une étude FranceAgriMer (2022) estime que dans le scénario tendanciel de 2022, à peu près 5 % du maïs (fourrage et ensilage) seraient mobilisés par les projets actuellement en montage, dans les 5 années à venir. Cela équivaldrait en France à une surface agricole utilisée de 70 000 ha, à comparer avec l'Allemagne où la surface de maïs ensilage destinée à la méthanisation était estimée à 900 000 ha en 2014 (BDEW, 2015). On peut faire des hypothèses sur cette différence : une réglementation française qui limite depuis 2017 à 15% le pourcentage de cultures énergétiques ; une densité de méthaniseurs plus faible par unité de territoire en France ; une prime aux effluents qui favorise une part de 60% d'effluents d'élevage dans l'approvisionnement ; et une distinction difficile entre CIVE et cultures énergétiques en France qui conduit à sous-estimer la part de cultures principales méthanisées. La culture de maïs conventionnel pour la méthanisation en Grand Est n'a en tout cas pas de bénéfices agroenvironnementaux majeurs et tend à perpétuer des pratiques de cultures non durables en méthanisation. Sa place, qui apparaît clef dans les approvisionnements des méthaniseurs en polyculture-élevage, questionne donc sur l'accompagnement à la transition vers des systèmes de culture agroécologique. La massification en France des projets en injection qui consomment davantage de cultures qu'en cogénération (ADEME & Région Grand Est, 2022) appellent à analyser plus précisément l'évolution des assolements et les bénéfices et risques associés.

Bilan des effets agroenvironnementaux.

Nous montrons donc que les effets agroenvironnementaux négatifs de ces transformations dépendent d'effets systémiques indirects non anticipés dans la politique du biogaz et encore peu documentés : baisse de la biodiversité des prairies permanentes liée à l'intensification de leur conduite ; baisse de la

⁹⁸ Pour rappel notre échantillon a été construit afin de saisir une diversité d'effets de la méthanisation sur les systèmes agricoles

diversité des familles cultivées avec l'augmentation des graminées dans les successions de culture, au détriment de couverts d'interculture plus variés (Carton & Levavasseur, 2022) ; besoin en eau supplémentaires des CIVE utilisées en méthanisation et risque de concurrences avec les cultures principales (Launay et al., 2022). Le besoin en biomasse et l'augmentation du rendement des prairies peut conduire un éleveur à retourner des prairies permanentes, comme cela a été documenté en Allemagne (Lupp et al., 2014). Le retournement des prairies permanentes en lien avec la méthanisation n'est pas démontré en France comme un phénomène significatif mais nos résultats montrent qu'il existe, alors qu'il est limité par un règlement au niveau européen depuis 2013 (European Parliament and Council 2013). Des travaux réalisés en Allemagne sur la valorisation des prairies permanentes en méthanisation montrent qu'elle peut être intéressante économiquement à certaines conditions de subventions, de rendements des prairies, et de valorisation de l'énergie (Blokhina et al., 2011). Nos résultats dans le contexte réglementaire français ont plutôt documenté une utilisation opportuniste des prairies permanentes en méthanisation, il serait intéressant de mener des travaux supplémentaires sur le rôle potentiel de la méthanisation dans le maintien des prairies permanentes. En ce qui concerne les effets agroenvironnementaux positifs, nous montrons que les évolutions les plus vertueuses des systèmes de culture sont liées à des trajectoires de transformation fortes des modes productifs comme la conversion en bio.

Nos résultats viennent donc enrichir la littérature sur l'évaluation des effets de la méthanisation, puisqu'ils montrent qu'il est nécessaire de prendre en compte des variables sociotechniques du système de production, et du territoire, si on veut comprendre les dynamiques d'évolution des systèmes de culture et l'impact environnemental de la méthanisation. Ils montrent que les effets de la méthanisation sur les systèmes de culture ne sont pas univoques : si la ferme a besoin de produire de la biomasse pour le méthaniseur, les effets agroenvironnementaux de cette production dépendront beaucoup de la logique du système de production dans lequel elle s'inscrit. Les effets agroenvironnementaux de l'évolution des systèmes de cultures doivent encore être davantage documentés dans une diversité de systèmes de production et de contexte agricole.

4 Chez les éleveurs, la méthanisation, entre concurrence et soutien à l'élevage

Les agri-méthaniseurs enquêtés appartiennent tous à des unités de méthanisation où éleveurs et céréaliers travaillent ensemble, même s'il n'y a pas toujours des éleveurs et des céréaliers au capital de l'unité. Nous avons ainsi enquêté sur notre terrain d'étude des modèles qui méthanisent une part - entre [35%-90%] – d'effluents animaux. Ce sont donc dans des contextes territoriaux où la proximité de la méthanisation à l'élevage est forte, que nous étudions les liens entre méthanisation et élevage. Nous avons choisi de distinguer les dynamiques de synergie/concurrence entre méthanisation et élevage selon différents référentiels. La méthanisation a en effet des effets différents sur l'activité d'élevage selon les liens que les acteurs de ce secteur peuvent entretenir à l'UM : éleveur au capital d'une unité de méthanisation, éleveur qui travaille avec une unité de méthanisation ou éleveur du territoire sans lien commercial avec une unité de méthanisation. Nous nous intéressons ici à ces phénomènes de synergie/concurrence au niveau du système de production de l'agri-méthaniseur, tandis que nous adoptons un référentiel différent dans le chapitre suivant, celui du territoire.

Nous identifions de nouvelles dynamiques de concurrence/synergie entre l'élevage et la méthanisation selon 2 angles :

1. Les fonctions réalisées sur la ferme : gestion des effluents d'élevage (4.1) et gestion de l'atelier fourrager (4.2)
2. L'utilisation des ressources au sein de l'exploitation en fonction des priorités de l'agriculteur

4.1 La méthanisation modifie les liens entre les différents ateliers de la ferme, et a des conséquences sur leur gestion et leur fonctionnement

4.1.1 La gestion des effluents d'élevage

Le fumier est un produit économiquement intéressant à méthaniser pour les agri-méthaniseurs, s'il est disponible sur la ferme ou à proximité : c'est un coproduit des ateliers d'élevage donc « gratuit », qui a un pouvoir méthanogène⁹⁹ 2 à 3 fois moins élevé que celui du maïs ensilage, et qui met plus de temps à être digéré par le méthaniseur. Parmi les agriculteurs enquêtés, la plupart valorisent tous leurs effluents en méthanisation, sauf dans certains projets où les agri-méthaniseurs préfèrent mettre davantage d'autres produits très méthanogènes (H/I, N/W, V avant agrandissement). Lorsque les effluents d'élevage sont produits sur des fermes éloignées du méthaniseur, cela peut ne pas être rentable de les transporter (H, K). Dans un contexte d'augmentation des prix des intrants méthanogènes, le fumier devient cependant, pour certains agriculteurs, de plus en plus intéressant à méthaniser (D, M).

*« On a des sites extérieurs, un site à 10km, le fumier là-bas on ne le ramène pas, c'est que les sites de ***** (...). Car sinon ça fait du transport pour rien, autant le maïs produit d'un site à l'autre on le ramène, mais le fumier non » (Agriculteur H)*

Parmi les unités de méthanisation enquêtées, certaines valorisent des effluents d'élevage du territoire proche (Q, M/L, D, G, R, T, V). L'échange (ou plus rarement l'achat) d'effluents contre du digestat fonctionne si les éleveurs voisins s'y retrouvent. Aux dires des agri-méthaniseurs, cela arrange certains éleveurs car cela leur évite la mise aux normes de leur infrastructures de stockage (D, G, T) ; d'autres éleveurs trouvent avantageux de déléguer l'épandage, réduisant leur coût de fertilisation (V). Cependant la méthanisation de fumier est ressentie, par certains agri-méthaniseurs (E, H), comme plus contraignante dans la gestion des infrastructures que celle d'autres intrants : comparée à la méthanisation de cultures, elle demande la gestion de plus gros volumes, pour un pouvoir méthanogène moindre, et entraîne davantage d'usure et de casse de machines (E, H). Autre inconvénient des effluents : si les animaux sortent des bâtiments, la production est saisonnière, ce qui implique que les agri-méthaniseurs doivent, lorsque leurs bêtes pâturent modifier la ration de leur méthaniseur pour compenser la baisse de disponibilité des effluents (A, I, B, C, M). L'agriculteur U a toutes ses vaches en bâtiment actuellement, il souhaiterait les faire pâturer bientôt, ce qui nécessitera d'alimenter, en période de pâturage, le méthaniseur par du méteil au lieu de fumier. Enfin il n'est pas possible de récupérer les effluents dans les certains systèmes d'élevage : l'éleveur (P) ne valorise quasiment pas ses effluents ovins, car ils sont difficilement récupérables sur ses terres de montagne, et le digestat en retour est difficilement épandable.

⁹⁹ Pour rappel le pouvoir méthanogène est la quantité de CH₄ produite par tonne de matière brute de matière.

La récupération des effluents pour la méthanisation modifie souvent la gestion des effluents des élevages. Avant la mise en service des méthaniseurs, ces effluents étaient généralement épandus sur les terres après stockage en cuve ou en bout de champ. La méthanisation de ces effluents introduit chez certains agri-méthaniseurs divers changements de systèmes de gestion des effluents : l'éleveur avicole (L) ne sèche plus ses fientes de poules avant leur vente à des agriculteurs bio, il les méthanise et vend désormais le digestat « bio » à ces agriculteurs ; l'éleveur (R) a rassemblé son troupeau avec celui de son associé méthaniseur, et créé un nouveau bâtiment autour duquel les vaches peuvent pâturer, et au sein duquel ils récupèrent désormais directement le lisier pompé dans la fosse pour la méthanisation ; l'éleveur (E) est entré dans une dynamique d'intensification de sa production laitière soutenue par le développement de la méthanisation : avec la mise en place d'un robot de traite ces dernières années, et le maintien des vaches en bâtiment, il récupère désormais directement son lisier pour la méthanisation. Le pompage du lisier directement dans les fosses pour l'acheminer au méthaniseurs facilite sa gestion (E, J, R). Enfin la production de digestat solide a conduit certains éleveurs (F, U) à « pailler » les box des vaches avec celui-ci pour faire des économies d'achat de paille.

4.1.2 La gestion de l'atelier fourrager

a) Synergies entre méthanisation et élevage au niveau des productions fourragères : une priorité fréquente à l'élevage

Chez les agri-méthaniseurs, la méthanisation garantit une voie de valorisation en dernier recours des biomasses végétales produites ou achetées. Cela procure plus de souplesse à certains agriculteurs dans leur gestion fourragère : ils peuvent prendre la décision de produire plus de cultures fourragères (maïs, seigle, herbe) pour l'élevage et la méthanisation, et de faire du stock en prévision d'une potentielle sécheresse, en sachant qu'ils auront toujours un débouché économique intéressant en méthanisation pour ces matières, si elles ne sont pas utilisées en élevage (A, B, E, G, K, J). Les coupes d'herbe de faibles valeurs sont aussi valorisées facilement en méthanisation (E, A, K).

« Cette année on a fait un seigle-trèfle pour faire un trèfle en deuxième coupe. Suivant les stocks fourragers, le seigle ira à la métha, ou pas » (Agriculteur K)

Cela est possible car les espèces cultivées (maïs, seigle, herbe) sont utilisable pour l'élevage ou la méthanisation. Seuls les agriculteurs G et S ont décidé d'acheter des semences de maïs spéciales méthanisation afin de maximiser leur pouvoir méthanogène.

Inversement, certains agriculteurs (B, C et ses associés, H, J, M) valorisent les cultures qu'ils avaient prévues pour la méthanisation, en alimentation animale :

« Ça fait à peu près 2 ans, qu'y a des grosses sécheresses et qu'on fait moitié de rendement en maïs, (...) y'avait 80ha de prévu sur les 4 fermes, de maïs, à la métha on n'en a pas mis, car on en a déjà mis pour nos bêtes » (Agriculteur C)

« Initialement destinés à la méthanisation, les seigles ont été en partie conservés pour les vaches (5ha). Le sorgho produit en 2022 ira aussi en priorité aux vaches, selon les besoins. La méthanisation a toujours pour recours l'achat de maïs ensilage » (Agriculteur M)

« Agriculteur 1 : - ça fait 3 ans qu'on fait des années plus que moyennes en maïs. Agriculteur associé : - donc la surface soi-disant prévue pour la métha, est quand même en partie mangée

par les bêtes, et on achète du maïs sur pied [pour la méthanisation] » (Agriculteur B et son associé)

Plusieurs agri-méthaniseurs (A, K, B, J, Q, R) considèrent en effet que l'atelier méthanisation peut toujours acheter du maïs ou d'autres produits en extérieur pour s'approvisionner, sans que cela affecte sa rentabilité. Ils priorisent donc la consommation des cultures produites sur leur ferme pour l'élevage. Pour éviter d'avoir à choisir entre élevage ou méthanisation, certains font du stock de maïs sur leur ferme (G). D'autres agri-méthaniseurs n'avaient pas l'intention de méthaniser du maïs (K, O, R), mais en raison de sécheresses répétées et de la faible production en CIVE et en maïs, ils se retrouvent à acheter du maïs ensilage pour la méthanisation (K, O).

« Là ça fait 3 ans de sécheresse, on récolte 25 quintaux de CIVE, et le maïs à 5 tonnes. Quand y'a des vaches, tu mets pas dans la métha. Un moment donné, le but c'était pas de produire, on a jamais fait un hectare de maïs pour la métha, c'est la première année qu'on va devoir en acheter. » (Agriculteur K)

D'autres (C, U) pensent l'autonomie de leur ferme dès le départ pour limiter ces problèmes de concurrence entre ateliers : (U) a ainsi fait évoluer sa ferme pour produire assez de cultures pour les vaches et la méthanisation, ce qui fait qu'il n'a pas à choisir entre méthanisation et élevage.

Ces synergies et complémentarité, au sein du système de production, n'existent pas toujours. Elles sont possibles grâce aux double cultures (3.2.1) ou se font au dépend des cultures de vente ou des prairies permanentes (3.2.2). Ainsi un agri-méthaniseur qui ne peut produire plus de cultures (surface limitée ou double culture non rentable), et qui ne veut pas diminuer sa culture existante n'a pas cette souplesse : l'agriculteur L consomme 10-15ha de maïs grain en maïs ensilage pour la méthanisation, et il doit en conséquence acheter l'équivalent en maïs grain en extérieur pour son élevage avicole. O regrette d'avoir dû en 2022 puiser dans le stock fourrager pour les bêtes pour approvisionner son méthaniseur car il n'avait pas assez de coproduits. Cette complémentarité repose donc notamment sur la possibilité d'achats supplémentaires sur le territoire pour la méthanisation.

b) Méthanisation et gestion des prairies : entre synergie et concurrence

Dans les Vosges et dans le Bas-Rhin les agriculteurs qui ont des prairies permanentes les fertilisent en moyenne davantage par rapport à avant la méthanisation, en y épandant du digestat. Ceux qui augmentent très significativement la fertilisation des prairies sont ceux qui les fertilisaient peu avant (A, E, J, K, T, W) avec du lisier/fumier et se sont mis à les fertiliser avec du digestat. Les autres agriculteurs qui les fertilisaient avec de l'azote minéral avant (entre 15 et 65kgN/ha) ont aussi fréquemment augmenté leur fertilisation (B, C, H, M, S – données non disponible pour D, F, G, R, T, U). Cette augmentation de la fertilisation des prairies permanentes est liée à deux facteurs. Premièrement ce sont des surfaces facilement épandables en dernier recours avant l'hiver lorsqu'il faut vider la fosse de digestat (C, K).

« Tout ce qui est prairies humides je les fais à l'automne parce qu'à l'automne il faut vider la fosse pour pouvoir passer les mois d'hiver, on veut pas du tout épandre en hiver, donc octobre il faut que la cuve soit vide donc je fais toutes les prairies humides, parce qu'au printemps on n'est pas sûr de passer, et puis au printemps je fais toutes les parcelles qui portent, et ensilage, les fauches plus précoces. » (Agriculteur C)

Deuxièmement, la fertilisation au digestat augmente significativement le rendement des prairies. Certains agriculteurs trouvent intéressant d'augmenter leur fertilisation pour produire davantage d'herbe (C, J, K).

« C'était fumier tous les ans, et c'était azote, sur 30ha que j'ensilais. Sinon uniquement fumier. Et là avec la méthanisation ? c'est 20m3 de digestat minimum, tous les ans, donc c'est plus intensif sur l'herbe avec la métha que ce que j'ai fait avant. (...) le digestat sur l'herbe ça répond vraiment bien. » (Agriculteur C)

« Avant, on ne soignait pas nos prairies, moins, beaucoup moins, on mettait un petit coup d'engrais de temps en temps et puis c'est tout. C'était l'enfant pauvre de la ferme, là on a plus tendance à les soigner, car (...) le calcul il est beaucoup plus rapide qu'avec les animaux, si on a tant de tonnes, si on gagne 1 tonne de matière verte à l'ha, ça fait tant de kW, tant de pognon. Dis donc ça vaut quand même le coût de les soigner les prairies naturelles, et on peut les soigner car on a le médicament adapté, le digestat. » (Agriculteur J)

Cette évolution de la fertilisation a pour conséquence une augmentation des rendements des prairies permanentes évoquée par 12 agriculteurs (A, B, C, D, E, F, J, K, M, R, S, W) et en conséquence une évolution de leur stratégie d'exploitation des prairies et de consommation d'herbe. C et J vendent désormais davantage d'herbe. A, H, I et K ont retourné des prairies pour produire davantage de cultures de ventes, pour les animaux ou pour la méthanisation. A, B, C, D, I et K valorisent leur herbe en surplus dans le méthaniseur, car ils estiment que c'est intéressant économiquement (Tableau 25). En général ils y valorisent les 2^e et 3^e coupe, de moins bonne qualité pour les vaches ou les surplus d'herbe non consommées par les vaches. Certains agriculteurs (E, G, H, J) valorisent aussi des prairies temporaires en méthanisation.

Agriculteur	Citation
A	<i>« Nous on a 18ha d'herbe, y'en a qui sont pas labourables, si une année, la production est bonne il faut nourrir le méthaniseur, on a un objectif. »</i>
D	<i>« franchement, économiquement c'est pas déconnant de mettre de l'ensilage d'herbe dedans. »</i>
K	<i>« y'a une partie des prairies naturelles qui peut passer en métha si on a pas assez de cam et que y'a des fonds de prairies qui sont mauvais, mais rien de dédié »</i>

Tableau 25 : Verbatim d'agri-méthaniseurs sur l'usage d'herbe de prairies permanentes en méthanisation

c) Conséquences en termes d'évolution des rations animales de certains éleveurs-méthaniseurs

Ces synergies ou concurrence, qui laissent plus ou moins de marges de manœuvre à l'agriculteur dans le choix de l'alimentation animale se traduisent concrètement par des évolutions de la ration animale de certaines fermes. Certains agri-méthaniseurs (F, O, R, W) s'autonomisent sur l'alimentation animale. La meilleure production d'herbe des prairies permanentes conduit les agriculteurs O, W à augmenter le part d'herbe dans la ration de leurs vaches laitières en remplacement de concentré ou de maïs.

« J'ai augmenté la part d'herbe dans la ration et je me limite à 10, 12 hectares d'ensilage au lieu de 15, 16. Vu que j'ai 300 tonnes de pulpe, ça me suffit. » « Oui parce que j'intensifie la production d'herbe avec le digestat. Il y a des parcelles où je sortais 5-6 tonnes de matière sèche, avec le digestat j'en sors 6-7 parce que sur un sol sableux où tu mets un engrais organique, ton sol vit un peu mieux que juste avec de l'engrais minéral. Ça fait trente ans qu'on mettait de l'engrais minéral, maintenant que j'ai mis de l'engrais organique, c'est la forêt d'Amazonie. » (Agriculteur W)

La bonne production des prairies fertilisées par le digestat est aussi un atout pour les élevages qui passent en alimentation à l'herbe (F, R).

Des coopérations peuvent aussi se mettre en place entre les agri-méthaniseurs d'un projet collectif ce qui leur permet de gagner une certaine autonomie par rapport au territoire (UM collective de N/W). Ce projet collectif regroupe des agriculteurs et des éleveurs, dont certains ont fait co-évoluer leurs exploitations en même temps qu'ils ont mis en place la méthanisation. L'agriculteur N est ainsi passé au bio grâce à la méthanisation, et à présent il produit une culture fourragère (luzerne ou trèfle en sous-semis d'une CIVE) qu'il vend aux éleveurs du projet collectif de méthanisation.

« On plante un triticale en CIVE, associée à du trèfle violet, donc on sème les deux en même temps. Une fois que le triticale est récolté, le trèfle continue sa croissance et ce trèfle est destiné aux éleveurs du groupe, ce qui permet d'avoir de nouveau une certaine autonomie azotée pour le blé qui revient l'année d'après. » (Agriculteur N)

On a ici une forme de reconnexion entre cultures et élevage à travers un projet de méthanisation.

D'autres éleveurs-méthaniseurs perdent en autonomie sur l'alimentation animale au niveau de leur système de production (E, L, Q, V). Les éleveurs avicole (L) et porcins (Q, V) sont un peu moins autonomes au niveau de leur alimentation animale. Afin de nourrir le méthaniseur, L et Q y valorisent un peu de leur maïs en ensilage ce qui fait qu'ils doivent acheter en extérieur plus de maïs grain pour leur élevage. V a perdu de l'autonomie car il a converti une part de sa sole en bio, il ne produit donc plus de maïs conventionnel pour son élevage porcine, il doit l'acheter à présent en extérieur. Enfin, comme détaillé en 1.2.1, la ferme de l'agri-méthaniseur E a une trajectoire qui illustre la conséquence possible d'un manque d'autonomie sur les cultures alimentaires et énergétiques. La méthanisation a mis une pression forte sur la production de fourrages et de cultures, et l'a conduit à arrêter son atelier de vache allaitante et ses cultures de vente, et à intensifier l'atelier laitier (tourteaux, robot de traite), afin de pouvoir approvisionner méthaniseur et élevage.

Chez les autres éleveurs, la méthanisation n'a pas conduit à des modifications de la ration des animaux, sauf, à la marge des substitutions de cultures de seigle et de cultures fourragères comme présenté plus haut.

4.2 Attractivité économique de la méthanisation : entre soutien et concurrence au maintien des capitaux en élevage ?

Sept éleveurs (B, H, I, J, K, O, T) disent qu'à travail égal l'atelier de méthanisation est plus rentable qu'un atelier d'élevage :

« Si on parle en plus de résultats, au temps, passé, y'a pas photo par rapport aux autres ateliers » (Agriculteur K)

« on a fait le choix pour le moment de ne pas arrêter d'atelier, après si on se rend compte qu'on a de moins en moins de stock, qu'il faut faire plus de maïs, moi je sacrifierai les bœufs et pis voilà, économiquement, c'est beaucoup plus intéressant d'augmenter la part de méthanisation et de réduire la part élevage » (Agriculteur I)

Plusieurs éleveurs partagent ainsi leur dépit que le gaz soit mieux rémunéré que les productions alimentaires :

« Après, ce qui m'agace un peu, c'est qu'on nous pointe du doigt pour dire on est des pollueurs, parce qu'on produit du maïs pour de l'électricité au lieu de faire de la viande, mais le maïs pour le taurillon c'est aussi un non-sens écologique, (...) on va donner 15kg de maïs pour faire un kg de viande, on pourrait autant le donner directement. Et ça fait 20 ans qu'on fait du colza diester, c'est exactement pareil, on utilise du colza à des fins non-alimentaires. On est pointé du doigt en disant que ce qu'on fait c'est mal. Qu'on nous paye du lait et de la viande à leur juste prix, (...) si on était payé largement la tonne de lait on ne s'embêterait pas (...) à faire de la méthanisation. » (Agriculteur I)

Mais certains éleveurs (M, O, V) soulignent aussi que le revenu de la méthanisation n'est possible que grâce aux effluents d'élevage. Les deux ateliers sont interdépendants, voire, comme le souligne l'agriculteur M, la méthanisation justifie l'élevage :

« On fait pas les vaches pour faire du lait, on est arrivé un peu sur ce truc là, sur ce modèle-là quoi, on a modifié une étable, construite, rénovée, on a mis 50 places en plus pour l'engraissement, mais c'est pas pour la viande, c'est pour le fumier. » (Agriculteur M)

« Il n'y aurait pas eu d'élevage, il n'y aurait pas eu de méthanisation. Les deux sont liés. On est vraiment en France sur un modèle de méthanisation, et chez moi et chez les collègues, où ça ne se fera pas s'il n'y a pas de gisements animaux à valoriser puisque la composition du prix de rachat, ça rentre comme une grosse part » (Agriculteur V)

« Après c'est sûr qu'en termes de revenu on aimerait recevoir plus d'argent de la partie laitière que de la partie méthanisation, maintenant c'est un ensemble, c'est que certaines choses on ne pourrait pas se le permettre si on n'avait pas la méthanisation et inversement » (Agriculteur O)

Comme évoqué précédemment, la méthanisation peut aussi permettre de faire des investissements sur les fermes d'élevage qui ne seraient pas possibles sans le revenu de la méthanisation : la méthanisation permet de rémunérer plus facilement un nouvel associé/employé qui travaillera aussi en partie sur l'exploitation (B, O, U) ; elle permet d'acheter du matériel plus récent et performant (Q, U) :

« Uniquement en production porcine, tu pourrais pas te payer tout le matériel qu'on a. (...) la métha, elle paye aussi, donc c'est ça qui permet de réinvestir aussi. Là, on gagne bien notre vie. » (Agriculteur Q)

Les éleveurs-méthaniseurs ont diverses réactions par rapport à cette concurrence possible entre méthanisation et élevage. Certains éleveurs affirment une priorité à l'élevage. Ils soulignent leur attachement au métier d'éleveur et disent vouloir maintenir leur activité, même si économiquement,

ils gagneraient à privilégier la méthanisation et à mettre certaines cultures directement dans le méthaniseur (J, B, O). D'autres éleveurs ne souhaitent pas au départ mettre du maïs ou des cultures en méthanisation, et finalement ils le font ou envisagent de privilégier la méthanisation sur un atelier d'élevage ou une production de cultures de vente (I, K), en raison du marché. D'autres éleveurs font d'ailleurs le choix économique d'investir dans la méthanisation à la place de l'élevage : C et E ont ainsi supprimé un atelier d'engraissement de taurillon pour consacrer plus de ressources à la méthanisation. **On observe donc un rapport ambivalent entre méthanisation et élevage, qui laisse place au niveau du système de production à des dynamiques de concurrence et de soutien entre systèmes techniques, en termes de ressources matérielles, de travail et de capitaux.**

4.3 Une typologie : Synergie, concurrence ou indépendance entre structures d'élevage et méthanisation

En nous appuyant sur les éléments d'analyse des relations entre élevage et méthanisation que nous venons de présenter, nous avons identifié 3 tendances d'évolution des structures d'élevage (cheptel et systèmes d'élevage). Les agriculteurs céréaliers D, N et S ne sont pas concernés par la typologie qui suit. Cette coévolution entre méthanisation et structures d'élevage peut avoir lieu dans le cadre d'un maintien des modes productifs antérieurs, ou d'une transformation vers des systèmes plus ou moins intensifs en intrants de synthèse (Figure 31).

Type 1 : Synergie productive entre élevage et méthanisation (agri-méthaniseurs B, G, J, T, U).

Cette synergie entre élevage et méthanisation a lieu sur cinq élevages qui ont investi dans une UM individuelle. La synergie prend différentes formes. Un premier mécanisme est la stimulation du développement de la méthanisation avec la croissance de l'élevage. Les agriculteurs T et J ont ainsi augmenté leur UM, lorsqu'ils ont respectivement repris une ferme et créé un atelier d'engraissement. Les fumiers supplémentaires apportés par l'élevage sont valorisés en méthanisation. Un deuxième mécanisme est, chez B et G, un accompagnement de la tendance à l'agrandissement des ateliers d'élevage par la présence de la méthanisation : grâce au digestat la production fourragère est à la hausse et l'élevage est optimisé via la valorisation énergétique de ses effluents.

*« y'en a beaucoup qu'arrêtent le lait autour de nous, nous aujourd'hui on augmente notre cheptel de vaches, grâce à la métha, au [photovoltaïque] et au compostage, grâce à tout ça »
(Agriculteur G)*

Dans le troisième mécanisme, la synergie entre méthanisation et élevage prend la forme d'une diversification. Chez U, le nouvel atelier de vaches allaitantes Salers amène du fumier pour la méthanisation et rend plus résiliente l'exploitation auparavant spécialisée en production laitière.

Type 2 : Spécialisation ou diminution de l'élevage (agri-méthaniseurs A, C, E, F, H)

La méthanisation favorise une diminution ou spécialisation des élevages avec diminution des ateliers les moins rentables (vaches allaitantes) et chez certains un développement de ceux plus rentables (élevage laitier ou méthanisation). La méthanisation est donc ici une activité de diversification qui en assurant un revenu supplémentaire conduit l'agriculteur à diminuer une autre activité agricole moins rentable (A, H) ou à la transformer (conversion de l'élevage laitier en bio chez F). Ces transformations sont choisies, sauf dans le cas de E où l'agrandissement du méthaniseur a imposé cette spécialisation pour maintenir sa rentabilité. Ces évolutions ont lieu dans un contexte que les agriculteurs considèrent comme défavorable à l'élevage (prix insuffisants, sécheresses récurrentes et manque de fourrages). La

méthanisation vient donc conforter une tendance à la diminution de l'élevage puisqu'elle la facilite sur le plan économique.

Type 3 : Indépendance-maintien entre méthanisation et élevage dans l'évolution des structures (agri-méthaniseurs I, K, L, M, O, P, Q, R, V, W)

Les éleveurs de ce groupe ont établi des liens assez lâches entre la gestion de la méthanisation et de leurs ateliers d'élevage. En particulier les éleveurs L, Q et V sont des éleveurs de monogastriques chez lesquels les synergies sur le fourrage n'existent pas, et P est un éleveur ovin extensif de montagne dont l'élevage et la méthanisation sont particulièrement indépendants. Ces faibles liens entre méthanisation et élevage sont possibles car la méthanisation s'approvisionne auprès des autres éleveurs du collectif, mais surtout valorise les intrants du territoire (coproduits agroindustriels et agricoles). Ces éleveurs peuvent donc trouver des complémentarités entre méthanisation et élevage – par exemple sur la gestion des effluents ou des prairies – mais ils n'ont pas fait évoluer leur structure d'élevage en synergie avec la méthanisation. Si les structures d'élevage n'ont pas évolué, certains agriculteurs expriment cependant le fait que la méthanisation joue un rôle de maintien de l'activité d'élevage : son fonctionnement dépend en effet de l'approvisionnement en effluents d'élevage.

« Après faut être conscient que sans élevage, on pourrait non plus avoir la méthanisation chez nous. » (Agriculteur O)

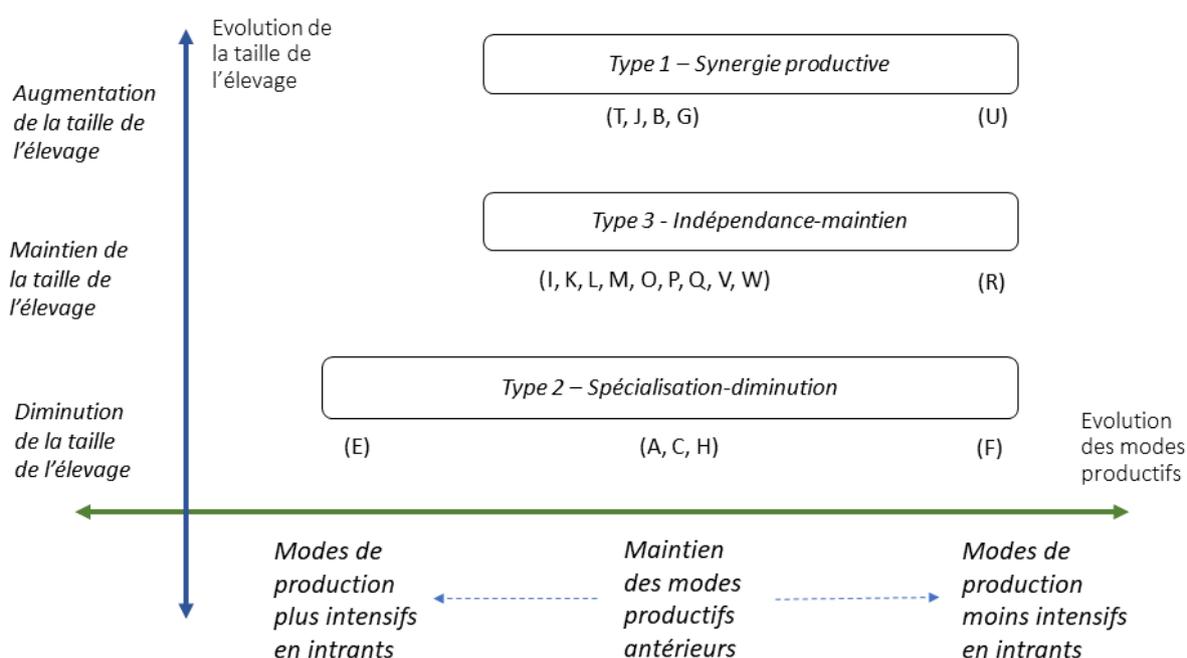


Figure 31 : Dynamiques d'évolution des productions d'élevage en lien avec la méthanisation.

On voit que les stratégies relatives à l'évolution des structures d'élevage lors du développement de la méthanisation sont diverses : d'une stimulation de leur agrandissement (chez des exploitations en polyculture-élevage en méthanisation individuelle), à un accompagnement à leur diminution, en passant par une relation d'indépendance/maintien entre évolution des structures d'élevage et méthanisation. Les concurrences et les synergies sur le travail, l'accès aux intrants ou les

investissements peuvent prendre des configurations diverses. Les transformations des ateliers peuvent aller vers une production plus intensive comme plus extensive en intrants (Figure 31). Toutefois, on remarque que dans les Vosges quasiment tous les élevages enquêtés ont évolué avec la méthanisation (Figure 31, Types 1 et 2), contrairement à ceux du Bas-Rhin (Figure 31, Type 3). Les dynamiques d'évolution des structures semblent davantage concerner les élevages en polyculture mixte que les élevages laitiers, extensifs herbagers ou monogastriques : les phénomènes de diminution du cheptel portent plutôt sur les ateliers allaitants des élevages mixte ou viande tandis que les synergies concernent davantage les grandes fermes en polyculture-élevage mixte.

4.4 Discussion du sous-chapitre 4

Tout d'abord, la mise en regard de nos résultats ne montre pas d'effets uniformes de la méthanisation sur la gestion des systèmes techniques d'élevage. Sur le plan technique, l'arrivée de la méthanisation présente des avantages comme des contraintes dans les élevages bovins : atouts économiques versus contraintes mécaniques de la valorisation du digestat, autonomisation versus perte d'autonomie dans la gestion fourragère, avantage productif dans la gestion intensifiée des prairies, nouveau revenu agricole ou travail accru etc. Certains mécanismes ont été identifiés dans l'étude française MethaLAE (gestion facilitée des effluents d'élevage ; augmentation ou perte d'autonomie fourragère ; gestion intensifiée en azote des prairies) mais nos résultats montrent une diversité de dynamique internes aux exploitations qui est encore peu étudiée.

Peu de littérature empirique s'intéresse aux liens entre structures d'élevage et méthanisation, quelques travaux¹⁰⁰ identifient tout de même des logiques d'évolution des fermes d'élevage sous l'effet de la méthanisation. La logique d'augmentation de l'élevage en lien avec la méthanisation est une logique qui a été documentée avant nous en Italie (Carrosio, 2013b), pour augmenter la production de fumier dans certains cas, mais aussi car la méthanisation, en Italie, facilite l'accès à des technologies de dénitrification et permet donc d'augmenter le cheptel en respectant la Directive Nitrates. Nous retrouvons quelques cas de la logique documentée par Carrosio, de fermes d'élevage qui préfèrent s'approvisionner en cultures énergétiques dans leurs fermes quitte à perdre en autonomie sur l'achat de l'alimentation animale. Mais nous documentons en polyculture-élevage plutôt le phénomène inverse où, dès lors que l'agriculteur veut maintenir son élevage (pour des raisons économiques, de préférence personnelle), il gardera ses cultures pour nourrir son troupeau, et achètera en extérieur des cultures pour la méthanisation, car l'atelier de méthanisation peut davantage supporter ce coût. Ce calcul économique apparaît cependant très dépendant des marchés, et pourraient donc évoluer avec eux. Nous montrons que les synergies entre biogaz et élevage ne se fondent pas seulement sur des logiques économiques mais aussi sur des logiques techniques, comme par exemple concernant le rôle de la méthanisation dans la résilience du système fourrager. Dans ce processus, la complémentarité technique et économique entre élevage et méthanisation peut conduire à une intensification de l'usage des sols et à de nouveaux investissements en élevage, comme documenté en Allemagne (Appel et al., 2016). Par exemple l'intensification de la conduite des prairies que nous avons observées dans les Vosges est aussi identifiée dans des travaux de modélisation sur le développement du biogaz en région d'élevage à l'herbe en Allemagne (Appel et al., 2016). Certaines caractéristiques de cette intensification sont négatives (par exemple baisse de la biodiversité des

¹⁰⁰ Les comparaisons internationales permettent d'identifier des trajectoires semblables ou différentes mais les logiques sous-jacentes (notamment liées au cadre de politique agricole et du biogaz) peuvent être différentes.

prairies ou retournement de prairies), d'autres sont positives (couverture des sols par des prairies temporaires).

Le second phénomène que nous avons identifié au niveau des fermes est la concurrence au sein du système de production entre ateliers de méthanisation et d'élevage (sur la biomasse, la main d'œuvre, les ressources économiques). Ce phénomène de spécialisation a été documenté en Italie (Carrosio, 2014), en France (Grouiez et al., 2020), et en Allemagne (Appel et al., 2016) et apparaît lié principalement à des logiques économiques certains éleveurs percevant les ateliers d'élevage comme trop peu rémunérateurs. En termes de durabilité, si l'arrêt d'un atelier peut être cohérent avec les scénarios de transition de l'agriculture qui appellent à une réduction de l'élevage (comme Afterres (Couturier et al., 2016)), la diminution de l'élevage n'est intrinsèquement ni durable ni non durable : il faut la resituer dans la trajectoire productive. Dans nos résultats, la méthanisation apparaît plutôt venir se substituer à l'atelier antérieur comme nouvel atelier plus rentable, sans « verdir » systématiquement l'élevage résiduel.

Un dernier phénomène que nous avons identifié et qui est peu décrit dans la littérature est celui du rôle possible de la méthanisation dans le maintien des structures d'élevage : nos analyses qualitatives ne permettent pas de saisir les dynamiques économiques sous-jacentes entre ces ateliers, il serait intéressant de mener de futurs travaux sur ces relations de soutien ou d'indépendance. La méthanisation d'effluents apparaît contribuer à justifier cette dynamique de maintien. Ceci reste vrai tant que les éleveurs trouvent plus intéressant de méthaniser des effluents d'élevage que des cultures (coûts et revenu, faible travail, gestion des effluents) – en France cela est notamment rentable grâce à la prime aux effluents d'élevage dans le cadre réglementaire. Dans ce cas, les effets agroenvironnementaux de la méthanisation s'expriment au niveau d'autres systèmes techniques comme le système fourrager ou dans la gestion de la fertilisation.

Dans notre travail, la différence marquée sur l'évolution des structures d'élevage entre Vosges et Bas-Rhin pourrait être liée aux OTEX : les systèmes de polyculture élevage bovin apparaissent plus favorables à des synergies ou concurrences productives avec la méthanisation que des systèmes avicoles ou porcins. Cela est probablement lié à la proximité plus forte entre activité de méthanisation et élevage bovin.

Ces évolutions des structures d'élevage ont des conséquences sur la trajectoire de durabilité des fermes d'élevage qui sont encore peu documentées. Nous avons montré qu'une diversité d'effets s'exprime au sein des systèmes techniques, mais qu'en termes de systèmes productifs, la méthanisation semble plutôt maintenir les pratiques antérieures. Ainsi nous n'identifions que 3 (sur 20) trajectoires de transformation forte des ateliers d'élevage : deux sont plutôt vertueuses (autonomisation de l'élevage, conversion en bio), la dernière correspond à une intensification en intrants de la production animale (robotisation et vaches mises en bâtiment). L'amélioration de la gestion de l'azote en élevage apparaît plus dépendante de référence ou de ressources personnelles que de la logique productive de la ferme (cf. *supra*). Si le digestat est en moyenne davantage valorisé sur les cultures que les effluents antérieurs, les risques accrus de volatilisation et de lixiviation ainsi que les contraintes d'épandage du digestat ne conduisent pas toujours à l'amélioration de la durabilité du cycle de l'azote. Au niveau des systèmes de polyculture-élevage, le besoin supplémentaire de

biomasse pour nourrir méthanisation et élevage conduit en moyenne à une intensification de l'usage des sols, avec des effets négatifs (retournement des prairies, fertilisation de CIVE, sur-fertilisation probable) et positifs (introduction de prairies temporaires, couverture des sols l'hiver) pour l'environnement. Dresser un bilan global des évolutions au niveau des élevages n'est donc pas aisé car il demande de hiérarchiser les effets.

La comparaison des dynamiques d'évolutions des élevages sous l'effet de la méthanisation en France et en Allemagne montre le rôle clef des subventions. Ainsi en Allemagne la prime aux cultures énergétiques a incité à la production de maïs dès 2004 (Markard et al., 2016), augmentant la concurrence à l'élevage au sein des systèmes de production (Appel et al., 2016). En France, nous montrons que la prime à l'incorporation de 60% d'effluents d'élevages en cogénération, incite les éleveurs à méthaniser leurs effluents à la place de cultures plus méthanogènes. Cependant, en injection, cette prime aux intrants agricoles n'était pas spécifique aux effluents jusque 2020, ce qui laisse penser qu'en région d'élevage, la méthanisation d'effluents peut être intéressante même en injection (moyenne de 60% sur les 5 UM en injection). Ce serait à approfondir, au moyen de données quantitatives.

5 Grandes logiques d'évolution des systèmes de production des agriculteurs méthaniseurs

En nous appuyant sur les résultats des 4 sous-chapitres précédents, nous distinguons cinq grandes logiques dans l'évolution des systèmes de production. Elles sont représentées de manière synthétique dans la *Figure 32*.

Logique 1 : Synergie entre méthanisation et transformation systémique durable (D, F, N + U)

- Chez les trois agriculteurs D, F, N, l'arrivée de la méthanisation a globalement initié ou renforcé une trajectoire de transition vers un système plus durable. Les impacts négatifs de la méthanisation sur la ferme sont limités.
- Les effets vertueux sont liés à la conversion en bio (D, F, N) : les consommations directes d'N minéral et de pesticides disparaissent. La synergie méthanisation-agriculture a conduit ces agriculteurs à transformer de manière systémique leur manière de produire vers des modes de productions plus durables : allongement et diversification de la rotation avec réintroduction de légumineuses. La fertilisation au digestat est en synergie technique et économique avec le bio. Le levier de la transition de ces systèmes est donc la subvention au bio. Les effets négatifs tout de même identifiés sont variables, liés à des pollutions indirectes quand une exploitation bio en méthanisation achète en extérieur du maïs (D) ou car l'approvisionnement en matière extérieure du méthaniseur ne favorise pas le bouclage du cycle de l'azote (D, F).
- Les méthaniseurs des agriculteurs bios reposent sur leur capacité à se fournir en intrants très méthanogènes : or produire une culture bio pour le méthaniseur n'apparaît pas très intéressant économiquement (seul N produit une CIVE) et la double culture en bio demeure complexe à réaliser avec un bon résultat économique sur les deux cultures (D).

L'approvisionnement en cultures énergétiques conventionnelles comme D le fait, pose des questions sur la dépendance des méthanisation bio aux systèmes conventionnels.

La trajectoire de U s'apparente à cette logique (extensification et diversification de l'élevage), mais les effets globaux sont moins positifs avec le retournement de prairies permanentes, et l'intensification de la conduite de ces prairies. De plus certains de ses choix techniques (comme l'arrêt de produits phytosanitaires) ne sont pas stabilisés par une conversion en bio.

Logique 2 : Méthanisation comme diversification économique dans une exploitation de polyculture-élevage qui se spécialise (A, C, E, H)

- Ces 4 exploitations vosgiennes de polyculture-élevage ont intégré le méthaniseur sur l'exploitation en internalisant le travail supplémentaire. Les nouveaux besoins en travail ou en biomasse (donc en terres) conduisent ces agriculteurs à spécialiser leur élevage ou à le diminuer progressivement. Leur ratio (ha de terres labourables¹⁰¹)/(kW de puissance installée) relativement faible par exploitation et la recherche d'autonomie dans l'approvisionnement du méthaniseur les conduisent à une adaptation du système de culture pour produire des cultures énergétiques et des CIVE. Le travail supplémentaire sur les cultures est également internalisé.
- Les transformations sur la ferme ne donnent pas aux agriculteurs les moyens d'optimiser l'usage et le recyclage du digestat¹⁰² (coût du matériel, poids des chantiers sur les sols, fertilisation des CIVE à l'azote minéral).
- La méthanisation n'impacte pas la conduite des ateliers d'élevage principaux sauf chez E, où elle a accompagné une intensification de l'élevage laitier (intrants, robot laitier). Le cas E est en quelque sorte un cas extrême de la logique 2, où la pression du méthaniseur sur la ferme a été particulièrement forte et donc a conduit à une spécialisation accrue et une intensification supplémentaire de l'élevage et des cultures pour approvisionner troupeau et méthaniseur. On peut supposer que la trajectoire d'intensification forte de E est liée au fait que E est en individuel et donc que le méthaniseur a exercé davantage de pression sur le système productif agricole que chez A, C et H qui sont dans des projets collectifs.

Logique 3 : Synergie productive entre élevage et méthanisation (B, G, J, T)

- Ces 4 unités de méthanisation individuelles sont adossées à 4 grandes exploitations de polyculture élevage. Leur ratio (ha de terres labourables) / (kW de puissance installée)¹⁰³ est plus élevé que dans la logique 2.
- La méthanisation vient en synergie avec les ateliers d'élevage, en valorisant leurs effluents, en permettant une production fourragère accrue avec le digestat et en procurant un nouveau revenu sur la ferme. Elevage et méthanisation co-évoluent donc via une intensification de l'usage de sols (introduction de couverts), l'augmentation de l'un pouvant justifier l'augmentation de l'autre et réciproquement.
- Ces exploitations ont introduit des productions de CIVE et/ou de cultures énergétiques (selon le potentiel de leur sol) pour approvisionner le méthaniseur, en transformant plus ou moins leur système de culture. Dans ces exploitations la charge supplémentaire de travail est

¹⁰¹ Terres labourables = surfaces en cultures temporaires (équivalent à une SAU hors prairies permanentes, hors cultures pérennes et hors jachères)

¹⁰² Hors l'agriculteur A que nous ne considérons pas car son système global de fertilisation n'est pas stabilisé

¹⁰³ Ce ratio caractérise la relation entre la taille de la ferme et la taille du méthaniseur, rapportée au nombre d'associé dans la méthanisation. Il serait cependant plus précis de le calculer en tenant compte de la main d'œuvre sur la ferme et des terres labourables totales de tous les associés d'un méthaniseur. Ces données n'ont pas pu être recueillies lors des entretiens.

diversement prise en charge (embauche, prestation, installation, internalisation) donc ne semble pas influencer la logique d'évolution du système de production.

- Ces agriculteurs arrivent à faire des économies d'azote entre -33 et 70%, selon leurs contraintes propres. L'optimisation de l'épandage est facilitée pour les fermes G, J, T qui sont peu contraintes financièrement dans leur choix de chantier d'épandage mais les économies d'N sont limitées chez B, G, J par la fertilisation des CIVE à l'azote minéral.

Logique 4 : Une méthanisation qui conduit à une adaptation de l'assolement avec des effets agroenvironnementaux mitigés (I, K, L/M, S, V, W)

- L'arrivée de la méthanisation ne conduit pas à des évolutions directes des élevages (bovin, avicole ou porcin). Les fermes avec élevage porcins ou avicoles, ou sans élevage (L, S, V) apparaissent fonctionner assez indépendamment du méthaniseur : le changement principal dans ces fermes est le report de l'achat de maïs grain sur le marché extérieur, en raison des besoins du méthaniseur, ou de l'évolution du système de culture. Chez les éleveurs bovins de ce groupe (I, K, M), une concurrence accrue entre élevage et méthanisation sur l'usage des cultures pourrait les amener à évoluer vers la logique 2.
- La pression de l'approvisionnement du méthaniseur sur les fermes conduit ces agriculteurs à faire évoluer leurs systèmes de culture (maïs grain récolté en maïs ensilage, culture énergétique ou double-culture, retournement de prairies). Cette pression semble plus limitée chez les agriculteurs qui ont un approvisionnement assez diversifié (coproduits agricoles du territoire, coproduits/biodéchets agroindustriels, CIVE ou cultures énergétiques) (L/M, S, V). On note que, dans ce groupe, cinq exploitations sur 7 valorisent peu l'azote du digestat en substitution à de l'N minéral en lien avec des contraintes variées (coût, portance, manque d'expérience). Les 2 autres exploitations ont davantage de ressources pour gérer un chantier d'épandage qui valorise mieux l'azote du digestat.

Logique 5 : Une évolution des systèmes techniques assez indépendante de la méthanisation (O, P, Q, R)

- Ces exploitations sont caractérisées par une apparente indépendance de l'évolution des structures agricoles par rapport au méthaniseur. L'approvisionnement du méthaniseur se fait principalement via des effluents d'élevage (de leur ferme ou de voisin), des coproduits industriels ou agricoles du territoire, ou des cultures chez d'autres associés du méthaniseur. Les agriculteurs font le choix de peu modifier leurs activités agricoles en relation avec le méthaniseur (introduction de CIVE modérée).
- Les effets agroenvironnementaux de la méthanisation sont très faibles sur les fermes P et R car la méthanisation n'a quasiment pas introduit de changements dans les systèmes techniques ou dans la gestion de la ferme. Les agriculteurs P et R n'épandent pas ou peu de digestat chez eux, il est épandu principalement sur le territoire. L'agriculteur R va toutefois commencer à épandre davantage chez lui. Les agriculteurs O et Q ont davantage fait évoluer leur système de fertilisation, notamment pour épandre le digestat chez les agriculteurs voisins avec qui ils travaillent.

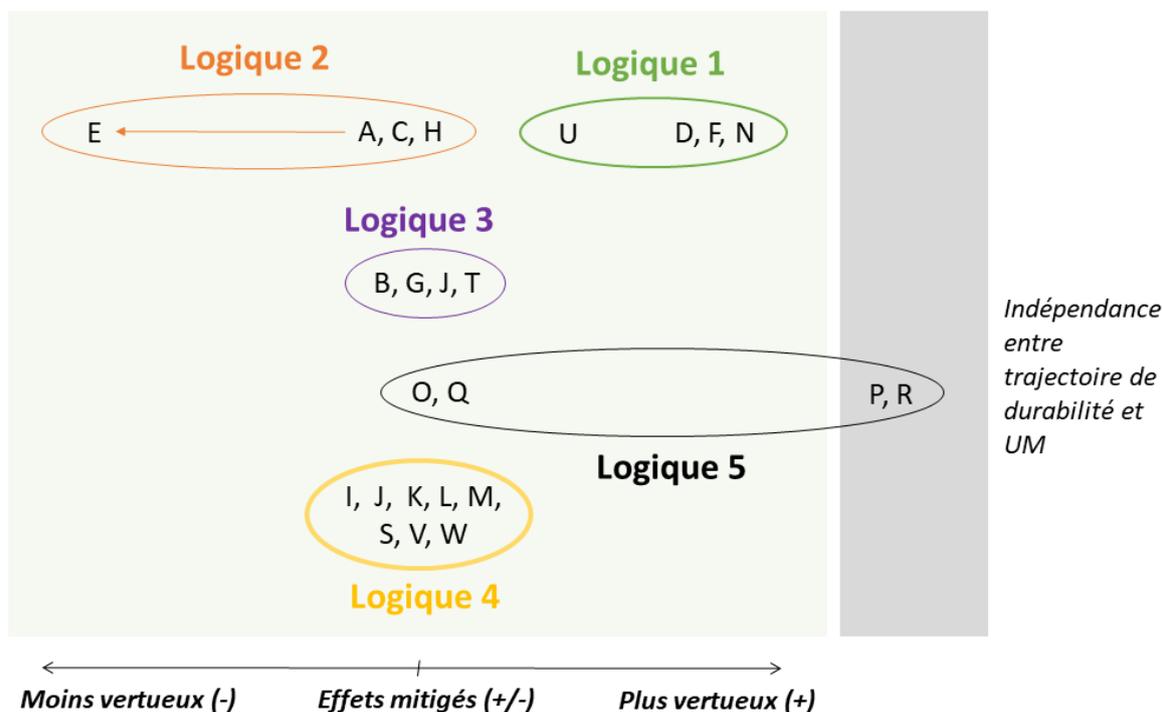


Figure 32 : Trajectoires de durabilité des systèmes de production.

Il est difficile de conclure nettement sur le bilan agroenvironnemental des logiques 3, 4 et 5, où des effets positifs comme négatifs s'expriment, sans transformer profondément la logique de production des fermes.

On identifie donc sous l'effet de la méthanisation de grandes trajectoires d'évolution des systèmes de production liées à des logiques économiques dans la gestion de l'élevage (soutien économique ou spécialisation) (logique 1, 2, 3) ; à des logiques d'approvisionnement du méthaniseur en lien avec le territoire ou le collectif de méthanisation (logiques 1, 2, 4, 5) ; et à des synergies entre méthanisation et bio sur la fertilisation et l'économie (logique 1). Certains agriculteurs parviennent aussi à faire des choix de gestion du méthaniseur assez indépendant de leur fermes (hors valorisation de leurs effluents dans le méthaniseur) (logique 5), notamment grâce à leur lien au territoire.

On observe peu de convergence au sein des groupes dans les modes d'épandage, dont le choix apparaît découler plus de références personnelles et des ressources de chaque agriculteur que d'une logique d'évolution de l'exploitation. Les effets agroenvironnementaux de l'évolution des assolements sont liés à la pression exercée par l'approvisionnement du méthaniseur et par la disponibilité en intrants méthanogènes sur le territoire. Le besoin pour le méthaniseur d'intrants produits sur la ferme conduit à l'adaptation du système de cultures, et plus la pression à approvisionner le méthaniseur est forte, plus seront consommées des cultures produites avec des intrants synthétiques (maïs ensilage désherbé chimiquement, CIVE fertilisée à l'azote minéral).

DISCUSSION GENERALE DU CHAPITRE 4

Les effets agroenvironnementaux du biogaz au niveau des systèmes de production dépendent d'effets systémiques divers, selon les contextes territoriaux et les stratégies de gestion des agriculteurs. Divers processus, indirects et mal connus, interviennent dans le bilan agroenvironnemental de la méthanisation, comme a commencé à le pointer Cavicchi (2016) concernant les émissions GES et la pollution de l'air. La méthanisation s'insère dans une diversité de systèmes productifs et infléchit diversement la trajectoire de durabilité de ces systèmes. Une approche empirique des effets agroenvironnementaux du biogaz montre donc que la méthanisation n'est pas vertueuse en soi, ses avantages et risques s'expriment en fonction de contextes sociotechniques. La méthanisation, par son rôle au sein du système de production, peut contribuer à renforcer certaines nuisances environnementales au niveau des fermes tout comme elle peut permettre de les réduire en facilitant la conversion en bio. Nos résultats sont cohérents avec l'analyse de Carrosio, (2013a, 2014) en Italie qui montrent que le biogaz peut avoir des rétroactions au niveau des systèmes de production qui confortent leur fonctions initiales ou au contraire provoquent une réorganisation du système, vers plus ou moins de durabilité. Mais tandis que la littérature (voir Carrosio, 2013b; Markard et al., 2016), a davantage documenté les variables politiques ou économiques extérieures aux systèmes agricoles qui influencent les modèles agricoles de méthanisation, nos travaux apportent des éléments sur les logiques de gestion interne aux fermes, qui conduisent au maintien de pratiques antérieures ou à leur transformations. En cela nos travaux empiriques pourront permettre d'orienter les travaux expérimentaux au niveau des parcelles, en élargissant les jeux d'hypothèses à tester au niveau des pratiques pour établir des bilans agroenvironnementaux.

Comme le confirme la forte fréquence, dans notre échantillon, des décisions d'agrandissement de l'unité de méthanisation, l'attractivité de la méthanisation apparaît fortement liée à la promesse « Revenu » du biogaz. Le moteur principal de la transformation des structures agricoles (systèmes de culture, structures d'élevage) apparaît être la gestion de l'approvisionnement du méthaniseur, en lien avec un objectif d'optimisation de son fonctionnement. Cette gestion dépend de l'articulation entre le potentiel de biomasse disponible (sur la ferme ou le territoire) et les objectifs de production de l'agriculteur (charge de travail, maintien de l'élevage, revenu). D'après nos résultats, un besoin accru de biomasse produite sur la ferme semble pousser à la consommation de biomasse produite dans des systèmes non agroécologiques. Or, comme le suggèrent les travaux en économie de Grouiez et al. (2020), les résultats économiques et le maintien de certains modèles de méthanisation dépendraient notamment à l'avenir de la concurrence sur l'accès à des intrants très méthanogènes. En termes d'évolution des systèmes de production, on peut supposer que les transformations sur les fermes de type spécialisation (logique 2) seraient favorisées, en élevage bovin, par un contexte de tensions sur la biomasse. Un enjeu d'une politique durable de méthanisation qui émerge alors est celui du dimensionnement du méthaniseur en lien avec la résilience (de la ferme et du territoire), face à des fluctuations de disponibilité de la biomasse. Nos enquêtes ont montré que l'attractivité économique poussait au surdimensionnement initial ou à l'agrandissement. L'agrandissement a été limité par le cadre réglementaire de 2020 mais l'enjeu d'un dimensionnement en lien avec les ressources locales demeure clef. Un approfondissement des logiques économiques sous-jacentes aux transformations des fermes, permettraient de mieux comprendre les effets de l'atelier de méthanisation sur les fermes.

Un autre point à garder en tête dans une dynamique de transition de l'agriculture est la réduction de la consommation d'intrants (Etats généraux de l'alimentation, 2017; Guichard et al., 2017). Or on a observé certaines dynamiques dans l'évolution des élevages (synergie productive) ou d'usage des sols (retournement des prairies) qui peuvent illustrer « l'effet rebond » ou paradoxe de Jevons (Alcott, 2005). Ce phénomène correspond à l'augmentation de la consommation d'une ressource en lien avec l'augmentation de l'efficacité de son utilisation. Il a déjà été identifié par Gabriel et al. (2019) sur un projet de méthanisation collective. Dans notre cas ce paradoxe fait sens en lien avec la gestion des terres : la plus grande efficacité fertilisante du digestat sur les prairies est associée à un retournement des prairies pour produire davantage de cultures (et pas nécessairement à une baisse de consommation d'azote minéral). De même la meilleure valeur économique des effluents d'élevage, est associée à une augmentation de la taille des élevages. En termes de politiques publiques, l'évitement de ces phénomènes rebond, encore peu pris en compte dans les politiques de l'environnement, nécessite la mise en place de mesures spécifiques (Alcott, 2005).

Enfin, une piste intéressante pour faire de la méthanisation un levier d'un système de production durable apparaît être sa synergie avec le bio, comme identifié par Blumenstein et al. (2015) et Siegmeier et al. (2015). Mais de même que pour les systèmes bio sans méthanisation, une limite importante demeure dans le bouclage des cycles de l'azote (Dumont et al., 2020; Nowak et al., 2015). A cela s'ajoutent les effets encore peu connus sur du digestat sur les dynamiques biologiques du sol. Dans ce cas également, un travail de politiques publiques sur le déploiement de modèles de méthanisation bio durable serait à conduire.

Nous avons documenté une diversité d'effets agroenvironnementaux du biogaz à travers la comparaison Vosges-Bas-Rhin. Certains enjeux diffèrent entre ces départements, a priori en lien avec les OTEX et les ressources en intrants des territoires. Des travaux menés dans la région Ile-De-France (Carton & Levavasseur, 2022) montrent que certains freins ou leviers aux bonnes pratiques diffèrent de ceux identifiés en grand Est : par exemple en Ile-De-France, les parcelles en *open field*, de taille en moyenne bien plus grande que celle des fermes enquêtées apparaît favoriser largement les chantiers d'épandage sans-tonne. Cependant ces systèmes de méthanisation agricole sont principalement des modèles d'UM individuelle ou en petits collectifs agricoles. Il existe d'autres modèles de méthanisation agricole (grands collectifs agricoles de plus de 20 agriculteurs) ainsi que des modèles industriels ou territoriaux qui établissent des liens différents aux agriculteurs et aux activités agricoles. Des analyses systémiques similaires menées sur d'autres modèles, et dans d'autres régions permettraient donc de comparer les pratiques et de mieux identifier les leviers ou obstacles à une méthanisation qui s'inscrive dans des systèmes agroécologiques. De plus, comme montré dans certains de nos résultats, le lien du méthaniseur au territoire apparaît souvent déterminant dans les transformations des fermes. Ce lien est exploré dans le chapitre suivant.

Chapitre 5 : Dynamiques sociotechniques territoriales de la mise en œuvre de la politique du biogaz en Grand Est

INTRODUCTION ET CONTEXTE DE RECHERCHE

La revue de littérature présentée en introduction montre que la méthanisation peut avoir selon les politiques publiques des effets structurels plus ou moins forts (transformations des paysages, concurrences entre fermes, soutien économique) en agriculture. A ces effets structurels peuvent être associés de nouveaux enjeux agroenvironnementaux que nous avons étudiés au niveau des systèmes de production en chapitre 4. Ces effets structurels au niveau du système agraire sont encore peu documentés en France.

Dans le cadre de l'Analyse stratégique de la gestion environnementale (ASGE), nous poursuivons notre réponse à la sous-question de recherche 3 « *Quelle est la réalité de la promesse agroécologique dans la mise en œuvre de la politique de méthanisation sur un territoire ? Avec quelles transformations des systèmes de production agricoles et sous l'effet de quelles dynamiques territoriales ?* ». L'objectif de ce chapitre est double :

- Analyser les enjeux de durabilité du développement de la méthanisation qui s'expriment au niveau du territoire, et qui n'ont pas pu être saisis dans le chapitre 4 au niveau des exploitations des agri-méthaniseurs ;
- Identifier les dynamiques territoriales sociotechniques et socio-politiques qui mènent aux effets agroenvironnementaux observés en région Grand Est.

Ce deuxième objectif vise à éclairer comment, dans la mise en œuvre de la politique du biogaz, les dynamiques territoriales favorisent tel ou tel effet agroenvironnemental identifié au niveau des fermes (chapitre 4) ou du territoire ; il vise aussi à caractériser la dialectique entre les acteurs de la gestion effective et les acteurs de la gestion intentionnelle qui organise la prise en charge de ces enjeux de durabilité.

Cette double analyse mise en regard des analyses du chapitre 4 doit nous aider à éclairer les déterminants techniques, sociaux et politiques des effets agroenvironnementaux de la méthanisation observés en Grand Est.

CADRES THEORIQUES

Pour analyser la prise en charge des enjeux de durabilité par les acteurs qui développent le biogaz en Grand Est nous mobilisons le cadre intégratif de notre thèse, celui de l'Analyse stratégique de la gestion environnementale (ASGE). Ce cadre propose une lecture de la gestion de l'agroenvironnement (par rapport à l'objectif agroécologique pris en référence) en distinguant deux catégories d'acteurs intervenant sur l'état de l'agroenvironnement : d'une part tous ceux qui transforment l'objet écologique considéré – ici le système agricole – au regard du référentiel normatif adopté ; d'autre part

ceux qui spécifiquement entreprennent des actions en faveur de l'objectif environnemental. L'ASGE distingue ces acteurs de la gestion à travers deux concepts : le concept de « *gestion effective* » (ou « *gestion de fait* ») défini comme « *l'ensemble des actions anthropiques qui, consciemment ou non, intentionnellement ou non, ont une influence déterminante sur l'état du milieu naturel* » (Mermet et al., 2005) et celui de « *gestion intentionnelle* » défini comme l'activité des acteurs qui ont un « *rôle d'agent de changement en faveur de l'objectif environnemental* » et cela « *vis-à-vis des acteurs responsables des processus dommageables pour l'environnement ou des acteurs régulateurs (élus territoriaux, préfet, etc.)* » (Mermet et al., 2005). La notion de gestion effective est donc comprise au sens large à partir des conséquences, et non des intentions des acteurs. La notion de gestion intentionnelle est également définie à partir du rôle fonctionnel des acteurs. C'est la relation dialectique entre ces deux concepts qui permet de caractériser la prise en charge des enjeux agro-environnementaux sur un territoire. L'ASGE propose ainsi un troisième concept qui caractérise les effets de cette dialectique : c'est celui de gestion émergente qui qualifie la manière dont la gestion effective évolue sous l'effet de l'intervention des acteurs de l'environnement. Nous mobiliserons ces concepts pour identifier en Grand Est, et plus particulièrement dans les Vosges et le Bas-Rhin, comment les acteurs qui contribuent à développer le biogaz, participent de l'évolution de l'agroécosystème, en tenant compte ou non des enjeux agroenvironnementaux identifiés en chapitre 4. Nous nous intéresserons particulièrement aux acteurs de la gestion intentionnelle qui portent les enjeux de l'environnement, et cherchent à les intégrer dans la gestion effective.

Pour analyser la gestion effective, Mermet (1998) distingue la gestion *directe* et la gestion *indirecte*. La gestion *directe* est le fait d'agents qui transforment directement, par leurs actions, l'environnement. Dans notre cas, les acteurs de la gestion *directe* sont les opérateurs de projet de méthanisation (agri-méthaniseurs ou autres porteurs de projet) et les acteurs qui interviennent dans la gestion du digestat (agri-méthaniseurs, ou agriculteur reprenneur de digestat, ou entreprise de travaux agricoles). Les acteurs de la gestion *indirecte* sont ceux « *qui n'ont pas d'action directe sur le milieu, mais dont les choix, les actes, les discours, influencent les acteurs directs.* » (Mermet 1998).

Les cadres de l'Agronomie système¹⁰⁴ et de la *Farming system research* (FSR) sont mobilisés pour opérationnaliser ce cadre de l'ASGE et analyser les gestions effectives *directe* et *indirecte*. La FSR et l'Agronomie système invitent à saisir les dynamiques des systèmes de production en les replaçant au sein d'un territoire caractérisé par une diversité de systèmes productifs agricoles (qui ne font pas tous de la méthanisation), par des contextes pédoclimatiques et agroindustriels variés (Vosges vs. Bas-Rhin) et par des réseaux d'acteurs des secteurs de l'énergie et de l'agriculture qui interviennent dans le développement de la méthanisation. Le territoire agricole tout à la fois influence les trajectoires des systèmes de production, et se transforme sous l'effet des interactions entre systèmes de production. Les trois échelles des systèmes techniques, des systèmes de production et du territoire interagissent entre elles, et la trajectoire du système agricole « *dépend davantage de ces interactions que de la façon dont [les parties] agissent indépendamment* » (Darnhofer, 2015). Les effets de la méthanisation sur les pratiques agricoles s'appréhendent donc à travers l'interaction de ces échelles.

Ce cadre a les implications suivantes pour notre recherche. Pour l'analyse de la gestion effective *directe* - L'addition des transformations identifiées au niveau des systèmes de production (chapitre 4)

¹⁰⁴ L'articulation de ces deux cadres a déjà été présentée dans le chapitre 1 et 4. Nous en rappelons les caractéristiques ici car ces cadres sont structurants de notre analyse des dynamiques territoriales.

peut conduire à des effets qu'on ne peut saisir qu'au niveau d'un territoire. Nous compléterons donc l'analyse des enjeux agroenvironnementaux en étudiant comment les nouvelles dynamiques agricoles territoriales, introduites par la méthanisation, modifient la dynamique des agroécosystèmes. Nous identifierons les acteurs autres que les agri-méthaniseurs qui participent aussi de la gestion directe : par exemple d'autres agriculteurs qui travaillent en interaction avec les agri-méthaniseurs dans la gestion des intrants à méthaniser ou du digestat, ou encore d'autres entités/acteurs du territoire qui interviennent dans la gestion des flux de biomasse « méthanisables » du territoire.

Pour l'analyse de la gestion effective *indirecte* – Le chapitre 4 a montré qu'au niveau des systèmes de production agricole, en Grand Est, il existe une diversité de trajectoires de durabilité, liées à des transformations plus ou moins profondes des systèmes agricoles. La méthanisation transforme différemment les exploitations agricoles selon des logiques internes à l'exploitation agricole (compétences, ressources, organisation du travail, projet et préférence de l'agriculteur, etc.), mais aussi selon son lien au territoire (ressources en intrants, relations aux agriculteurs voisins, etc.). En effet ces acteurs agissent sur l'agroenvironnement à partir de leur rationalité limitée (March & Simon, 1958), au sein d'un système territorial caractérisé par ses réseaux d'acteurs, sa politique, son économie (Darnhofer et al., 2012). L'analyse de la gestion *indirecte* visera donc à identifier les acteurs du Grand Est qui participent de la mise en œuvre de la politique du biogaz, et influencent indirectement les choix posés par les acteurs de la gestion directe. Nous analyserons particulièrement les acteurs qui contribuent à la gestion des biomasses « méthanisables », puisque ce point a été identifié comme un point de tension pour des agri-méthaniseurs dans le chapitre 4.

MATERIEL ET METHODE

Le dispositif emboîté décrit en chapitre 1 - Démarche de recherche (cf. Figure 6 §3.3.3) nous permet de saisir les dynamiques territoriales dans lesquelles les agri-méthaniseurs s'inscrivent en Grand Est. Il replace l'évolution des pratiques des 23 agri-méthaniseurs des Vosges et du Bas-Rhin dans la dynamique régionale qui accompagne le développement de la méthanisation.

Les territoires agricoles étudiés sont situés en Grand Est¹⁰⁵, où la méthanisation s'est développée de manière dynamique depuis 2014. En juin 2021, au moment de nos entretiens sur le terrain, près de 150 unités de méthanisation sont en projet, pour des mises en service au plus tard en 2023 (Zoom sur la méthanisation Agricole | Expobiogaz 2022, 2021). Une « massification » est ainsi en cours, si les projets prévus arrivent à terme¹⁰⁶. Dans les Vosges, en janvier 2021, on compte 41 unités de méthanisation, dont une seule en injection, car le réseau gazier y est en 2021 encore peu étendu. Elles se sont développées dans un département dominé par l'élevage (viande, mixte, lait) et la polyculture-élevage. Dans le Bas-Rhin, on observe un développement de la méthanisation moins fort et plus récent. Une première vague de construction entre 2012 et 2014 (7 UM en fonctionnement en 2018) est suivie d'une seconde vague plus intense ces 3 dernières années (17 UM en janvier 2021). Une augmentation forte du nombre de projets est prévue pour les 3 prochaines années selon les acteurs de la filière. Le département du Bas-Rhin est caractérisé par une agriculture plus diversifiée que celle des Vosges,

¹⁰⁵ Les caractéristiques des territoires d'étude ont été présentés en chapitre 1 et dans le chapitre 4, ils ne sont que succinctement résumés ici.

¹⁰⁶ La guerre en Ukraine et le phénomène mondial d'inflation qui a suivi réinterroge cependant le développement de projets de méthanisation, au regard du coût des matières premières.

implantée dans 3 grands ensembles agricoles. Des grandes cultures céréalières (maïs grain) et oléoprotéagineux sont cultivés dans la plaine d’Alsace, où l’élevage porcin et bovin y valorise la production végétale. Le *ried* alsacien rassemble des systèmes de polyculture élevage avec maïs irrigué, ainsi que de la viticulture. L’agriculture des montagnes vosgiennes est caractérisée par des productions bovines viandes, mixtes ou lait, où dominent les surfaces toujours en herbe.

Lors des entretiens avec les 23 agri-méthaniseurs (chapitre 4), nous avons cherché à recueillir des données pour alimenter ce chapitre 5, sur les points suivants :

- L’évolution ou non de leurs interactions de travail avec d’autres acteurs du territoire, entre avant et après méthanisation ;
- Les ressources du territoire qu’ils ont mobilisées pour monter leur projet de méthanisation, et celles qu’ils mobilisent aujourd’hui pour faire fonctionner leur méthaniseur ;
- Les contraintes du territoire qu’ils rencontrent dans leur activité.

Le temps d’entretien étant parfois peu extensible et les entretiens visant à recueillir des données pour deux chapitres, nous avons principalement approfondi les enjeux du montage de projet et d’accès à la biomasse pour le fonctionnement du méthaniseur. Les agri-méthaniseurs anonymisés sont désignés comme dans le chapitre précédent à travers une lettre de l’alphabet (*Tableau 26*).

	Lettre de désignation de l’agriculteur ¹⁰⁷	Agriculteurs associés d’une même UM enquêtée (associé 1/associé 2)
Vosges	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K	H/I
Bas-Rhin	L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W	L/M, N/W, P/S

Tableau 26 : Dénomination des agri-méthaniseurs enquêtés¹⁰⁸.

En plus des données recueillies auprès des agri-méthaniseurs, nous avons mené des entretiens semi-directifs avec 35 acteurs qui participent de la mise en œuvre de la méthanisation dans le Grand Est. Vingt-cinq entretiens ont été réalisés en visioconférence ou par téléphone¹⁰⁹, 10 ont été réalisés en présence. Le choix des enquêtés visait à couvrir un ensemble d’acteurs impliqués dans le secteur de la méthanisation au niveau du territoire (*Tableau 27* et *Figure 33*) :

- Acteurs des politiques publiques et privées du Grand Est ;
- Acteurs administratifs chargés de la mise en œuvre de la politique publique au niveau de la région ou du département (instruction des dossiers, mise en œuvre, expérimentations, contrôle) ;
- Acteurs publics ou privés participant au développement technique des méthaniseurs et à la mobilisation de la biomasse au niveau des territoires (issus des secteurs de l’agriculture, de l’énergie, de la construction, du déchet) ;
- Acteurs d’organisations à but non lucratif qui travaillent sur le volet environnemental de la méthanisation.

Parmi les acteurs privés agricoles, nous avons mené 7 entretiens auprès d’agriculteurs situés à proximité des unités de méthanisation : (i) Deux agriculteurs qui ont renoncé à un projet de

¹⁰⁷ Dans ce chapitre, selon le contexte, nous utilisons les termes « agriculteur » ou « agri-méthaniseur » pour désigner les agriculteurs associés à un projet de méthanisation.

¹⁰⁸ Dans les cas où l’identification de l’agri-méthaniseur paraissait possible en raison d’un caractère très spécifique, l’autrice a fait le choix de ne pas indiquer l’agri-méthaniseur concerné en supprimant la lettre de l’alphabet le désignant.

¹⁰⁹ En raison de la pandémie de covid 19 en 2021

méthanisation (le troisième¹¹⁰ est compté dans la catégorie « agri-apporteur d'une UM enquêtée » dans le Tableau 27) ; (ii) Quatre agri-apporteurs de 3 méthaniseurs enquêtés (deux apporteurs de fumier et 2 apporteurs de maïs) : ils vendent ou échangent des biomasses contre du digestat ; (iii) Un agriculteur bio reprenneur de digestat.

Institutions/acteurs	Nombre d'acteurs enquêtés [en crochet le nombre d'entretiens total pour les acteurs interviewés plusieurs fois]
Entretiens exploratoires auprès de l'ADEME, la Chambre d'agriculture des Vosges, la Chambre régionale d'agriculture du Grand Est (CRAGE), la Chambre départementale d'agriculture du Bas-Rhin	4 entretiens exploratoires pour identifier les acteurs du territoire
Agri-méthaniseurs	23
Agriculteurs qui ont renoncé à un projet de méthanisation	2 (1 en présence)
Agri-apporteurs et/ou repreneurs de biomasse des UM visitées (dont un a aussi renoncé à un projet de méthanisation)	5 (en présence)
Agriculteur prestataire des agri-méthaniseurs (Entreprise de travaux agricoles)	1 (en présence)
Chambres d'agriculture départementales et régionales	3
Syndicats agricoles et professionnels	2
Constructeur	1
ADEME	2
Agro-industriels (dont coopératives)	5 (1 en présence)
Distributeurs et transporteurs d'énergie	1
Associations environnementales	1
Services de l'Etat en charge de la mise en œuvre de la politique publique du biogaz (hors ADEME)	4 [5]
Université/ Recherche académique	1 [2] (1 en présence)
Collectivité/ institut avec délégation de service publique	2 (1 en présence)
Institut technique/ organisation de producteur	2
Total¹¹¹	35 entretiens + ceux des agri-méthaniseurs

Tableau 27 : Liste des entretiens anonymisés¹¹².

¹¹⁰ Les trois entretiens concernant les agriculteurs qui ont renoncé à un projet de méthanisation ont déjà été mobilisés pour le chapitre 4

¹¹¹ A la marge, des données issues d'autres entretiens menés durant la thèse (cf. sections Matériel et Méthode des autres chapitres), et susceptibles d'enrichir notre analyse au niveau du territoire, ont aussi été mobilisées.

¹¹² Lors des entretiens, nous avons explicité auprès des acteurs enquêtés que les données étaient mobilisées dans le cadre d'une thèse de recherche académique sur la méthanisation agricole. Nous avons expliqué que cette thèse portait sur la manière dont la méthanisation transformait l'agriculture, et sur la cohérence entre la politique du biogaz et les politiques agricoles. Un accord a été demandé à toutes les personnes pour autoriser l'enregistrement audio dans un objectif de retranscription. L'enregistrement et l'utilisation des données pour cette thèse a été autorisé par les acteurs enquêtés sous condition d'une anonymisation des données par l'autrice. Pour garantir l'anonymisation des acteurs nous avons donc remplacé dans les citations les noms propres permettant d'identifier les acteurs par des noms communs balisés de la manière suivante : « *coopérative* ». Nous avons aussi utilisé pour désigner les acteurs des appellations génériques type « agent de l'administration régionale ». Lorsque les acteurs

La retranscription des entretiens a été en partie réalisée par l'autrice, et en partie réalisée par une prestataire (cf. Tableau 42 en Annexe pour plus de détails).

Nous nous appuyons aussi sur des données issues d'observations participantes (une conférence et un webinaire) (Tableau 28).

Observation participante	Institution(s) organisatrice(s)
Conférence sur le biogaz (Avril 2019) : le biogaz dans l'économie circulaire (France, Allemagne) - Des acteurs du Grand Est y sont intervenus.	Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE)
Webinaire du Partenariat européen pour l'innovation (PEI) Partage « Accompagnement agronomique des méthaniseurs avec MAELIA » : https://youtu.be/9xJxdp77o20	CRAGE et Chambres d'agriculture départementales, INRAE, coopérative

Tableau 28: Liste des situations d'observation participante.

Enfin en complément, nous avons analysé de la littérature grise disponible en ligne et portant sur la politique publique du biogaz et les prises de position d'acteurs du territoire Grand Est sur la méthanisation (Tableau 29).

Titre et source	Commanditaire/auteur et date
« Contrat de plan Etat Région Grand Est - Contrat de déclinaison 2021-2027 » https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2022/04/contrat-declinaison-cper-2021-2027.pdf	Région Grand Est, 2022
« Contrat de plan Etat Région Grand Est 2021-2027 - Rapport d'évaluation environnementale », https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2022/04/declaration-environnementale-cper-ge-v3.pdf	Région Grand Est, 2022
« Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires » (2019), https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2019/11/sraddet-ge-annexe4-diagnostic-climat-air-energie-vdef.pdf	Région Grand Est, 2019.
« Schéma Régional Biomasse. » https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2017/05/srb-gd-est-diaqnostic-2021.pdf	Région Grand Est, 2021. Etude par Inddigo.
« Evaluation environnementale du Schéma régional biomasse », https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2017/05/srb-grand-est-ee-2021.pdf	Région Grand Est, 2021. Etude par Inddigo, Solagro, Biomasse Conseil.
« Point sur l'élaboration du Schéma Régional Biomasse du Grand Est. » https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/8-2019_01_18_srb_comite_regional_methanisation-2.pdf	Région Grand Est, 2019.

nous ont semblé trop aisément reconnaissables (spécificité du contexte, unicité du poste), soit nous avons décidé de supprimer l'usage des citations au risque de perdre en précision, pour garantir l'anonymisation ; soit nous avons vérifié auprès de l'acteur enquêté que la citation ne le dérangeait pas.

« Stratégie régionale pour le développement de la méthanisation en Grand Est. » Comité régional Méthanisation Grand Est - Deuxième rencontre. https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2-2019_01_18_-_comite_regional_methanisation_-_strategie_et_charte-2.pdf	Région Grand Est (Présentation par Carole Combe), 2019.
« Appel à projet 2017 Méthanisation ».	Direction régionale Grand Est de l'ADEME, 2017.
« Appel à projet 2018 Méthanisation ».	Direction régionale Grand Est de l'ADEME, 2018.
« Appel à projet 2020 Méthanisation ».	Direction régionale Grand Est de l'ADEME, 2020.
« Appel à projet 2022 Méthanisation ».	Direction régionale Grand Est de l'ADEME. 2022.
« La méthanisation est-elle compatible avec l'agriculture paysanne ? » https://www.confederationpaysanne.fr/sites/1/mots_cles/documents/4_pages_META_BD.pdf	Confédération Paysanne, 2020.
« Plan d'actions du schéma régional biomasse et de la stratégie régionale portant sur le développement de la méthanisation en Grand Est. » https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2021-02-19-comite-regional-metha.pdf	DREAL Grand Est, & Région Grand Est, 2021.
Conclusion GT Méthanisation Lecornu 2018. https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5-2019-01-18-actu-etat-3.pdf	DREAL Grand Est, 2019.

Tableau 29: Liste des documents clefs, issus de la littérature grise, mobilisés dans l'analyse. Les autres documents seront cités dans le corps du texte et référencés en bibliographie.

Lors de chaque entretien semi-directif nous cherchons à recueillir des données sur :

- Les activités de chaque acteur : comment contribuent-ils à la gestion effective directe, indirecte ou intentionnelle ? ;
- Leurs stratégies, à partir de l'analyse de leurs enjeux, leurs ressources, leurs contraintes ;
- Leurs interactions avec d'autres acteurs : comment ces interactions sont-elles des ressources ou des contraintes dans leur activité ? ;
- Et pour les acteurs de la gestion directe : leurs pratiques contribuant à transformer l'agroécosystème.

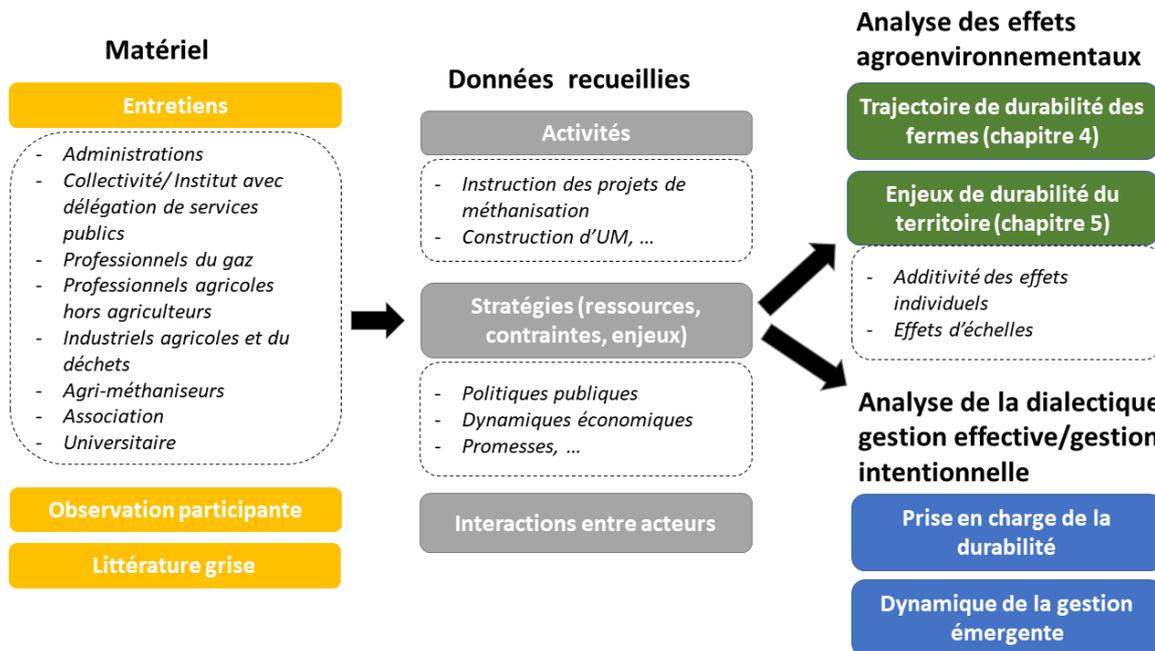


Figure 33 : Recueil de données et variables analysées.

Comme présenté en chapitre 1, l'analyse se rapporte à un référentiel normatif de durabilité. Nous prenons comme référentiel normatif la politique de transition agroécologique française telle que détaillée dans les politiques, plans et programmes français. Pour rappel, les dix grands thèmes de durabilité identifiés sont : 1) limiter les émissions de carbone pour limiter le changement climatique ; 2) augmenter le stockage du carbone ; 3) équilibrer les apports azotés par la limitation des apports d'azote de synthèse, le développement des légumineuses pour réintroduire l'azote dans le système, et la promotion de l'autonomie en protéines végétales ; 4) limiter les émissions de N₂O ; 5) limiter l'usage des pesticides (notamment avec la promotion de l'agriculture biologique) ; 6) maintenir la qualité biologique des sols ; 7) protéger et valoriser la biodiversité des paysages par le déploiement d'infrastructures agroécologiques, la préservation de prairies permanentes de qualité, la diversification des cultures ; 8) protéger la qualité de l'eau en limitant le lessivage de l'azote et la pollution des eaux ; 9) protéger la disponibilité de l'eau ; et 10) améliorer la gestion territoriale de l'azote en développant la complémentarité entre cultures et élevage, en préservant la surface et la qualité des prairies permanentes, et en développant l'autonomie en protéines végétales. Sur la base de ce référentiel, nous identifions comment la méthanisation modifie la dynamique agricole du territoire et contribue positivement ou négativement aux différents enjeux de durabilité.

Les données ont été analysées de sorte à dessiner la construction du système de gestion entre 2015 et 2022, et les effets agroenvironnementaux observés sur le territoire.

RESULTATS

Le sous-chapitre 1 présente les transformations observées sur les territoires proches des agri-méthaniseurs enquêtés dans les Vosges et le Bas-Rhin. Nous avons montré dans les chapitres 4, le rôle clef de l'accès à la biomasse méthanogène du territoire dans l'évolution des systèmes de culture des agri-méthaniseurs. Ce sous-chapitre analyse donc comment sous l'effet de la méthanisation de

nouvelles dynamiques de gestion des biomasses méthanogènes émergent sur le territoire, influençant l'évolution du système agricole territorial et sa durabilité (biodiversité, usage des sols). Le chapitre 4 a aussi montré que les agri-méthaniseurs importaient de l'azote sur le territoire et en exportaient. Nous analysons donc comment ces dynamiques territoriales influencent la gestion de l'azote au niveau des territoires (économie d'intrants, pollution de l'eau, tassement du sol). Enfin ce sous-chapitre s'intéresse à d'autres modèles de méthanisation, qui proposent des ancrages au territoire agricole différents de ceux étudiés en chapitre 4.

Les sous-chapitres 2 et 3 portent sur les jeux d'acteurs de la gestion effective *indirecte* et de la gestion intentionnelle, en vue d'identifier les dynamiques à l'origine des effets agroenvironnementaux observés, et de qualifier la prise en charge de ces enjeux dans la gestion émergente.

1 La gestion effective directe : nouvelles dynamiques de gestion de la biomasse sur le proche territoire et nouveaux enjeux de durabilité

La méthanisation crée de nouveaux besoins en biomasse pour le méthaniseur, le méthaniseur crée de nouveaux débouchés pour les matières méthanisables du territoire, et le digestat est un nouveau produit résiduaire organique qui doit faire l'objet d'un plan d'épandage¹¹³. Nous présentons dans cette première section comment ces nouveaux besoins peuvent faire évoluer les systèmes de production du territoire, leurs interactions, et quelles en sont les conséquences sur la durabilité agroenvironnementale du territoire.

1.1 Interactions entre systèmes de production du territoire : nouveaux flux de biomasses entre exploitations agricoles

L'arrivée de la méthanisation sur un territoire agricole modifie des relations de travail entre les agri-méthaniseurs et les autres agriculteurs du territoire. Les Tableau 30 et Tableau 31 présentent les nouveaux flux de biomasse (intrants méthanogènes et digestats) entre agri-méthaniseurs enquêtés et d'autres agriculteurs du territoire (*Tableau 31* ligne « Agriculteurs voisins »).

Activité de l'agri-méthaniseur / Département	Achat régulier* de maïs sur le territoire	Achat ponctuel** de maïs sur le territoire	Agri-méthaniseur réalisant un épandage dans le cadre d'un échange	Agri-méthaniseur réalisant un épandage de digestat hors des fermes au capital de l'UM
Vosges	B, D, F, G, H/I, J (5/10 UM)	A	A, B, D, F, G, J (6/10 UM)	A, B, D, F, G, J (6/10 UM)
Bas-Rhin	L/M (report) (1/9 UM)	Q (report), S, V	L/M, O, P/S, Q, R, T, U, V (8/9 UM)	L/M, O, P/S, Q, R, T, U, V (8/9 UM)

*Tableau 30 : Agri-méthaniseurs concernés par des flux de biomasse avec d'autres agriculteurs du territoire : achat de maïs et échanges d'intrants contre épandage de digestat. Légende : *L'achat régulier de maïs correspond à des agri-méthaniseurs qui achètent tous les ans ou presque du maïs*

¹¹³ Hors situation où le digestat est normalisé et exporté mais nous n'avons pas rencontré ces cas dans nos enquêtes

ensilage sur le territoire ; **l'achat ponctuel correspond à des agri-méthaniseurs qui en achètent plus rarement, lorsqu'ils ont peu de production en propre disponible, ou qu'ils ont une rupture d'approvisionnement en coproduit. Le report correspond à un achat de maïs reporté sur le territoire, induit par la méthanisation, mais qui ne sera pas consommé en méthanisation. Par exemple l'agriculteur va récolter 10ha de maïs en ensilage pour la méthanisation, alors qu'il les cultivait en maïs grain auparavant, et va en conséquence acheter 10ha de maïs grain sur le territoire comme aliment d'élevage.

Acteurs du territoire concernés par l'échange	Type d'échange ou de relation commerciale entre agri-méthaniseurs et autres acteurs du territoire	Agri-méthaniseurs
Agriculteurs voisins	Echange digestat-effluents	D, F, G, L/M, Q, R, P/S, T
	Echange digestat-paille/cannes de maïs	A, G, O, R, U
	Echange digestat-surface d'épandage	C
	Echange digestat-entretien de prairies permanentes	C, J
	Echange digestat-couverts intermédiaires	O, V
	Vente de digestat à des bios	F, L/M
	Achat de coproduits agricoles du territoire	D, L/M (effluents), N (cannes de maïs)

Tableau 31 : Types d'échanges d'intrants et de digestat entre agri-méthaniseurs et autres acteurs du territoire.

Ces tableaux montrent que les agri-méthaniseurs importent et exportent des matières riches en carbone et en azote. Les sections qui suivent visent à identifier les transformations des pratiques qui découlent des nouvelles relations entre systèmes de production agricoles du territoire.

1.1.1 La valorisation des coproduits agricoles (résidus de cultures, effluents) : une intensification des échanges au niveau du territoire

a) Une préférence pour la non-monétisation des échanges : échange de bons procédés entre apporteurs d'intrants et agri-méthaniseurs

Les agriculteurs qui fournissent des coproduits agricoles aux méthaniseurs privilégient en général des échanges non monétisés, coproduits/digestat (14/19 UM). La prestation d'épandage est généralement prise en charge par l'agri-méthaniseur, quelques agri-méthaniseurs demandant une petite contribution aux frais d'épandage. Les échanges les plus courants sont « fumier contre digestat » (8/19 UM), ou « paille contre digestat » (5/19 UM) (cf. Tableau 31, ligne 2 « Agriculteurs voisins »). L'échange permet le retour de digestat sur les fermes dont sont issus les coproduits.

« On essaye dans la mesure du possible de réaliser des échanges, pour en fait qu'ils nous donnent aussi un peu quelque chose du digestat qu'on épand, du coup chez certains on récupère la paille de blé pour les vaches, chez d'autres on sème des couverts d'été (...); maintenant on demande qu'ils payent les semences, et nous on fait le semis, souvent y'en a qui préfèrent semer les couverts, mais souvent ils sont bien contents qu'on le fasse. » (Agriculteur O)

« Les céréaliers avec le prix des engrais (...), ils sont de moins en moins chauds pour vendre leur paille aux éleveurs, car ils veulent la garder pour l'humus, ou des éléments fertilisants pour leur cultures à eux. Par contre j'en ai trouvé un ou deux, ou on peut faire des échanges avec le digestat, où ils fourniraient de la paille. (...) J'en ai contacté quelques-uns et ça devrait pouvoir se faire. » (Agriculteur A)

« L'épandage, bien sûr nous on produit [du digestat], on a besoin [d'en] sortir, eux ils ont besoin de faire de la marge donc forcément, c'est moins coûteux que d'acheter dans le commerce donc on se partage la part en deux. On facture une participation d'épandage, je ne pense pas que ça couvre tous les frais mais c'est plutôt agréable pour eux. » (Agriculteur V)

Au dire des agri-méthaniseurs, ces échanges digestat-coproduits satisfont les deux parties. La plupart du temps l'échange n'est pas contractualisé mais il est plutôt stable¹¹⁴. Les agri-méthaniseurs considèrent en général qu'il a de bonnes chances d'être renouvelé – ce qui est confirmé par deux agri-apporteurs.

Nous n'avons pas recueilli les règles d'échange pour tous les agri-méthaniseurs, mais l'accord qui apparaît courant est un échange en équivalent azote ou en équivalent en volume. Certains agri-méthaniseurs évoquent l'attractivité du digestat pour négocier certains coproduits du territoire comme les pailles (A, R), le digestat garantissant un retour au sol de matière organique et d'éléments minéraux. La prise en charge du travail d'épandage par l'agri-méthaniseur est un argument supplémentaire qui peut inciter des agriculteurs voisins à échanger leurs effluents et d'autres coproduits contre du digestat.

On observe trois situations où les échanges sont monétisés. La première est l'achat (rare) d'effluents d'élevage. Un agri-méthaniseur bio, dont l'approvisionnement est très dépendant du territoire (en cultures et en effluents), préfère acheter du fumier à ses voisins plutôt que de l'échanger, afin de garder son digestat et l'N correspondant. La seconde situation, pratiquée par (F, L/M, S/P, R, A), est la vente d'une prestation d'épandage de digestat à des agriculteurs bios du territoires, qui sont donc intégrés au plan d'épandage. La troisième situation est l'échange paille-digestat, en fait indirectement monétisé. Pour établir cet échange, les agriculteurs S et U estiment la « valeur » du digestat en lien avec la valeur azotée du produit :

« Un hectare de paille vaut à peu près 200 euros et 1 m³ de digestat épandu vaut au moins six, sept euros. C'est calculé comme ça, approximativement. (...) Vu que j'en ai encore suffisamment, ça ne me dérange pas de donner un peu plus. » (Agri-méthaniseur U)

Mais comme l'expriment plusieurs agri-méthaniseurs, rapporté au kg d'azote minéral, le prix « d'échange » du digestat est souvent en dessous du prix du marché de l'azote, car cet export sert les agri-méthaniseurs en leur permettant de faire tourner le méthaniseur ou en donnant accès à des surfaces d'épandage.

¹¹⁴ Ces échanges sont évidemment dépendants de la pérennité des activités agricoles des agriculteurs du territoire. Ainsi nous avons enquêté (en 2021) l'exploitant d'une UM entrée en fonctionnement en 2016 : initialement son approvisionnement reposait à grande majorité sur la récolte des cannes de maïs du territoire. Il a dû faire évoluer son approvisionnement car la disponibilité de celles-ci a progressivement diminué ces dernières années, du fait de la sécheresse et de la demande des pailles pour l'élevage. Deux agri-méthaniseurs évoquent aussi le fait qu'il leur arrive ponctuellement de reprendre des effluents d'éleveurs voisins, sans échange, ceux-ci étant contents de s'en débarrasser.

b) Le digestat, un fertilisant organique attractif pour les agriculteurs bio du territoire

Au dire des agri-méthaniseurs qui en vendent (A, F, L/M, associé de N, P/S) et des 2 agriculteurs bio repreneurs enquêtés, le digestat s'avère un fertilisant très attractif en bio :

« En bio y'a une forte demande, quand on leur vend ça leur coute plus cher, ça coute 100€ de plus donc 160€ et pis ils gagnent 1000€. [...]. C'est le pétrole agricole, c'est un miracle » (Agriculteur F)

« On fait tout pour sortir du lot (...) notre digestat est agréé en bio » (Agriculteur P)

Les propriétés fertilisantes azotées se rapprochent de celles d'un azote minéral : le digestat brut ou liquide contient une part importante d'azote ammoniacal en solution, qui peut directement être absorbé par les plantes (Moletta, 2015). Au moins cinq des agri-méthaniseurs enquêtés réalisent de la vente de digestat ou des échanges effluents-digestat avec des agriculteurs bio. Deux agri-méthaniseurs (S, V) ont fait certifier leur digestat en bio pour les agriculteurs du territoire ou leur propre usage :

« Je vous cache pas qu'au début, avant que ce soit bio, j'avais beaucoup moins de demandes, maintenant qu'on est passé en bio, c'est le jour et la nuit. Après pour avoir le label bio, du digestat, on a quand même dû refuser quelques matières premières qui rentrent dedans » (Agriculteur S)

« Ce n'est pas obligatoire en bio d'avoir une certification mais je le fais, on a patte blanche, pour montrer noir sur blanc que ce qu'on fait est tracé, vérifié et juste. Il y a quand même beaucoup de choses qui se disent dans les médias donc moi je veux être tranquille. Ça coûte un peu des sous mais après on est sûr aussi que ce qu'on fait est bon. » (Agriculteur V)

Les deux agriculteurs bio repreneurs de digestat que nous avons enquêtés, partagent le constat d'un très bon pouvoir fertilisant azoté, mais font aussi état de doutes concernant l'effet de ce digestat sur la vie des sols à moyen terme. Ils reprennent tout deux du digestat depuis peu (respectivement 2 ans et quelques mois). L'agri-repreneur bio de l'UM F, achète le digestat pour fertiliser ses prairies (11m³/ha ~ soit 60-70kgN/ha) et essayer d'augmenter la teneur en protéine de son herbe.

« C'est la première année ou j'en prends du liquide, les autres fois c'était que du solide, l'année dernière, mais là le recul est là, la prairie est beaucoup plus belle où on met du digestat que là où on met du fumier. Le problème du fumier c'est qu'on a un blocage, on recharge en matière organique et on n'a pas d'azote pour dégrader cette matière organique, en bio c'est un gros problème » (Agri-repreneur)

L'autre agri-repreneur bio de l'UM L/M fait depuis quelques mois un échange digestat-fumier. Il était réticent au départ à céder son fumier, de peur d'appauvrir ses sols en matière organique, mais il n'avait pas le choix s'il voulait conserver un accès à un fertilisant organique. L'arrivée du digestat dans les échanges de matières peut créer des craintes ou des changements de gestion de la fertilisation chez ces agri-repreneurs bio :

« Oui [des agriculteurs] qui prenaient déjà des fientes, et nous on leur dit on n'aura plus des fientes on aura du digestat, donc ils ont un peu tiqué, (...), ils ne sont pas tout à fait équipés, avant c'était du solide, c'était un épandeur à fumier avec table d'épandage, maintenant c'est une tonne à lisier, ils avaient des doutes par rapport à la disponibilité du digestat parce que très souvent on a cassé du sucre sur le dos du digestat » (Agriculteur L)

Tous les digestats ne sont cependant pas valorisables en agriculture biologique. L'agriculteur (O) méthanise des biodéchets ; l'agriculteur (Q) a plus de 3000 places d'engraissement en élevage porcin or le bio interdit la fertilisation à partir d'effluents d'élevages définis comme industriel.

c) La méthanisation offre un nouveau circuit de gestion des effluents d'élevage pour les systèmes de production du territoire

Les échanges effluents-digestat sont généralement initiés par l'agri-méthaniseur auprès d'agriculteurs du territoire, pour augmenter son approvisionnement. Mais c'est aussi un circuit qui peut s'avérer attractif pour les agriculteurs du territoire : l'échange est généralement assorti d'une prestation de stockage des effluents, et permet l'épandage d'un fertilisant organique plus riche en azote minéral que du lisier ou du fumier.

« Un agriculteur du village, qui a des vaches allaitantes, il est venu nous voir, il veut du digestat (...) en échange il nous donne son fumier, y'a 1200t de fumier en plus, et puis cet hiver, en mars, y'a deux (...) engraisseurs de porc, qui m'ont appelé, (...), j'ai la fosse pleine, (...) tu veux pas en chercher un peu du lisier, donc voilà... » (Agriculteur M)

« Notre deal avec les agriculteurs c'est on cherche le fumier, (...) eux tout ce qu'ils ont à faire c'est remplir la benne quand on vient le chercher, en échange on leur épand du digestat sur les terrains qu'ils nous disent, on va épandre 1 pour 1, c'est une tonne de fumier, donne une tonne de digestat épandu. Et ils sont très contents, mais ils ont tout à gagner, le digestat c'est un fertilisant qui est tout de suite utilisable par la plante » (Agriculteur P)

« Nous c'est une prestation car les céréaliers ne sont pas équipés, ils n'ont pas le tonneau, ils n'ont pas le temps. On épand, on prend en compte le plan d'épandage, et on refacture le service. Dans une optique d'économie d'une grosse partie du volet engrais : le deal c'est de couvrir le coût d'épandage et on partage la poire en deux, ça fait une fertilisation à moitié prix par rapport à l'engrais du commerce. Ça fidélise » (Agriculteur V)

Comme évoqué au chapitre 4, cet échange évite à certains agri-apporteurs la mise aux normes de leurs fosses de stockage (Agri-apporteurs des UM D et T au dire des agri-méthaniseurs D et T).

Comme pour les effluents de leur propre ferme, ces échanges effluents-digestat n'ont d'intérêt pour l'agri-méthaniseur que si les intrants sont disponibles à proximité de l'UM et si les surfaces d'épandage ne sont pas éloignées (cf. chapitre 4). L'agriculteur M a déjà pris une fois le fumier porcin de son frère (à 10km) mais c'est « beaucoup de logistique pour pas grand-chose ». L'agriculteur S modifie ainsi la règle d'échange effluents-digestat selon la distance des exploitations où il épand :

« Il y a les exploitations qui sont près où on va dire, deux [tonnes pour une tonne], les exploitations qui sont loin, c'est [une pour une] quoi. Une tonne de fumier, nous on redonne une tonne de digestat (...) épandu » (Agriculteur S)

d) Evolution de la fertilisation sur le territoire

Comme exposé précédemment (Tableau 30 et Tableau 31), 14 unités de méthanisation sur 19 épandent du digestat chez des agriculteurs voisins. Les risques (tassement, pollution à l'azote, baisse de la biodiversité des prairies) et bénéfiques (recyclage de l'azote des effluents, substitution à de l'N minéral, limitation des émissions GES des effluents) de la fertilisation au digestat, identifiés au chapitre

4, sont donc étendus aux surfaces du plan d'épandage. Comme analysé au chapitre précédent, la mise en œuvre des bonnes pratiques d'épandage chez les agriculteurs voisins sont variables selon les contraintes/ressources de chaque agri-méthaniseur. Les agri-méthaniseurs devant cependant proposer un service d'épandage qui convienne aux agri-apporteurs, il faudrait investiguer plus précisément les spécificités de ces évolutions dans les fermes du territoire.

Nous n'avons pas pu documenter les évolutions de pratiques dans un échantillon significatif d'agris-repreneur de digestat mais les quelques entretiens menés avec des agri-repreneurs de digestats montrent que des évolutions de pratiques ont bien lieu sur ces fermes. Un agri-repreneur évoque ainsi une économie faible d'azote suite à la reprise de digestat « *J'économise un peu d'engrais, enfin un peu, pas de trop car le lisier je mettais quand même. (...) Oui un tout petit peu oui.* » (Agri-apporteur d'effluents) ; un autre en bio explique que la reprise de digestat a fait évoluer la gestion de ses effluents d'élevage et a diminué les volumes de fumiers qu'il épand sur ses sols. Comme évoqué dans le paragraphe suivant (1.1.2) la culture de CIVE chez un agri-apporteur modifie son itinéraire technique (évolution de la date de semis de la culture suivante).

Par rapport à la gestion de l'azote au niveau territorial, un indicateur de la répartition de l'azote sur le territoire et de son intérêt pour les agriculteurs du territoire est la clef de calcul des quantités d'azote échangé (cf. 1.1.1). La redistribution de l'azote du digestat sur le territoire dépend donc de l'intérêt de ce fertilisant organique sur le proche territoire. Plusieurs agriculteurs en 2022 soulignent que l'augmentation du prix de l'azote minéral rend plus attractif l'utilisation du digestat pour les agri-méthaniseurs et leurs repreneurs de digestat. Les surfaces concernées par ces nouveaux enjeux de fertilisation dépendent aussi des besoins en surfaces d'épandage des méthaniseurs, hors des exploitations portant le projet de méthanisation. Les agri-méthaniseurs enquêtés n'avaient pour la majorité pas de difficulté à avoir accès à des surfaces d'épandage, seul deux agriculteurs ont évoqué des difficultés à ce sujet. Pour l'agriculteur O, le développement des méthaniseurs restreint l'accès à des surfaces d'épandage :

« On va dire que les opportunités pour épandre diminuent, on commence à avoir un peu de concurrence aussi, parce que moi je vois dans mon rayon de 5km on est bientôt 4 méthaniseurs (...) tant qu'on arrive à avoir des échanges ça va bien, mais si pas le choix, on épandra gratuitement » (Agri-méthaniseur O)

Pour l'agriculteur E, la proximité de nombreux élevages aux alentours n'est pas favorable à l'export de digestat ce qui le conduit à devoir tout épandre sur ses propres surfaces.

S'il n'y a pas encore de travaux scientifiques sur les impacts du développement de la méthanisation sur la pollution de l'eau, des acteurs de l'administration régionale identifient dans certains bassins versants des augmentations de la pollution aux nitrates, qu'ils suspectent fortement être en lien avec de mauvaises pratiques d'épandage de digestat (3.3.2). Les pratiques observées au chapitre 4 (épandage au semis de cultures d'automne, épandage pour vider la fosse avant l'hiver) peuvent contribuer à ce type de pollution de l'eau.

1.1.2 La méthanisation, un nouveau débouché pour les cultures du territoire

La nouvelle demande d'intrants méthanogènes conduit certains agriculteurs du territoire à vendre des cultures aux méthaniseurs. Lorsque nous avons mené nos enquêtes en 2021, les agri-apporteurs

enquêtés trouvaient intéressant économiquement de vendre du maïs à un méthaniseur. Les entretiens mettent en évidence différentes modalités de vente de cultures entre agriculteurs.

- a) Une meilleure capacité des agri-méthaniseurs à négocier la biomasse : un débouché qui peut venir en concurrence avec les besoins de l'élevage du territoire ?

Sept méthaniseurs sur 19 (cf. Tableau 30) fonctionnent grâce à l'achat régulier de cultures sur le territoire (principalement de maïs). Certains ont besoin de ce maïs seulement pour la méthanisation (D, H/I, J, L/M), d'autres comme B ou G sont des éleveurs pour lesquels l'achat de maïs à l'extérieur sécurise aussi bien le fourrage que l'approvisionnement du méthaniseur. L'agri-méthaniseur B par exemple a dû acheter du maïs depuis 2018 car, avec les sécheresses, les surfaces prévues en maïs sur sa ferme ont été utilisées en élevage, ce qui l'a conduit à acheter du maïs sur le territoire. Quatre autres agri-méthaniseurs n'achètent pas régulièrement de l'ensilage, mais ont dû réaliser des achats ponctuels certaines années où ils ont eu besoin de plus d'intrants (rupture de l'approvisionnement en coproduits, faible rendement sur les CIVE).

Quelques agri-méthaniseurs mettent en place des stratégies particulières d'achat de maïs pour fidéliser leurs fournisseurs qui leur vendent le maïs : G et B achètent tous les ans à leurs voisins du maïs, même les années où ils n'en ont pas besoin. Cela garantit une relation commerciale stable :

« Les années de sécheresse on les anticipe avec du stock. (...) on achète un peu de maïs, tous les ans même la bonne année, il y a un céréalier, qui est pas trop loin de chez nous, qui a plus d'élevage, qui fait du maïs et tous les ans, on lui réserve une surface, même l'année où on en a pas besoin, on lui achète quand même. (..) On va pas lui dire bah cette année j'en veux pas, l'année prochaine, je sais pas si j'en veux, je te dirai ça 15 jours avant la récolte. Non. Ça va pas lui plaire. » (Agriculteur G)

Un troisième agriculteur achète 2€ plus cher la tonne de matière sèche de maïs aux vendeurs qui lui en produisent tous les ans, pour les fidéliser. Cette fidélisation des vendeurs de maïs est possible, grâce au débouché assuré que représente la méthanisation. Deux agriculteurs méthaniseurs (D, F) ont également mis en place des contrats d'achat de maïs avec leurs agri-apporteurs – un de ces contrats est quinquennal et évolue en fonction du cours du marché - mais la contractualisation en général semble peu pratiquée :

« On n'a pas de contrat, si on est pas foutu de s'entendre entre paysans, moi j'arrête tout de suite. » (Agriculteur J)

« Bon le maïs, on en achète un peu à quelques voisins, cette année bon y'en a un qui nous a fait un contrat, sur les prix de l'année dernière, mais les autres, ils attendent, parce que les prix, on ne sait pas le prix du maïs, ça va dépendre de la guerre en Ukraine, de la moisson » (Agriculteur A)

Par ailleurs, certains acteurs des territoires (syndicat agricole, représentant d'une organisation de producteur) s'interrogent sur la capacité des éleveurs non méthaniseurs à préserver leurs circuits d'achats de fourrages par rapport aux agri-méthaniseurs. En effet, les éleveurs n'achètent les cultures que les années où ils n'ont pas réussi à les produire eux-mêmes. Ils sont donc des acheteurs moins réguliers que les agri-méthaniseurs qui en ont besoin tous les ans. Ainsi un agriculteur peut préférer vendre son maïs à la méthanisation puisqu'elle représente un débouché plus stable et sûr que l'élevage. En face, un agri-méthaniseur peut préférer acheter du maïs disponible à proximité plutôt

que des intrants industriels plus complexes à obtenir (comme montré au chapitre 4). Un agri-méthaniseur enquêté, également éleveur, et travaillant dans une Chambre d'agriculture le résume ainsi :

« Ils savent qu'avec les méthaniseurs ils ont la sécurisation que c'est tant de tonnes par méthaniseur par an, et que ce sera tous les ans, tandis qu'en élevage, eh bah c'est quand on en a besoin, c'est ce qui est compliqué, c'est un petit peu ce qui crée une tension entre les méthaniseurs et les éleveurs ; certains éleveurs disent « les méthaniseurs bouffent tout », mais quand ils n'en n'ont pas besoin, ils veulent pas en prendre. » (Agri-méthaniseur)

« Bien souvent [les intrants] qui peuvent aller aux deux on les trouve plus près que ceux qui vont que dans la méthanisation, car les déchets industriels, bien souvent, c'est pas aussi près que la parcelle de maïs du voisin, ou que la drêche de brasserie qui vient d'un périmètre de pas plus de 100km. (...) c'est plus simple, y'a moins de transport, c'est plus simple pour les éleveurs et pour la métha aussi. » (Agri-méthaniseur)

La question de la concurrence à l'élevage est aussi un enjeu présent dans l'esprit de certains agri-méthaniseurs (D, Q, T) :

« La métha ne doit pas bouffer les matières premières, ne doit pas mettre en concurrence le monde de l'élevage et la métha, les deux doivent fonctionner correctement l'un à côté de l'autre, ensemble. (...) Ça éviterait les surenchères après les parcelles, (...) la en automne c'est la course poursuite après la canne de maïs. Mais ils sont tarés ou quoi. » (Agriculteur Q)

Nos résultats laissent supposer que les agri-méthaniseurs ont un pouvoir de négociation supérieur aux éleveurs du territoire, pour acheter du maïs ensilage. Cela n'implique pas directement une concurrence à l'élevage, mais suggère qu'en situation de tensions sur l'accès à la biomasse (année de sécheresse), des concurrences locales peuvent apparaître entre éleveurs et agri-méthaniseurs (possiblement aussi éleveur), et que les agri-méthaniseurs peuvent avoir une capacité supérieure à acheter la biomasse. Le corolaire de cette hypothèse est aussi un soutien accru à l'élevage sur les exploitations des agri-méthaniseurs.

- b) D'une méthanisation débouché alternatif à une méthanisation « poubelle » de territoire : intérêt du débouché méthanisation pour la vente de cultures

Sur les quatre agri-apporteurs enquêtés deux agri-apporteurs vendent du maïs à deux UM. Le premier considère la méthanisation comme un nouveau débouché intéressant économiquement, au même titre que la coopérative à laquelle il vendait son maïs auparavant.

« On a des contrats de vente de maïs maintenant, vente à 33€/tonne de matière sèche ou 95€/tonne de matière brute. Le fumier et le lisier qu'on leur rend c'est surtout parce qu'on est un peu juste en stockage l'hiver, ça rentre dans l'échange fumier-digestat. On donne aussi des fonds de silo, de manière régulière, on envoie 30 tonnes d'herbe de fonds de silo avant de remettre de l'herbe » (Agri-apporteur)

Il vend ainsi 700 tonnes de maïs et d'herbe et récupère aussi du digestat en retour. Le volume de digestat est calculé de sorte à ce qu'il récupère l'équivalent apporté en azote. Cette vente est intéressante économiquement car il a un contrat de fourniture de biomasse dont le prix est indexé sur le cours du marché. Il a donc introduit des changements dans son assolement pour produire ce maïs : il a diminué un peu sa sole de blé et arrêté le maïs grain pour ne faire plus que du maïs ensilage : sur

les 60ha de maïs qu'il a désormais, il garde 45ha en fourrage et 15ha en maïs ensilage pour la méthanisation. Deux agri-méthaniseurs (D et H) disent aussi que des agriculteurs du territoire sont venus les voir pour leur vendre des cultures.

« Ah c'est le grand débat dans les Vosges, soi-disant qu'on met la pression sur le maïs ensilage, et pis on met une tension sur l'élevage en fait, mais au mois de septembre, le téléphone il sonne pour savoir si on n'est pas intéressé par du maïs en fait. - Même les éleveurs t'appellent pour savoir si tu veux du maïs » (Agriculteur D)

*« Aujourd'hui y'a quand même pas mal d'agriculteurs qu'ont compris que c'était un bon filon, qu'ils valorisaient bien leur maïs en le vendant pour la métha (22:07) et plutôt que de faire des colzas, y'en a qui ont réduit leur surfaces en colza pour faire du maïs pour les méthaniseurs, y'a un gars à *****, y'a pas qu'a nous qu'il en vend, il fait 40-50ha de maïs par an, il n'a pas de bête. Enfin s'il a des bêtes, en pension, il ensile 10 ha pour lui et le reste il vend. » (Agriculteur B)*

Au prix de marché en 2021, la méthanisation apparaît donc un débouché rentable et attractif pour le maïs ensilage.

L'autre agri-apporteur de maïs est un polyculteur qui considère la méthanisation plutôt comme un débouché de dernier recours. Il définit celle-ci comme un débouché « poubelle » qui utilise des cultures non valorisables par ailleurs : cultures ratées, abîmées pas les sangliers ou d'intercultures trop humides. Il résume : *« faut la voir comme ça la métha, qui peut tout bouffer, combien de fois (...), on a loupé une culture de colza, ou quand on moissonne on a que de l'herbe, (...) on arrive [à la coopérative], le mec [de la coopérative] il la prend, et [il dit] : « -T'es bien d'accord je te la paye pas, on va la trier ». (...) Alors [que la méthanisation] que ce soit de l'orge, du seigle, du mélange suisse, de la raclure de colza, ils paieront le même prix¹¹⁵ (...) ça veut dire qu'il faut bien le voir comme une valeur poubelle. Qui débarrasse, comme une déchèterie, (...), la déchèterie, elle vous arrange bien. »*. Cependant il précise que si, une année, il n'a pas de cultures ratées à lui vendre, *« pour garder le contact je vais quand même lui vendre 10ha de maïs »*. Donc comme pour les autres agri-apporteurs d'effluents d'élevage ou de fonds de silo, la méthanisation est intéressante car elle valorise ce qui n'est pas valorisé ailleurs. Un agri-méthaniseur confirme ce positionnement intéressant de « dernier recours » concernant des agriculteurs à qui il achète du maïs.

« Y'a pas de contractualisation, c'est des gars ils en sèment pour leurs bestioles, (...) c'est pas les gars qui sème 30ha pour [notre] métha (...), c'est si y'en a de trop ils le vendent à la méthanisation » (Agriculteur H)

En effet un agri-méthaniseur est toujours intéressé par des cultures ratées qui ne seraient pas valorisables autrement qu'en méthanisation. Les « spécifications » des cultures qui intéressent les agris-méthaniseurs portent sur le pouvoir méthanogène et sont donc beaucoup moins contraignantes que les spécifications des cultures de vente.

Conclusion : Nous avons identifié deux positions des acteurs du territoire par rapport aux agri-méthaniseurs : un nouveau débouché intéressant économiquement et stable, ou un débouché plus opportuniste, « de dernier recours » qu'il est cependant intéressant d'entretenir pour les agriculteurs du territoire. Les échanges de cultures sont négociés, comme les échanges de

¹¹⁵ Calibré sur le pouvoir méthanogène

coproduits, afin de satisfaire les deux parties. La méthanisation, en proposant un nouveau débouché stable et rémunérateurs peut être davantage attractive que des débouchés plus traditionnels (coopératives, élevage). Cependant ces réseaux d'échanges négociés sont en construction et apparaissent dépendant des marchés agricoles.

c) Un nouveau marché des intercultures en structuration ?

Des échanges, monétisés ou non, de biomasse d'interculture se développent aussi, même s'ils restent marginaux par rapport au marché des cultures énergétiques. Deux agri-méthaniseurs enquêtés cultivent des couverts sur les terres d'agriculteurs voisins (G, O), l'agri-méthaniseur V achète des couverts introduits par son voisin dans sa rotation et un agri-apporteur enquêté a déjà cultivé du seigle en interculture pour vendre au méthaniseur.

« Il n'y a pas de marché de l'interculture, pas de collecte. Globalement, pour que chacun en bénéficie (...) on tombe d'accord sur un prix. Là c'est la première année que j'ai chez des tiers (...) du seigle avant maïs, on est parti sur (...) un prix à la tonne, en sachant que derrière on verra l'équation globale avec l'impact qu'il peut y avoir sur la culture annuelle qui suit. » (Agriculteur V)

Un entretien avec une coopérative a également soulevé ce sujet du « prix » d'une interculture et des conditions de sa monétisation dans le modèle économique de leur méthaniseur.

« Je me permets un petit aparté sur les CIVE, qui est le plus compliqué en termes de prix puisqu'il n'existe pas aujourd'hui de marché sur les CIVE, et peut-être qu'il n'y en aura jamais. (...) Créer un prix, ça a ses complexités en termes de valorisation pour la ferme, mais également en termes de localisation puisque on s'est aperçu qu'effectivement les CIVE avaient un rendement (...) différent par rapport aux régions, [voire aux parties du département] (...) Donc il a fallu travailler avec les agriculteurs pour dire il y a un prix, qui semblerait être celui-ci, et il va falloir se caler là-dessus et avec vos méthodes agricoles, il va falloir ou les améliorer pour gagner de la marge, ou sinon on ne pourra pas faire tourner le méthaniseur avec des CIVE. » (Coopérative)

Chez les 4 agri-apporteurs enquêtés, l'un d'entre eux met à disposition de l'agri-méthaniseur sa terre pour cultiver des couverts. Cet agri-apporteur laisse depuis 6 ans l'agri-méthaniseur s'occuper de la conduite de ses couverts obligatoires (imposés par la PAC). C'est donc à présent l'agri-méthaniseur qui choisit les espèces de couverts (raygrass-moha), les sème, les fertilise avec du digestat et les récolte pour son méthaniseur. L'agri-apporteur, en fin de carrière, attend en retour que ces couverts de seigle ne retardent pas trop l'implantation de son maïs même s'ils observent une petite baisse de rendement de son maïs.

Au chapitre 4 nous avons observés divers effets de l'introduction d'interculture dans les systèmes de culture des agri-méthaniseurs : couverture des sols l'hiver et diversification, évolution des rotations/ du rendement du maïs qui suit une CIVE d'hiver, fertilisation minérale de CIVE etc. Ces effets peuvent potentiellement être étendus à d'autres exploitations du territoire, si un marché de l'interculture se structure. On peut supposer que cette interculture sera alors un objet économique dont les spécifications (valeur, cahier des charges techniques) seront décidées en lien avec son insertion dans le système de culture et son besoin en méthanisation.

1.2 Interactions entre agri-méthaniseurs et acteurs de la gestion des coproduits agroindustriels : un enjeu d'accès à la biomasse méthanogène

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 4, les systèmes de production des agri-méthaniseurs évoluent notamment par rapport aux stratégies d'approvisionnement du méthaniseur. L'accès à des intrants très méthanogènes tels que des coproduits¹¹⁶ agroindustriels est recherché, car ils produisent du gaz sans rajouter le même travail sur la ferme que la production d'une culture. Ces dernières années ces coproduits mais également des biodéchets¹¹⁷ ont davantage été valorisés en méthanisation. Les agri-méthaniseurs ont vu les prix de ces intrants monter progressivement, augmentant en conséquence le coût de leur approvisionnement (chapitre 4). Certains d'entre eux ont ainsi décidé de chercher davantage de sécurité dans l'approvisionnement, en produisant davantage de cultures sur la ferme ou en cherchant à mieux stabiliser l'approvisionnement en coproduits du territoire. Cet approvisionnement en coproduits est donc un enjeu de la pérennité des *business model* des méthaniseurs, et un enjeu de la transformation des fermes. Ce paragraphe identifie les réseaux d'acteurs participant de l'allocation des coproduits et les dynamiques d'allocation.

1.2.1 Allocation des biomasses méthanogènes par le marché selon une logique d'offre et de demande : rôle des « traders » de coproduits/biodéchets et mise en concurrence des méthaniseurs

Au début des années 2000, les acteurs industriels payaient des acteurs repreneurs pour se débarrasser des coproduits et biodéchets, ou les livraient gratuitement aux acteurs qui en faisaient usage. Puis les coproduits agroindustriels ont été davantage valorisés en alimentation animale. Aujourd'hui coproduits et biodéchets sont également valorisés sur un marché des coproduits et biodéchets méthanogènes.

*« Si on prend l'issue de céréales, par exemple, il y a cinq ans, même il y a dix ans, [la coopérative] payait parce que c'était un déchet, on payait pour le faire sortir. Très vite il est parti en alimentation animale, donc cool, ce n'est plus qu'à zéro et donc on arrive à l'évacuer. Il y a quatre ans, on le vendait environ à 25 € de la tonne. Et aujourd'hui, direction la méthanisation, c'est vendu 50-55 € la tonne donc on voit l'évolution. Rien qu'à notre niveau à nous *coopérative*, on voit qu'il y a une évolution de « je paye pour évacuer un déchet » à « il est très bien valorisé aujourd'hui. » » (Coopérative)*

De nouveaux acteurs se positionnent sur le marché de revente de biomasse méthanogène, des entrepreneurs qui saisissent l'opportunité, aux acteurs de l'alimentation animale (Marc Garon, Nealia ont été cités dans les entretiens) qui sont déjà en contact avec le monde agricole :

« Même des vendeurs qui vendent l'alimentation du bétail, certains se mettent à vendre des déchets d'amidonnerie, parce qu'ils sont déjà en contact justement avec ces personnes-là, ils ont des contacts plus faciles. » (Agri-méthaniseur)

Les agro-industriels peuvent soit se débarrasser des sous-produits ou biodéchets en payant un intermédiaire qui se fait « trader » de ces intrants, soit les vendre directement à des agri-méthaniseurs par exemple à travers un appel d'offre. Nous n'avons pas pu enquêter les intermédiaires (courtier en

¹¹⁶ Les coproduits agroindustriels sont des intrants méthanogènes issus de l'industrie de la transformation des produits agricoles par les coopératives ou entreprises agroalimentaires.

¹¹⁷ Les biodéchets sont des déchets alimentaires usines de transformation de denrées alimentaires, ou d'industries de traitements des déchets.

biodéchets ou faiseur d'alimentation animale), mais il est probable que passer par un courtier permet l'évacuation et le transport de grands volumes de matière, tandis que la revente à des agri-méthaniseurs concerne de plus petits volumes. De plus, certains sous-produits ont besoin d'être traités avant méthanisation. Le rôle des courtiers est alors de prendre en charge la logistique et d'éventuels traitements puis de revendre ces matières à des agris-méthaniseurs en quantité plus petite et à un prix plus fort. Ces courtiers vont donc se faire payer à la fois pour débarrasser les industriels, et pour alimenter les méthaniseurs.

« Si y'a 3000 tonnes de produits, (...) les revendeurs ils disent on prend les 3000m³ nous, et puis on va les revendre aux agriculteurs. Sauf que nous [revendeur] on se fait payer le produit [pour le prendre], la pizza par exemple on se fait payer 20€ de la tonne, la pizza si elle est hygiénisée on peut la vendre jusque 80€. Donc les traders ils font comme ça, (...) ils t'appellent et ils te la revendent plein pot. Alors que quasiment tous les sous-produits, divers et variés des industries, [les industriels] donnent de l'argent. » (Agri-méthaniseur, également revendeur de biodéchets)

La nature des relations contractuelles entre agri-méthaniseurs et revendeurs de coproduits rend difficile la stabilisation de l'approvisionnement en coproduits à des prix et des volumes constants. Premièrement les agri-méthaniseurs ont des difficultés à contractualiser l'approvisionnement en coproduits – tous les méthaniseurs en consomment sauf celui de l'agriculteur C. En général l'approvisionnement en intrants n'est pas contractualisé auprès des courtiers (B, H, K, N, S) et entreprises des biodéchets verts (F). Ces courtiers les contactent plus ou moins régulièrement lorsqu'ils ont des approvisionnements à leur vendre.

« C'est pas planifiable, là j'ai pris 2 camions, parce qu'il en avait, 1 tonne par jour, pendant 25-30 jours. C'est pas possible de contractualiser, ils ont les industriels qui leur disent ça, ça ou ça. Par rapport aux km, ils proposent » (Agriculteur H)

« C'est contractualisé par an, oui. On va jamais plus loin. Qu'est-ce que vous voulez qu'ils fassent, personne ne fera jamais de contrat long sur des issues (...) ils commencent à mettre en concurrence les métha alors qu'il y a 5 ans ils payaient » (Agriculteur K)

Certains agri-méthaniseurs (U, M, E) ont la première fois été démarchés par téléphone par ces courtiers. Un agriculteur évoque le fait qu'un industriel l'a contacté pour qu'il réponde à un appel d'offre pour récupérer des coproduits.

La stabilisation de l'approvisionnement en biodéchets est en fait variable selon le fournisseur. Certains contractualisent tout de même sur de courte durée, de 1 à 3 ans (R, T, V) :

« Oui, j'ai plusieurs contrats sur une même famille de produits. (...) au moins pour l'année après rien n'est jamais acquis à vie mais quand les relations sont bonnes et qu'on est là le samedi s'il y a besoin, les gens en général s'en souviennent, c'est important. Il ne faut jamais dire non. Après tout ce qui est agricole (paille de maïs, marc de raisin), (...) ce sont des choses qui arrivent temporairement sur une partie de l'année mais qu'on stocke sur l'année pour consommer. » (Agriculteur V)

Un agri-méthaniseur témoigne cependant de la non-effectivité d'un contrat qu'il avait avec une coopérative :

« Nous le seul contrat qu'on avait c'était des issues de céréales, avec la coop du coin, et puis on s'est fait bouffer, un jour ils n'ont plus appelé, et puis c'est des voisins qu'on fait la métha qui ont récupéré le truc, bah j'ai toujours la feuille. » (Agriculteur E)

Quatre agri-méthaniseurs (E, O, S, T) relient l'arrêt de contrats, ou la non assurance de leur renouvellement au développement d'autres méthaniseurs dans la région. La tension sur la ressource naît ainsi de la concurrence entre agri-méthaniseurs :

« Ils sont combien de méthaniseurs que je connais qui sont allés voir s'ils pouvaient [avoir mon contrat]. Y'a la concurrence, il n'y a pas d'amitié entre les méthaniseurs. » (Agriculteur T)

« c'est l'offre et la demande, au début on n'était pas beaucoup, mais à cette heure-ci on est tellement, y'a deux ans chez Amora quand ils nous ont augmenté, ils nous ont envoyé une feuille, comme quoi que ça passait de 28 à 36-38€, juste pour nous prévenir gentiment, qu'au prochain, si on prend pas ça va ailleurs, et pis là y'a des grosses stations qui se sont montées, (16:41) y'a des gens qui sont livreurs de moutarde, et qui sont coopérateurs, donc ils vont récupérer tout en amont. » (Agriculteur E)

La concurrence sur l'accès aux biodéchets industriels apparaît moins forte que celle autour des coproduits parce que la valorisation de biodéchets en méthanisation implique des contraintes de gestion supplémentaires : ces biodéchets doivent faire l'objet d'un pré- ou post-traitement : seuls certains agri-méthaniseurs possédant un hygiéniseur peuvent les traiter. De plus la méthanisation de biodéchets empêche l'usage du digestat en agriculture biologique. Un agriculteur enquêté fait ainsi le choix de se diversifier dans les biodéchets pour essayer d'être moins soumis à la logique de l'offre et de la demande.

« Les ingrédients qu'on achète, on les achète de plus en plus cher, c'est pour ça aussi qu'on va aller vers les biodéchets pour essayer de baisser notre prix de revient, (...) c'est de plus en plus rare de se faire payer pour prendre des choses. » (Agriculteur R)

Ainsi, une première logique qui organise l'allocation des matières méthanogènes aux agri-méthaniseurs est une logique d'allocation des biomasses par le marché aux plus offrants.

Certains agri-méthaniseurs s'inscrivent dans une seconde logique : une logique d'allocation des biomasses fonction de la relation de travail que l'agri-méthaniseur établit avec ces industriels.

1.2.2 Allocation des biomasses méthanogènes selon une logique de stabilité des relations entre acteurs : positionnement des agri-méthaniseurs face aux industriels

D'après nos entretiens avec différents acteurs des biodéchets/coproduits avec lesquels ils travaillent, les agri-méthaniseurs ont plus ou moins de prise sur leur approvisionnement. La stabilité d'une relation commerciale entre agri-méthaniseurs et fournisseurs repose beaucoup sur l'insertion des agriculteurs dans les filières : s'ils ont des relations de travail antérieures avec les industriels, s'ils sont situés à proximité, ou s'ils proposent une relation de travail optimale pour l'industriel (Tableau 32).

« Il faut vraiment avoir le relationnel, pour réussir à les avoir, quelqu'un qui débute, c'est plus délicat, y'a déjà les contrats en place » (Agriculteur O)

Ce bon « relationnel » peut passer par la prise de capital au méthaniseur par un industriel : deux agri-méthaniseurs enquêtés ont ainsi co-investi avec un industriel du déchet qui leur a ouvert l'accès aux marchés du déchet.

« On s'est associé avec la société *****, (...) Ils se sont associés [à 50% avec nous dans la métha] car ils voulaient mieux valoriser leurs sous-produits (...). C'est une société à part, ils font de la collecte de biodéchets » (Agri-méthaniseur)

Ce co-investissement permet de faciliter les apports en biodéchets/coproduits mais certains agriculteurs enquêtés ne l'avaient pas envisagé, car d'après eux ils auraient perdu en revenu (C) ou en liberté de gestion (T).

« Engie au début ils voulaient investir, mais on n'a pas voulu, on voulait rester entre nous, il voulait prendre 5% et nous les revendre au bout de 10 ans, mais on sait pas à quel coût » (Agri-méthaniseur C).

Les relations de travail avec des industriels antérieures à la méthanisation aident aussi deux agri-méthaniseurs à se positionner sur ces marchés. Leur travail antérieur avec des professionnels du déchets leur a permis plus facilement ensuite de travailler avec eux dans la récupération de coproduits/déchets :

« Ça a permis tout ça, d'avoir des relations avec les groupes Suez, Cita, on n'est pas en concurrence avec eux mais on travaille avec eux, un coup de covid et pof leur plateforme tourne plus, ils ont besoin de gens comme nous, on est réactif sur le terrain, le dimanche on va les chercher à la déchèterie. Aujourd'hui on gère certains petits marchés comme [celui d'une communauté de commune*] après y'a biolid, ils obtiennent des contrats, après ils nous les refacturent, on a une commission, c'est pas en direct. » (Agri-méthaniseur)

« on connaissait déjà *industriel du déchet*, et ils avaient commencé à collecter sur la *communauté de commune* (...) mais en fait les bennes à ordures (...) elles venaient dans des caissons, (...) ils déposaient chez nous, on avait aménagé un pré, on avait rendu service, du coup on a un peu un pied chez eux. » (Agri-méthaniseur)

Six agri-méthaniseurs (B, G, P, R, Q, V) mettent en place des stratégies de travail avec des industriels ou revendeurs pour sécuriser les approvisionnements en coproduits/biodéchets. Le Tableau 32 les présente et montre que l'entretien de ces relations constitue une tâche en soi, et impose une adaptation des agri-méthaniseurs aux contraintes de travail des industriels.

Citation	Agriculteurs concernés	Type de relation de travail
« Le fait d'être dispo tout le temps, d'être prêt à réceptionner des produits le week-end ou la nuit, de ne pas refuser les intrants proposés par les commerçants, permet de maintenir l'accès à ces coproduits. Pouvoir les stocker est important pour avoir de la flexibilité. » (Agriculteur R)	G, R, V	Disponibilité le week-end pour récupérer des matières
« Rien n'est jamais acquis à vie mais quand les relations sont bonnes et qu'on est là le samedi s'il y a besoin, les gens en général s'en souviennent, c'est important. Il ne faut jamais dire non. » (Agriculteur V)		

<p>« Nous on n'a rien de vraiment contractualisé pour les sous-produits, mais je vous dis on s'est astreint à en prendre alors qu'on en aurait pas eu besoin (...) contrat tacite de dire je m'engage à en reprendre » (Agriculteur B)</p>	<p>B, R, V</p>	<p>Achat de coproduit régulier lorsque le revendeur en propose</p>
<p>« Comment dire, c'est du relationnel, c'est du relationnel pur et dur, après ces gens ils savent que tu es correct, il y a beaucoup moins de soucis. Quand les chauffeurs ils viennent c'est propre, c'est pas dans la gadoue » (Agriculteur Q)</p> <p>« On essaye de faire en sorte de faire un partenariat, on n'est pas juste l'exutoire, (...) on est beaucoup plus qu'un méthaniseur, on est des gens qui apportent des solutions, aujourd'hui [notre intention de projet avec eux] ça assure une relation de partenariat qui garantit l'apport. C'est beaucoup plus que y'a un camion qui vient, c'est ça le partenariat. Et ça j'essaye de le faire avec l'ensemble de nos fournisseurs, parce qu'on travaille aussi avec nos intermédiaires, (...) quand on peut leur rendre service ou les dépanner, dans la mesure du possible on les dépanne pour qu'il y ait justement un plus » (Agriculteur P)</p>	<p>P, Q</p>	<p>Bonnes relations de travail avec les fournisseurs</p>

Tableau 32 : Verbatim sur les types de relations de travail entre agri-méthaniseurs et industriels fournisseurs de coproduits/biodéchets.

Enfin certains agri-méthaniseurs (F, O, T) mettent en place des coopérations avec d'autres agri-méthaniseurs pour avoir les coproduits /biodéchets à un meilleur prix. Ces agri-méthaniseurs se regroupent pour répondre à des marchés/propositions, ils prennent ainsi les matières directement auprès des industriels, sans passer par un intermédiaire. Cela leur permet de réceptionner de grands volumes de coproduits/biodéchets de ces appels d'offre, à un bien meilleur prix, voire à un prix négatif dans le cas où l'agriculteur touche une redevance de traitement des déchets.

« Nous on s'est regroupés à plusieurs métha là autour, quand on répond à des marchés on est une dizaine de méthaniseurs on répond et si y'a 3000t de produits, on sait répondre aux 3000t, on prend les 3000t, c'est nous qui répondons au marché, tandis que les autres agriculteurs ils font pas comme ça, ils passent par des traders, des revendeurs.» (Agriculteur F)

Enfin, la proximité géographique aux usines de transformations peut aussi avantager l'accès à ces marchés (Q, U, V). Inversement, le développement des méthaniseurs, et la demande croissante sur les territoires peut conduire à des phénomènes de relocalisation de la consommation qui pénalisent les agri-méthaniseurs plus anciens :

« Vu que j'avais effectué mon stage de BTS à *commune*, donc j'ai des bonnes relations avec *industriel du déchet*, eux ils avaient plus de produits, (...) tous les mois, on recevait un semi toutes les 2 semaines seulement depuis peu ils ont construit un autre déconditionneur sur *commune*, maintenant les déchets sont traités la bas, donc on ne reçoit plus non plus cet approvisionnement. » (Agriculteur O)

L'insertion à travers ces différentes stratégies dans le monde de l'agro-industrie ou du déchet est donc un élément essentiel de l'accès à ces intrants méthanogènes de manière régulière. Les agri-méthaniseurs F, G, P, R, Q et V, qui développe des stratégies d'insertion dans la filière des déchets, font d'ailleurs partie de ceux dont l'approvisionnement est le plus constitué de ces intrants (entre 15% et 50%).

1.2.3 *Les nouveaux acteurs industriels qui investissent en méthanisation ont une position privilégiée pour capter certains gisements de biomasse*

Nous avons enquêté trois coopératives agricoles, un directeur d'une usine d'une de ces coopératives, et un groupe de travaux publics et de gestion des déchets qui a investi dans une unité de méthanisation. Les coopératives ont investi ou sont en train d'investir dans des méthaniseurs industriels traitant une part de produits agricoles du territoire. Ces acteurs industriels, respectivement en lien étroit avec le monde agricole et le monde des déchets, ont une position privilégiée pour récupérer des coproduits et des biodéchets.

Les coopératives produisent des coproduits (issues de céréales ou pulpe de betterave), qui s'avèrent intéressants pour la méthanisation. En ce qui concerne la coopérative sucrière, l'évolution du règlement de l'interprofession après 2017 a modifié les conditions de rachat de la betterave par la coopérative : à présent les coopératives achètent les betteraves entières (sucre + pulpes) et elles en revendent la pulpe aux adhérents de la coopérative qui ont un droit de reprise de la pulpe et veulent la racheter. Actuellement dans une usine enquêtée, une partie de ces pulpes sont valorisées en méthanisation (estimée à 10% sur cette usine) ce qui crée des tensions sur l'accès à la pulpe pour d'autres usages. La destination des pulpes non rachetées par les betteraviers dépend de la politique de la coopérative, qui peut évoluer : pour le moment la coopérative privilégie l'alimentation animale, puis la méthanisation en vue de conserver un débouché garanti pour ses pulpes. Elle préfère donc continuer à jouer sur les différents débouchés que sont l'élevage, la méthanisation et la déshydratation plutôt que de privilégier la méthanisation qui pourrait disparaître si les subventions diminuent. Un enjeu également évoqué par plusieurs acteurs en Grand Est est la fragilisation des activités de déshydratation si à l'avenir les coopératives ont moins de pulpe à déshydrater, dans un contexte où elle doit également décarboner l'énergie qu'elle consomme pour la déshydratation.

Les deux coopératives céréalières envisagent, elles, de rapatrier les issues de céréales valorisées actuellement dans d'autres méthaniseurs, ou en alimentation animale :

« On produit (...) quelques milliers de tonnes de poussières, ces issues, (...) aujourd'hui, y'a une destination déjà chez d'autres méthaniseurs, mais un moment ou un autre on les rapatriera, petit à petit, dans les méthaniseurs de la coopérative. » (Coopérative C)

La stratégie des industriels varie donc selon leurs intérêts à se débarrasser des coproduits, où à les valoriser en interne, dans des contextes règlementaires évolutifs concernant à la fois la méthanisation et la décarbonation de leurs activités.

Ces trois coopératives peuvent donc utiliser en méthanisation des coproduits de leur activité, mais elles ont aussi une position dans les chaînes de valeur agroindustrielles qui leur permet d'avoir accès

à d'autres coproduits. Elles apparaissent pouvoir contractualiser des intrants avec des agroindustriels plus facilement que les agri-méthaniseurs enquêtés (citation 1) de par leur insertion dans la filière. Elles peuvent aussi contractualiser sur des durées plus longues (citation 2). Mais de même que pour les agri-méthaniseurs, certaines sources d'approvisionnement demeurent non contractualisables :

*Citation 1 : « on a moins de difficultés, nous, (...) à discuter avec des industriels puisqu'on est industriels. L'agriculteur lambda, si je peux me permettre d'utiliser ce wording, il a quand même des difficultés à trouver la bonne personne, à se faire entendre (...) c'est là où aussi nous on a eu un notre rôle à jouer en tant que coopérative, d'aider les agriculteurs à pouvoir faire signer ces contrats-là, sachant que ce sont les durées qui sont importantes (...). Et quand on s'appelle *nom de coopératives*, on a des durées qui sont assez longues. Quand on s'appelle paysan un, deux, trois, c'est un peu plus compliqué. » (Coopérative A)*

*Citation 2 : « Avec les extérieurs au projet on va dire, plutôt les industriels type *Coopérative*, (...) type Chamtor etc. Là on fait des contrats qui sont très bien ficelés. C'est assez simple, on se dit pendant cinq, dix, quinze ans (...) On essaye d'aller jusqu'au quinze ans du contrat d'achat de biométhane pour essayer de coller au mieux. Ce n'est pas vraiment évident partout donc pour les issues de céréales on arrive à faire douze ans, ce qui est déjà énorme. Sur les pulpes de betteraves, on n'arrive qu'à cinq, sept ans, c'est ça qui est un peu plus compliqué. Et puis ensuite, sur certains spots, c'est annuel. Avec les industriels c'est un peu plus. » (Coopérative A)*

L'industriel du déchet enquêté achète des coproduits et biodéchets pour son méthaniseur via les contacts qu'il a avec de grandes entreprises de traitement des déchets telle que SEDE (filiale de Veolia). Comme pour les agri-méthaniseurs, ces matières sont difficiles à récupérer car il y a une concurrence forte à l'achat :

« On a du recul maintenant, c'est très tendu parce qu'il y a beaucoup de méthaniseurs dans le coin, et les intrants qui produisent le plus, forcément, c'est ceux qui vont coûter le plus à l'achat, tout le monde va sauter dessus, je le veux parce que ça produit et donc le prix il flambe, et là comme on arrive à peu près sur la loi qui va bientôt sortir sur les biodéchets, tout le monde va vouloir grappiller, c'est pour ça que tout le monde installe des hygiéniseurs, des déconditionneurs, nous aussi on va investir là dedans, normalement dans un mois on va recevoir le nôtre, un hygiéniseur avec une cuve chauffée. Mais ouai, sur certains intrants, souvent ce sont des one shot. » (Méthaniseur industriel)

L'industriel a réussi à sécuriser 90% de son approvisionnement, en étant capable de stocker de grands volumes d'intrants, et les 10% restant correspondent à la part « one shot » plus difficile à avoir. La sécurisation passe notamment par une fourniture au sein du monde agricole. L'industriel récupère ainsi un tiers de ses intrants auprès d'agriculteurs apporteurs, via la Chambre d'agriculture qui est en contact avec les agriculteurs.

L'accès aux intrants très méthanogènes est un enjeu pour tous les porteurs de projet de méthanisation. La capacité des porteurs de projets à stabiliser leurs apports est clef dans la rentabilité du méthaniseur (stabilité de la biologie et intrants en quantité suffisante) (cf. chapitre 4). La vague de méthaniseurs qui était en projet en 2021, ou plus généralement une dynamique de massification de la filière, interroge sur les effets de cette compétition sur l'accès aux intrants très méthanogènes : est-ce que les agri-méthaniseurs seront en capacité de préserver leurs

approvisionnement en produits très méthanogènes ? S'ils n'y arrivent pas, quelles seront les conséquences sur la transformation de leurs systèmes agricoles ?

1.3 Différents ancrages de la méthanisation au territoire agricole : enjeux pour la transformation des systèmes agricoles

Les modèles de méthanisation portés par des acteurs industriels (agricoles, du déchet ou de l'énergie) proposent des ancrages de la méthanisation dans le monde agricole différents de ceux analysés en chapitre 4.

1.3.1 Des modèles de méthanisation coopératifs : recruter un agriculteur fournisseur de biomasse

Comme indiqué plus haut (1.2), nous avons enquêté 3 groupes coopératifs implantés dans la Région Grand Est. Ces 3 coopératives, dont 2 sont associées ensemble à un actionnaire du monde de l'énergie, s'intéressent depuis peu à la méthanisation, et envisageaient en 2021 et 2022 de développer en tout une vingtaine de projets de méthanisation. Ces trois coopératives inscrivent le développement de la méthanisation dans la promesse ENR (Coopérative A et B) et les promesses Revenu et Agroécologique (Coopérative C).

*« La méthanisation, c'est vraiment un pan de l'agriculture ou une industrie dans l'agriculture qui va faire que l'on va faire des belles choses. On va faire des belles unités, on va avoir **du gaz vert français** dans les tuyaux et on va trouver une autonomie au niveau de la France au niveau de tout ça. C'est ça un peu la vision que l'on a. » (Coopérative A)*

*« On leur permet d'avoir un débouché, sur **un revenu stable** de 10-15 ans, pour faire face à la volatilité des prix, en ce moment c'est super, le blé est à plus de 200€ la tonne, c'est chouette, par contre il a été à 140-150 pendant des années, donc ça bouge un peu, pour éviter ça on leur dit, mettez un peu de vos productions à la méthanisation. C'est aussi des **opportunités agronomiques**, étant donné qu'on a de plus en plus de pression sur les molécules, on a de moins en moins de solutions de désherbage, par exemple, la méthanisation, avec les CIVE d'hiver, c'est super pour épurer, ça leur permet aussi d'envisager des rotations assez différentes » (Coopérative C)*

Pour la coopérative B, la méthanisation est une voie pour décarboner l'énergie qu'elle consomme.

Ces coopératives communiquent auprès des agriculteurs pour présenter la méthanisation et leurs projets. S'ils s'engagent dans un projet, les agriculteurs deviennent apporteurs de biomasse (cultures ou effluents) à des unités dont ils ne sont pas les gestionnaires. De même que pour les agri-méthaniseurs, le montage de projet est complexe et long administrativement. La coopérative doit démarcher les agriculteurs adhérents plus ou moins réceptifs au projet. Une coopérative cite un projet qui a échoué par manque de candidat. Une autre coopérative a vu 4 de ses projets de méthanisation menacés par l'augmentation du prix du blé début 2022. Cette augmentation a en effet rendu le débouché « méthanisation » moins attractif pour les agriculteurs céréaliers concernés par le projet. Une des coopératives souligne aussi la question de l'inéquité entre ses agriculteurs adhérents : ceux qui ne sont pas à proximité du réseau de gaz ne peuvent participer à ces méthaniseurs financés en partie par la coopérative.

« Un des problèmes de cette méthanisation en coop, c'est qu'on ne peut pas proposer ce débouché à tous les agri de la coop, parce qu'on est tributaire du réseau de gaz, (...) bon en même temps c'est tous les adhérents de la coopérative, qui vont profiter (...) de la contribution qu'on espère positive des méthaniseurs aux comptes de résultat global de la coop » (coopérative C)

Comme pour les projets portés par des agri-méthaniseurs, la présence d'agroindustriels au capital facilite l'accès à des financements :

« Les agriculteurs disent oui, oui, on veut bien 70 %, quand ils vont voir les banques, les banques disent non, vous n'aurez pas 70 %. (...) [nous] on a un aplomb certes très fort avec les banques donc on peut dire qu'on prend 30 ou 100 % et ça ne posera aucun problème. Pour les agriculteurs individuels ou en groupe, c'est un peu plus compliqué. (...) en tout cas on les accompagne pour voir les banques, pour montrer un aplomb, et c'est ça que certains viennent chercher chez [nous] (...) tout de suite ça débloque les fonds par rapport à certaines banques. » (Coopérative A)

Ce modèle coopératif de méthanisation agricole propose aux agriculteurs un statut de fournisseur de biomasse, dans des unités collectives agricoles regroupant entre 10 et 35 agriculteurs. La méthanisation est en quelque sorte un nouveau débouché proposé par la coopérative aux agriculteurs :

« En tant que coopérative agricole, on a comme grande mission de commercialiser les productions végétales, aussi bovins, et ovins moins, on s'est dit que la méthanisation pouvait être un nouveau débouché pour un agriculteur. C'est sûr qu'aujourd'hui, la majorité des projets est menée par les agriculteurs eux-mêmes, mais on s'est dit que ça pouvait être une activité qu'on gère nous-même et qu'on mette à disposition d'agriculteurs de certaines zones, en partant du principe que tous les agriculteurs ne pourraient pas avoir accès à ça d'eux-mêmes, on est parti sur le principe d'une forme de méthanisation collective. » (Coopérative C)

Deux modèles d'actionnariat sont proposés par ces coopératives. Dans le premier, la coopérative investit majoritairement au capital et elle exploite l'unité de méthanisation ; les agriculteurs (ou une société qui les regroupe) sont fournisseurs d'intrants contractualisés (sur des périodes de 7 à 15 ans) auprès de la coopérative et la majorité du travail lié à la méthanisation peut être pris en charge par la coopérative. Dans le second modèle, la coopérative laisse l'actionnariat majoritaire aux agriculteurs. Chaque agriculteur a également un contrat de fourniture d'intrants avec la société de méthanisation.

La contractualisation des intrants (effluents, CIVE ou cultures principales énergétiques) porte sur plusieurs années, mais est assez souple : une des coopératives prévoit un système d'ajustement de l'apport pour que l'agriculteur ait une petite marge de manœuvre :

« Il y a tout un dispositif, qui fait qu'une année à l'autre, il peut y avoir un peu de fluctuation dans les volumes. Bon il faut absolument qu'il soit dans une sorte de tunnel, sur des moyennes glissantes, mais... y'a le droit d'apporter un peu plus une année et un peu moins une autre » (Coopérative C)

Des coopératives agricoles s'intéressent à la méthanisation dans une optique de décarbonation et pour mener une nouvelle activité commerciale. Ces industriels ont une capacité supérieure à investir

et à assurer l’approvisionnement par rapport aux agriculteurs même s’ils rencontrent aussi des difficultés à monter les projets car ils sont tributaires de la participation des agriculteurs. Le paragraphe suivant détaille le modèle de méthanisation coopératif et les nouveaux enjeux agroenvironnementaux et de transformation des systèmes agricoles que cela peut poser aux agriculteurs fournisseurs d’intrants.

1.3.2 Transformation des pratiques des agriculteurs, apporteurs d'intrants aux méthaniseurs coopératifs

Le modèle coopératif limite le travail supplémentaire que la méthanisation entraîne pour l’agriculteur fournisseur :

« Les agriculteurs qui sont inclus dans le projet peuvent avoir un petit rôle, ce n'est pas le problème, notamment sur la partie ensilage de matière. Ça, ce sont des choses qui sont plutôt agricoles, qui sont maîtrisées par les agriculteurs donc ça peut être amené par des agriculteurs. Par contre, une performance d'un outil industriel dans la méthanisation agricole, ça, pour nous en tout cas, notre cœur de métier, c'est de dire c'est industriel, même si ça fait un gros mot beaucoup dans le monde agricole. À chaque fois je me heurte à ça mais je l'explique quand même, c'est industriel parce qu'on est dans des process industriels, on est dans des process qu'il faut maîtriser. » (Coopérative A)

La coopérative C propose de prendre tout ou partie des opérations amont ou aval (ensilage, transports des effluents, prestations d'épandage)

« il y a les gens qui apportent de l'effluent d'élevage, on a essayé de rentrer dans un système le plus simple possible, ou ils ne font plus rien, (...) on vient chez eux, ils chargent leurs effluents, et on leur fait un rendu racines de digestat solide et liquide, en échange, et ils ne payent rien» (Coopérative C)

Le travail d'épandage du digestat est, comme pour les agri-méthaniseurs, considéré comme pesant pour la coopérative, c'est elle qui le prend en charge : *« Avec l'ensilage, l'épandage de liquide c'est infernal. En termes de rythme, on doit être déjà en 2x8 sur la période d'ensilage, on y va même la nuit pendant l'épandage de liquide. C'est un défi logistique sympathique. » (Coopérative C).*

De même que pour les agri-méthaniseurs, le référentiel d'achat d'une culture va être son pouvoir méthanogène :

« si vous faites du maïs, et qu'il vous arrive une misère, vous pouvez livrer 1,2 tonne de sorgho à la place, pour 1 tonne de maïs en contractualisé. Tout tourne autour du pouvoir méthanogène moyen de ces types de matières » (Coopérative C)

Les deux modèles coopératifs envisagent les CIVE comme des cultures contractualisables. Une coopérative évoque cependant que l'arrêté pris en août 2022 qui redéfinit les CIVE a remis en question certains plans d'approvisionnement des projets.

Ce modèle d'un agriculteur fournisseur d'intrants pourrait avoir, sur l'activité agricole des fermes, des conséquences potentiellement différentes de celles documentées dans le chapitre précédent (chapitre 4). Le besoin moindre en travail supplémentaire pour la méthanisation pourrait limiter la concurrence sur le travail, et un travail éreintant, évoqué au chapitre 4. On peut supposer que ce modèle coopératif introduit une souplesse de gestion des cultures a priori moindre puisque les cultures sont davantage

spécifiées dans un contrat ; cependant la référence du pouvoir méthanogène réintroduit une certaine souplesse pour l'agriculteur :

« Il y a tout un dispositif, qui fait qu'une année à l'autre, il peut y avoir un peu de fluctuation dans les volumes. Bon il faut absolument qu'il soit dans une sorte de tunnel, sur des moyennes glissantes, mais... y'a le droit d'apporter un peu plus une année et un peu moins une autre (...) Sur les éleveurs, c'est relativement stable quand même on imagine, les effluents, à moins qu'ils réduisent son cheptel. (...) Par rapport à la saisonnalité dont vous parliez, il n'y a plus d'effluents d'élevage quand ça pâture, après je pense qu'il y a encore les hors-sols qui nous livreront, je sais pas s'il y en a tant que ça, mais après on compense la ration par du végétal. » (Coopérative C)

Comme pour les méthaniseurs portés par les agriculteurs, le besoin d'approvisionner le méthaniseur devrait contribuer à inciter l'agriculteur à préserver les activités qui produisent des biomasses méthanisables. Un retour du carbone et de l'azote au sol selon les souhaits de l'agriculteur pourrait être facilité par la prise en charge de l'épandage par la coopérative. On peut supposer que les bonnes pratiques de gestion de l'N seraient mieux prises en charge si l'industriel a les moyens et choisit d'investir dans le matériel d'épandage optimal. Le retour de digestat est lié à la fourniture d'intrants, le retour de matières organiques et minérales au sol dépend donc des pratiques d'export de l'agriculteur et de la construction du plan d'épandage.

« On souhaite que l'agriculteur ou le groupe d'agriculteurs se mette en ordre de marche en disant moi j'amène un, je souhaite avoir 0,8 de digestat, donc on lie forcément le digestat au contrat d'intrants – là je mélange deux choses, qui sont les intrants et le digestat. Donc l'agriculteur sait que s'il fait 100 tonnes de CIVE, il va récupérer 80 tonnes de digestat. » (Coopérative A)

La coopérative C envisage le fait que les agri-méthaniseurs ne veulent pas reprendre de digestat, dans ce cas il n'y aurait pas de retour de l'azote et du carbone prélevé au sol. Les enjeux de tassement restent dépendants du choix des chantiers.

Ces projets de méthaniseurs, portés par des coopératives, montrent que les enjeux de durabilité doivent aussi être analysés en fonction de l'ancrage des projets au monde agricole. Nous avons rencontré plusieurs modèles en émergence portés par des acteurs divers lors des enquêtes, qui tissent différents liens au monde agricole. Il serait intéressant de creuser la pression à l'approvisionnement sur l'assolement, et les enjeux de gestion du digestat dans ces différents modèles.

1.4 Discussion du sous-chapitre 1 : de nouveaux enjeux agroenvironnementaux sur le territoire ?

Le croisement du chapitre 4 et de ces premiers résultats du chapitre 5 met en évidence des enjeux de transformation des systèmes agricoles territoriaux. Au niveau du territoire, le développement de la méthanisation crée des relations de concurrence ou de coopération entre fermes et entre acteurs de la gestion de la biomasse qui influencent la transformation des systèmes de production et leur durabilité. Par des effets systémiques, au sein du territoire agricole, apparaissent de nouveaux enjeux agricoles et agroenvironnementaux. Nous discutons ici des enjeux auxquels nos analyses apportent des éléments en distinguant (i) les effets dits « d'échelle » produits par les dynamiques d'addition des

effets s'exprimant au niveau des fermes (ii) les effets liés aux dynamiques du territoire agricole et qui pourraient influencer telle ou telle trajectoire de transformation des fermes.

1.4.1 Concurrence sur la biomasse : quelles tendances pour la transformation de l'agriculture ?

Nous observons au niveau du territoire de nouveaux rapports de force entre acteurs agricoles et agro-industriels qui déterminent l'accès et l'usage des biomasses méthanogènes (cultures, coproduits, biodéchets) du territoire. Nous avons montré que la nouvelle valeur économique associée à certaines biomasses valorisables en méthanisation pouvait modifier leurs usages sur le territoire, de même que la demande géographique et la capacité de négociation des acteurs. Nos travaux sont cohérents avec ceux de Marty et al. (2022), menés dans l'Aube (département également en Grand Est), qui montrent que la présence de 20 méthaniseurs à l'échelle d'un département a conduit à des réorganisations fortes des flux de biomasses du territoire.

D'une part, nous avons mis en évidence des concurrences sur les coproduits, entre agri-méthaniseurs ; et avec d'autres porteurs de projets de méthanisation. Cette concurrence a déjà été observée pour certains coproduits dans la littérature grise technique en France (ADEME et al., 2014; Association de recherche technique betteravière, 2021; IDELE, 2022). Selon les coproduits, et au regard du volume total de coproduits, ces conflits d'usage semblent ne concerner que de très faibles volumes (0,1% en Grand Est selon l'Institut de l'Élevage (IDELE 2022)). Pourtant, cette concurrence peut créer des tensions par rapport à des usages antérieurs, mettre à mal le modèle économique de certains méthaniseurs (également identifié par l'Association de recherche technique betteravière (2021)), mais aussi, comme montré dans le chapitre 4, être à l'origine de transformations au niveau des systèmes de production (production de plus de cultures dédiées), pour échapper à cette concurrence. Cette tension sur les coproduits ou biodéchets s'inscrit dans une histoire plus large de l'évolution de leur valorisation, où les industriels ont diminué ou supprimé les redevances déchets, devant l'intérêt croissant pour les gisements méthanogènes (Daniel & Bailly, 2015) ou d'autres valorisations industrielles. Dans nos résultats, l'hypothèse d'une concurrence croissante pour les co-produits, liée à la non régulation de la densité des méthaniseurs, a aussi été proposée par plusieurs des acteurs enquêtés. Ces phénomènes de concurrence entre méthaniseurs ont été documentés dans d'autres pays, comme la Chine (He et al., 2019) ou le Danemark (Raven & Gregersen, 2007). La question de l'adéquation entre disponibilité et demande sur les territoires des cosubstrats est en fait en France un enjeu identifié depuis plus de 10 ans par les pouvoirs publics (Jaujay et al., 2011) : « *Sans cultures énergétiques, la planification du nombre d'installations futures à la ferme apparaîtra rapidement indispensable.* » et par de nombreux acteurs enquêtés. Or, aujourd'hui, la mobilisation du gisement disponible est abordée dans des scénarios théoriques qui supposent l'optimisation de la répartition des méthaniseurs (cf. chapitre 2), alors qu'en réalité les dynamiques de localisation des unités sont le fruit de contraintes foncières, politiques et d'accès aux réseaux d'énergie, et de choix individuels, et non d'une optimisation planifiée de leur localisation. Derrière cet enjeu, il y a la question du dimensionnement des installations en lien avec la ferme ou le territoire. Carrosio (2013) montre justement que la taille des méthaniseurs résulte plus souvent de pressions institutionnelles extérieures aux exploitations que de la considération du contexte local.

D'autre part, nous avons mis en évidence de potentielles concurrences entre acteurs agricoles d'un territoire pour l'accès à des fourrages, les agri-méthaniseurs pouvant proposer à des céréaliers une relation commerciale d'achat de cultures plus avantageuse que des éleveurs. Nous avons observé cela chez un petit nombre des agriculteurs enquêtés, et il n'existe pas encore, à notre connaissance, de

travaux académiques qui documentent les phénomènes empiriques à ce sujet. Une étude produite par le cabinet I-Care et Solagro en 2022 est toutefois concordante avec certains phénomènes documentés : l'étude identifie des tensions locales, sur les fourrages, entre méthanisation et élevage, mais dont l'ampleur est encore peu quantifiée. Ces tensions peuvent prendre différentes formes, au sein du systèmes de production ou entre systèmes de production. Nous retrouvons dans nos données plusieurs « scenarii » de cette étude par exemple le scénario 1 où un céréalier peut vendre sa production à un éleveur ou à un méthaniseur, ou le scénario 3 où un agriculteur peut privilégier la culture de CIVE au détriment de cultures principales. A plus grande échelle, les modélisations¹¹⁸ « biophysiques » de ces concurrences sur les fourrages réalisées en France à la maille cantonale par Solagro (I Care & Consult & Solagro, 2022) et au niveau régional par FranceAgriMer (2022) diffèrent légèrement. L'étude de Solagro tend à montrer une très légère augmentation des risques de tensions dans certaines régions, mais sans concurrence majeure. L'étude FranceAgriMer différencie un scénario avec peu de tensions intrarégionales si le pourcentage de cultures énergétiques dédiées demeure à 5% des approvisionnements, tandis que la concurrence serait potentiellement plus forte avec les usages en alimentation animale si ce taux atteint les 15%. Un enjeu également soulevé par FranceAgriMer est la tension possible, les années de sécheresse, entre divers débouchés de la biomasse. Par rapport à ces travaux théoriques, nos résultats et ceux de l'étude I-Care et Solagro montrent que l'optimisation théorique de l'usage des biomasses sur un territoire ne se retrouve pas toujours dans les jeux d'acteurs locaux. Pour appréhender les trajectoires d'évolution ou de transition des usages, il est nécessaire d'investiguer les effets possibles de nouveaux rapports de force sur les petits territoires agricoles, et les déterminants réels des usages. L'étude des rapports de force est d'autant plus importante que nous avons montré que de nouveaux acteurs industriels de l'énergie, des déchets, ou de l'agroalimentaire se positionnent également sur le marché des biomasses méthanogènes et ont un pouvoir de négociation des biomasses supérieur à celui des agri-méthaniseurs. Or, la pression accrue sur les biomasses méthanogènes « industrielles » favorise la méthanisation de cultures (chapitre 4), ce qui par transitivité augmente les risques de concurrence sur la biomasse agricole. Les travaux de Grouiez et al. (2020) pointent également cette tendance, en lien avec le maintien d'une rentabilité des méthaniseurs dans un contexte concurrentiel accru sur la biomasse.

Ces phénomènes posent donc la question des effets, sur la transformation des systèmes agricoles, d'une concurrence locale croissante pour les intrants méthanogènes. Au regard des résultats du chapitre 4, on pourrait supposer que les fermes qui parviennent à stabiliser leurs apports en intrants extérieurs (par de bonnes relations de travail) peuvent continuer à choisir ou non d'adapter leur assolement pour produire des CIVE/cultures énergétiques. Cependant, l'arrivée, dans la filière, d'acteurs industriels pose la question de la capacité des agri-méthaniseurs à continuer à s'approvisionner en intrants extérieurs. Les fermes qui perdent l'accès à ces produits méthanogènes vont devoir adapter leurs assolements pour approvisionner le méthaniseur, ce qui peut favoriser les trajectoires de spécialisation des élevages, ou d'intensification de l'usage des sols, observées en chapitre 4. Ce spectre d'une évolution vers le modèle « allemand », en lien avec une concurrence accrue entre méthaniseurs, a aussi été identifié par Grouiez et al. (2020). L'impossibilité d'un approvisionnement extérieur (cultures ou CIVE) pourrait également remettre en cause les modèles de deux des trois méthaniseurs « en AB » décrits dans le chapitre 4. A l'opposé, la sécurisation d'apports extérieurs pourrait permettre aux agriculteurs de mieux penser l'optimisation de leurs pratiques, voire

¹¹⁸ Ces travaux prennent en compte les projets en cours de montage en France

une transition vers une trajectoire plus durable. Par ailleurs la législation française d'août 2022¹¹⁹ a redéfini juridiquement la CIVE afin de limiter le développement des « fausses-CIVE ». Cette mesure va a priori restreindre la possibilité des agriculteurs de faire des CIVE, donc pourrait davantage poser la question de la concurrence d'usage des cultures au sein de la ferme. Ces tensions sur la biomasse contribuent à valoriser toute biomasse méthanogène : le début de vente d'intercultures entre acteurs laisse présager un développement des CIVE hors des fermes des agri-méthaniseurs (si elle est rentable dans le cadre de la nouvelle législation) : les effets positifs (couverture des sols, stockage de carbone) comme négatifs (excédent d'azote, concurrence sur l'eau) pourraient se propager au-delà des fermes des agri-méthaniseurs.

Nos travaux montrent donc que la hiérarchie des usages prônée dans les scénarios de développement de la méthanisation ne se retrouve pas dans les dynamiques sociotechniques locales actuelles, ce qui peut déstabiliser certains systèmes agricoles. Malgré l'orientation territoriale de notre analyse, il n'a pas été possible de donner une mesure exacte du conflit alimentation-énergie. Mais nous montrons qu'au-delà des approches quantitatives qui documentent la possibilité biophysique d'usages hiérarchisés et non concurrents, il est nécessaire de mieux comprendre la faisabilité sociotechnique et sociopolitique de la hiérarchie des usages généralement supposée dans les scénarios. Ne pas les prendre en compte risquerait d'accroître, au sein des fermes et entre fermes, des concurrences entre ateliers agricoles et énergie.

1.4.2 Flux de biomasse et de digestat sur le territoire : retour au sol durable des flux carbone et minéraux

Selon le modèle de méthanisation et la territorialité des flux, les enjeux agronomiques du retour au sol peuvent varier sur le territoire. En Allemagne, la méthanisation a contribué aux surplus azotés des territoires en lien avec l'augmentation de cultures énergétiques fertilisées (Häußermann et al., 2020). Ou, comme identifié dans notre enquête, la méthanisation peut aussi proposer de nouvelles formes de gestion territoriale de l'azote, favorisant la reconnexion entre cultures et élevage. Notre analyse des modalités d'échange de la biomasse montre que les dynamiques de retour au sol du carbone et de l'azote sont liées à l'adaptation des agri-méthaniseurs à diverses contraintes d'épandage (chapitre 4), mais aussi aux nouveaux schémas de gestion des intrants et du digestat qui se mettent en place sur les micro-territoires autour des méthaniseurs. En croisant les résultats du chapitre 4 et du chapitre 5, se dessinent les logiques de gestion suivantes :

- L'intérêt à transporter, sur de longues distances, les biomasses, dépend de leur potentiel méthanogène (donc de leur coût) : plus une biomasse est méthanogène, plus l'agri-méthaniseur/le « trader » d'intrants envisagera de la déplacer.
- Un agri-méthaniseur n'a pas d'intérêt à épandre du digestat au-delà d'une certaine distance (entre 5-15km selon les agri-méthaniseurs) de son méthaniseur : Le coût du transport du digestat (pneu, fuel, main d'œuvre) peut retirer beaucoup d'intérêt à son épandage. Des facteurs comme la pente ou la nature du sol (donc la portance) empêchent aussi le retour de digestat sur certaines parcelles.
- L'approvisionnement du méthaniseur via des coproduits agricoles implique le plus souvent des échanges intrants-digestat. Le retour au sol sur les surfaces prélevées dépendra alors de la proximité de ces surfaces (cf. logique précédente).

¹¹⁹ Décret n° 2022-1120 du 4 août 2022 relatif aux cultures utilisées pour la production de biogaz et de biocarburants 2022

- La redistribution sur le territoire de l'azote importé du territoire agricole dépendra des « règles » de valorisation du digestat qui s'établissent entre agri-méthaniseurs et agri-repreneur de digestat. Celles-ci dépendent du besoin des agri-méthaniseurs en surface d'épandage (manque ou surplus de digestat sur leur ferme et sur le territoire) et des intérêts des agriculteurs du territoire à reprendre du digestat (prix de l'azote minéral, disponibilité d'azote organique sur le territoire pour les agriculteurs bio, effets observés du digestat sur les cultures).

Les schémas empiriques d'épandage du digestat apparaissent donc assez structurés par le matériel d'épandage, la distance d'épandage, l'attractivité du digestat sur un territoire. Ces logiques de gestion du digestat soulèvent des enjeux de redistribution des minéraux (et du carbone) sur le territoire : si des intrants sont prélevés à des distances non épandables, le retour au sol n'aura pas lieu ; selon les conditions d'épandage, le digestat sera plus ou moins bien valorisé sur le territoire ; selon l'attractivité du digestat sur le territoire, la redistribution de l'azote et du phosphore sera plus ou moins aisée.

Dans la littérature, à notre connaissance, peu de travaux empiriques documentent les nouveaux enjeux agronomiques territoriaux du traitement des substrats par la méthanisation. Les travaux qui analysent le méthaniseur en tant que brique de circularité du territoire se concentrent surtout sur les enjeux d'approvisionnement : ils regardent, par exemple, le potentiel théorique de substitution d'azote minéral sur les fermes en lien avec les substrats traités (Chávez-Fuentes et al., 2017) ou se concentrent sur les sources de substrat disponibles pour la méthanisation (Michau et al., 2019). Nos travaux viennent donc nourrir une littérature naissante sur les nouveaux enjeux agronomiques territoriaux, en identifiant l'émergence de nouvelles « règles » de gestion des flux de substrats et de digestat au niveau du territoire. La stabilisation de ces pratiques est déterminante pour le stockage de carbone dans le sol ou la redistribution de l'azote sur le territoire. Dans la lignée de nos travaux, Michau et al. (2019) montrent, au niveau du micro-territoire, que le raisonnement des pratiques de gestion du digestat à partir de l'azote seul peut conduire à des phénomènes d'excédents structurels de phosphore sur les terres épandues. Les travaux de Colas et al. (Chambre régionale d'agriculture Grand Est, 2022), en cours en France montrent aussi que les pratiques de prélèvement et de retour au sol analysées en lien avec les rotations peuvent conduire sur le long terme à de potentiels déficits/excédents structurels sur des parcelles mobilisées pour la méthanisation. Idéalement, une gestion territoriale optimisée du digestat devrait intégrer dans le plan d'épandage¹²⁰ les déterminants des pratiques. Il serait intéressant d'étudier les logiques de gestion de plans d'épandage complexes qui intègrent différentes fermes, pour voir si la prise en compte des contraintes des différentes fermes améliorent ou contraignent les bonnes pratiques d'épandage : est-ce que les agri-méthaniseurs peuvent parvenir à une gestion optimisée (en substitution de l'azote minéral, sans tassement) sur toutes les surfaces du plan d'épandage ? ou bien est-ce que les contraintes d'un plan complexe favorisent des épandages accrus sur les prairies ? Comme évoqué en d), on peut supposer que des risques et bénéfices de la fertilisation au digestat, identifiés au chapitre 4, sont étendus aux surfaces du plan d'épandage.

¹²⁰ L'autrice n'a pas consulté de plan d'épandage des agri-méthaniseurs enquêtés : il faudrait étudier si ces plans d'épandage sont conçus pour intégrer ces contraintes.

1.4.3 Biodiversité

Un dernier enjeu encore peu exploré dans la littérature, et soulevé indirectement par nos travaux, est celui de la biodiversité, au niveau des paysages. Au regard des objectifs de développement de l'injection, de l'évolution récente de la réglementation des CIVE, et de l'importance des intrants issus de cultures dans les scénarios de développement du biogaz (Région Grand Est, 2021), l'effet de la méthanisation sur les paysages doit être suivi de près. Il serait intéressant de quantifier les effets de la méthanisation au niveau des prairies permanentes (réserves de biodiversité) comme cela a été fait en Allemagne (Lüker-Jans et al., 2017). En effet, nous montrons dans le chapitre 4, que coexistent pour les prairies des logiques de retournement comme des logiques de valorisation partielle en méthanisation. De plus, nos résultats suggèrent que la fertilisation fréquente des prairies permanentes des agri-méthaniseurs pourrait contribuer à diminuer la biodiversité des prairies. Or, nous venons de montrer dans ce chapitre 5 que la fertilisation au digestat concerne aussi des surfaces agricoles d'agriculteurs voisins. Il serait important de mieux caractériser les types de surfaces concernées par les plans d'épandage, qui s'étendent sur le proche territoire autour des méthaniseurs.

Ainsi, les nouvelles dynamiques de gestion des biomasses (entrantes ou sortantes) des méthaniseurs ont des effets sur les systèmes agricoles et l'agroenvironnement, au-delà des seules fermes des agri-méthaniseurs. Des effets induits territoriaux complexes sont ainsi pressentis, mais ils sont encore peu documentés. Ces nouveaux enjeux territoriaux nécessiteront davantage de recherches pour en analyser l'ampleur en agriculture, dans les différentes filières, ainsi que sur l'agroenvironnement. Les analyses menées au niveau des régions en Allemagne (Lüker-Jans et al., 2017), en République Tchèque (Martinát et al., 2013) ou en Italie (Carrosio, 2013a) montrent des transformations variables de l'agriculture selon les territoires agricoles, ces spécificités territoriales sont un terrain de recherche à approfondir en France.

2 La gestion effective indirecte : une alliance objective de 4 « familles » d'acteurs autour de 2 enjeux, pour développer la méthanisation en Grand Est

Ce second sous-chapitre analyse le jeu des acteurs qui contribue au développement de la méthanisation en Grand Est et influence la gestion *directe* par les porteurs de projet. Nous montrons que le développement de la méthanisation ces dix dernières années repose sur la coordination croissante entre quatre principales familles d'acteurs : la Région, l'ADEME, les professionnels du gaz (GRDF en particulier) et les professionnels agricoles. Ce sous-chapitre retrace la construction et le renforcement de leurs actions coordonnées, dans le développement de la méthanisation en Grand Est.

2.1 Conseil régional, professionnels du gaz et professionnels agricoles : intérêts convergents pour l'élaboration d'une politique régionale de méthanisation ambitieuse

2.1.1 *La Chambre d'agriculture régionale en soutien à la méthanisation : portage des promesses ENR et promesses Revenu*

Historiquement, en Grand Est ce sont plutôt des acteurs agricoles pionniers qui ont développé la méthanisation, sans être soutenus par les institutions agricoles du territoire. L'intérêt de la méthanisation a conduit certains agriculteurs à se rapprocher des Chambres d'Agriculture autour des années 2010 :

« Au départ y'a 12 ans, c'était une discussion avec des agriculteurs du secteur sur lequel je travaillais, qui me disent tiens j'ai vu un article je sais plus si c'était la France agricole, en gros "y'en a qui recycle de la merde pour faire de l'énergie", on a une maison de retraite dans le village, ce serait bien de se servir de la merde pour chauffer les lieux. C'était un peu ça l'idée de départ, je me suis dit il y a ptet quelque chose à creuser. C'est comme ça que je suis allé vers le sujet. (...), on ne savait pas très bien (...) comment accompagner au départ, on a rédigé des conventions de travail avec des agri sur l'animation du collectif : petit à petit quand on a vu ce qu'il y avait à réaliser, on s'est dit y'a des parties qu'on pourra faire, d'autres pas, progressivement on a monté en compétence, avec les équipes de de la chambre. Moi je faisais l'étude de faisabilité, on a recruté un autre collègue pour les procédures ICPE¹²¹ et les agréments sanitaires, d'autres collègues pour faire les permis de construire.» (Conseiller de Chambre d'agriculture - 2021)

La Chambre d'agriculture des Vosges a ainsi été la première chambre départementale à progressivement construire une expertise pour accompagner les porteurs de projets. A l'époque, l'expertise industrielle sur la méthanisation se trouvait chez des acteurs de l'énergie et du déchet.

« J'ai eu la chance d'avoir une direction et un président qui m'ont donné carte blanche pour aller emmener les agriculteurs en visite, et j'ai pu participer à des formations à l'époque organisée par l'ATEE Club biogaz. Des formations, mais pas que la méthanisation agricole, c'est plutôt même la méthanisation industrielle : en faisant ces formations, j'ai appris beaucoup sur le principe de la métha, avec des acteurs de qualité, sur plein de domaines, ça m'a permis aussi d'apprendre dans quels contextes on évoluait, celui du déchet, celui de l'énergie, et on venait apporter de l'agricole là-dedans » (Conseiller de Chambre d'agriculture)

Au fur et à mesure du développement de la filière, la Chambre d'agriculture régionale s'est positionnée politiquement sur le sujet. La méthanisation s'inscrit pour la Chambre régionale d'agriculture du Grand Est (CRAGE) dans une politique plus large de développement d'une bioéconomie créatrice de valeur en agriculture (Chambre d'agriculture du Grand Est, 2021) :

« Nous [le Grand Est] sommes LE territoire de la bioéconomie (...) le président de la chambre régionale d'agriculture, Maximin Charpentier, il est à fond la dessus. » (Chercheur académique).

¹²¹ Voir Encadré 5 au chapitre 3

Le président de la chambre régionale d'agriculture (depuis 2019) est d'ailleurs également président du pôle d'innovation Terrasolis depuis 2014 et de Terrasolis Energy¹²² depuis janvier 2021. Terrasolis s'est donné pour objectif d'atteindre la neutralité carbone en agriculture en 2050 en développant des activités créatrices de valeur en agriculture.

« L'objectif du pôle [Terrasolis] est de démontrer que l'agriculture est une activité économique durable et résiliente, génératrice de valeur ajoutée pour les agriculteurs et les territoires permettant d'apporter les ressources nécessaires afin de répondre aux besoins et aux enjeux de la société. » (Bioeconomy for change, 2020)

Dans cette vision, l'agriculture fera face aux défis énergétiques, climatiques et économiques si elle parvient à maintenir un haut niveau de production, à réduire l'empreinte carbone de ses productions et à contribuer à la production d'énergie (promesse ENR/Climat). La méthanisation est une technologie qui pourrait permettre de relever conjointement ses défis à travers ses apports agronomiques (production de digestat, développement des CIVE) et grâce au nouveau revenu agricole qu'elle génère (Promesses Agroécologique et Revenu).

Comme le partage toutefois un agent d'une Chambre d'agriculture départementale, ainsi qu'un cadre de GRDF, la baisse des tarifs de soutien à l'injection en 2020 a diminué l'intérêt des chambres du Grand Est pour cette énergie renouvelable. Le service Energie des chambres du Grand Est s'intéresse ainsi aux énergies renouvelables pour lesquelles la conjoncture semble favorable, en cohérence avec les promesses Revenu et ENR.

« Les Chambres d'agriculture sont dans le même état d'esprit, (...) ils doivent aussi rentrer des commandes, la méthanisation est difficile en ce moment donc ils l'ont mis entre parenthèse, ils se focalisent sur le [photovoltaïque]. Comme ça s'arrête ils passent à autres choses en termes d'accompagnement des exploitations agricoles, ils leur proposent autre chose. » (Cadre GRDF)

*« Oui on peut revoir des projets un peu plus sur (...) les zones d'élevage, (...) à part cela, effectivement, on va avoir zéro projet dans les zones céréalières quoi. **Ça va changer votre activité, vous ?** Oui tout à fait, après il y a d'autres choses à venir : on commence à parler de méthanation, d'hydrogène, de photovoltaïque, aussi on a pas mal d'activités pour 2021-2022, je pense » (Conseiller de Chambre d'agriculture)*

2.1.2 Enjeu de développement de l'injection pour GRDF : portage de la promesse ENR

Comme montré en chapitre 3, l'entreprise GRDF joue un rôle important dans le portage de la promesse ENR au niveau national. C'est cette promesse qui est structurante de la construction de la politique publique du biogaz, et qui aboutit, entre 2011 et 2020 à un cadre de soutien favorable à l'injection. En effet, dans un contexte de décarbonation des activités économiques, les acteurs gaziers ont des intérêts économiques forts à développer un gaz « décarboné », alternative au gaz naturel, pour pouvoir poursuivre leurs activités commerciales. Dans le cadre de cette politique énergétique, GRDF signe tous les 5 ans un Contrat de Service Public qui fixe les grands engagements de GRDF parmi lesquels : sécurité d'approvisionnement en gaz, sécurité du réseau, développement équilibré des territoires, transition énergétique, innovation recherche et développement.

¹²² Filiale « Énergies renouvelables » de Terrasolis, qui travaille sur des « solutions de production et de valorisation d'énergies renouvelables à partir de ressources locales pour les acteurs du territoire » (Production d'énergies renouvelables - Terrasolis ENERGY, La filière énergies renouvelables, s. d.)

Au niveau de la région Grand Est, l'acteur principal du secteur gazier, qui promeut le développement de la méthanisation auprès des acteurs du territoire, est GRDF. Gaz de Strasbourg est un autre distributeur de gaz du territoire présent dans 120 communes autour de Strasbourg. Il n'a pas un poids économique ni une implantation territoriale aussi considérables que l'entreprise GRDF, mais travaille aussi au développement de la méthanisation. GRTgaz, réseau de transport de gaz, est également présent sur le territoire, mais apparaît moins porter la promesse ENR de la méthanisation.

Au niveau du Grand Est, c'est la promesse ENR qui apparaît structurante de l'action de GRDF. Depuis 2017-2018 l'entreprise travaille en Grand Est au maintien et au développement de son activité de distribution de gaz, sur les zones où elle possède un réseau de gaz. Les équipes de GRDF s'impliquent à divers niveaux dans le soutien au développement de la filière : dans la construction de la politique régionale du biogaz (2.2.1) et dans le montage de projet sur les territoires (2.2.3).

2.1.3 *La Région Grand Est : une filière de bioéconomie à la croisée des promesses ENR et Revenu pour développer l'économie du territoire*

La place de la méthanisation en Grand Est s'inscrit dans une histoire régionale plus large où la bioéconomie est un moteur de développement, d'innovation et de soutien économique en agriculture (Région Grand Est, 2020). En Grand Est, le Conseil régional¹²³ soutient la bioéconomie depuis une dizaine d'années, comme l'indiquent ses documents d'orientation. La méthanisation s'inscrit dans ce champ de la bioéconomie, en proposant une alternative énergétique décarbonée. Les trois Schémas régionaux Climat Air Energie¹²⁴ des anciennes régions (Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine) définissent déjà la méthanisation comme priorité (Climaxion, s. d.). Ces dernières années, dans les prises de paroles publiques et dans les documents de la politique de méthanisation, la Région met en avant le rôle d'avenir de la méthanisation sous l'égide des promesses ENR et Revenu agricole :

*« Je viens de le démontrer et je crois que [le développement de la méthanisation] s'inscrit finalement dans une logique qui est de faire d'une pierre 3 coups. 1/ **verdir notre mix énergétique**, 2/ il faut réduire cette dépendance énergétique vis-à-vis des pays extérieurs à l'Union européenne et 3/ et c'est important pour leur quotidien, c'est redonner du pouvoir de vivre aux agriculteurs, à la fois dans **une diversification de leur production** vers une agriculture nourricière qui se renouvelle et vers une agriculture qui est aujourd'hui en capacité de fournir également de l'énergie. »* (Jean Rottner, Président du Conseil Régional, retranscription issue d'un podcast d'ACT4gaz - 2022) (Act4gaz & GRDF, 2022)

En 2021, plusieurs élus et vice-présidents du Conseil régional sont mobilisés sur la méthanisation, au titre de la bioéconomie, de l'agriculture, de la transition énergétique et écologique. Son développement rapide ces dernières années en fait une des filières « pionnières » du Grand Est et une fierté régionale.

« La région Grand Est s'est engagée vraiment de manière forte dans le développement de la production de biogaz vers la méthanisation. C'est un engagement durable. Je pense franchement en toute modestie que nous avons peut-être un petit coup d'avance puisque nous sommes probablement la première région de France en termes de production, c'est une stratégie affirmée » (Jean Rottner, Président du Conseil Régional, interview d'ACT4gaz - 2022)

¹²³ Avant la loi portant sur la Nouvelle organisation territoriale de la République promulguée le 7 août 2015, la région Grand Est était divisée en 3 régions

¹²⁴ La loi Notre de 2015 intègre le SRCAE dans le SRADDET

2.2 Une politique régionale construite et mise en œuvre en lien avec un écosystème d'acteurs fédéré par la région

Dans la suite de la loi POPE (Loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique) du 13 juillet 2005 les collectivités territoriales ont acquis un rôle clef dans la conduite des politiques énergétiques. L'*Encadré 8* présente les documents cadre de la politique de méthanisation en Grand Est qui résulte des formes de coordination documentées ci-dessus. La *Figure 39* en annexe détaille l'articulation de ces documents cadre avec des documents de planification à l'échelle nationale, évoqués en chapitre 2 et 3 (Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse, PPE etc.)

Présentation des différents documents cadre de la politique du biogaz en Grand Est

Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) est issue de la loi NOTRe (Nouvelle Organisation Territoriale de la République) du 07 août 2015. C'est une stratégie à horizon 2050, pour l'aménagement et le développement durable d'une région, proposée par la Région et établie en concertation avec les acteurs du territoire. Le SRADDET fixe des objectifs dans les onze domaines rappelés dans l'article L. 4251-1 du code général des collectivités territoriales : « *Ce schéma fixe les objectifs de moyen et long termes sur le territoire de la région en matière d'équilibre et d'égalité des territoires, d'implantation des différentes infrastructures d'intérêt régional, de désenclavement des territoires ruraux, d'habitat, de gestion économe de l'espace, d'intermodalité et de développement des transports, de maîtrise et de valorisation de l'énergie, de lutte contre le changement climatique, de pollution de l'air, de protection et de restauration de la biodiversité, de prévention et de gestion des déchets.* »

Les Contrats de Plan Etat-Région (CPER) sont des « *outils de développement entre l'Etat et les régions* », qui permettent de coordonner des « *financements de projets structurants pour l'aménagement du territoire* » (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires & Ministère de la Transition énergétique, 2022) . Le dernier CPER du Grand Est a été signé en 2021 entre la région et l'Etat et comporte un volet transition écologique qui dessine les lignes d'une politique régionale sur l'énergie.

Le Schéma Régional Biomasse (SRB) découle de la mise en œuvre de la **Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (SNMB)** (décret du 19 août 2016). A travers le SRB, elle se décline régionalement dans le but de « [déterminer] des orientations et actions à mettre en œuvre à l'échelle régionale ou infra-régionale pour favoriser le développement des filières de production et de valorisation de la biomasse susceptible d'avoir un usage énergétique, en veillant au respect de la multifonctionnalité des espaces naturels » (Commission régionale de la Forêt et du Bois 2019). L'élaboration du SRB est de la compétence partagée de l'État (Préfet) et du Conseil régional (Président du Conseil Régional). Le SRB est révisé tous les 6 ans. La démarche de construction du SRB est pilotée par la région et la DREAL (mission planification). Le SRB est soumis à évaluation environnementale, conformément à l'article L 122-4 du Code de l'Environnement. Il doit donc présenter, en plus d'une analyse de la situation et des objectifs, une évaluation environnementale. La région Grand Est a construit, en lien avec le Schéma Régional Biomasse (SRB), une **Stratégie régionale méthanisation** publiée en 2020.

Encadré 8 : Documents cadre de la politique du biogaz en Grand Est.

Source : French Government, 2018; Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires & Ministère de la Transition énergétique, 2022.

En Grand Est, la politique de méthanisation se décline à travers le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET), le contrat de Plan Etat Région (CPER), le Schéma régional biomasse (SRB) et la Stratégie régionale méthanisation. Ces documents territoriaux découlent d'un cadre national évolutif mais favorable à la méthanisation jusqu'en 2020 (cf. Chapitre 3 et Encadré 8), ainsi que des dynamiques d'acteurs du territoire qui ont contribué à le construire. Ce premier paragraphe présente les dynamiques d'acteurs qui ont participé à l'élaboration du Schéma Régional Biomasse et de la Stratégie régionale méthanisation, documents au fondement de la politique de développement du biogaz.

2.2.1 Une politique régionale pilotée par la Région, l'ADEME et la DREAL construite en lien avec les professionnels du gaz et de l'agriculture

La méthanisation constitue dans le Contrat de Plan Etat-région (CPER) un élément de la stratégie de soutien à la décarbonation de l'agriculture (Promesse ENR) et à une économie circulaire (promesse Déchet). Le volet transition énergétique du Contrat de plan Etat Région est porté par la Région et l'ADEME à travers le programme Climaxion initié en 2015.

« Inscrite dans plusieurs Contrats de Plan successifs entre la Région et l'État, la transition écologique et énergétique figure parmi leurs grandes priorités de l'ADEME et de la Région Grand Est. Cette transition doit concourir à atteindre les objectifs du Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) qui renforce dans la durée les orientations déjà engagées en se fixant l'objectif de devenir une région à énergie positive et bas carbone à 2050. » (Programme Climaxion - Climaxion et al., 2018)

Le Programme Climaxion est clef dans le développement de la méthanisation car il organise la mise en œuvre et le suivi du volet transition énergétique du Contrat de Plan Etat-Région. Le comité stratégique rassemble des acteurs publics (dont la Région, l'Etat, l'ADEME, la BPI, la DDT, les Agences de l'eau) et mène des concertations avec des acteurs (agricoles, de l'énergie) du territoire pour réaliser sa mission de Planification. Initié en 2015 pour 5 ans, Climaxion est reconduit pour 5 nouvelles années en 2020. Le programme Climaxion vise aussi les objectifs fixés dans le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET). L'élaboration du SRADDET est initiée début 2017, et est portée par la Région (Encadré 8). Elle est conduite en concertation avec les acteurs du territoire (énergie, transport, collectivités locales, etc.) pour aboutir fin 2018 à un premier projet. Adopté sous la présidence de Jean Rottner¹²⁵ fin 2019, puis approuvé par arrêté du préfet début 2020, le SRADDET propose un développement intense de la méthanisation. Elle y est caractérisée par sa multifonctionnalité : Promesse Déchets, Promesse ENR et Promesse Revenu – la promesse Revenu s'élargit à une promesse de soutien à l'économie des territoires (emploi, création de valeur, cohésion des territoires ruraux).

« le scénario retenu projette un très fort développement de la filière biogaz (issue de la méthanisation aujourd'hui, puis de la gazéification et méthanation¹²⁶ à plus long terme) qui devient la première filière de production d'énergie renouvelable régionale en 2050. Cette filière dispose en effet d'un potentiel très élevé et permet de concilier les enjeux de développement

¹²⁵ Président du Conseil régional Grand Est

¹²⁶ « La méthanation consiste à produire du méthane en mettant en contact du dioxyde de carbone et de l'hydrogène via le principe de l'électrolyse. » (Gaz tarifs réglementés, s. d.)

des énergies renouvelables et de récupération, de l'économie agricole et du développement rural ainsi que des mobilités » (SRADDET)

En novembre 2017, la Région met en place un Comité technique de pilotage de la filière méthanisation en Grand Est. La Région le copilote avec l'ADEME et le service « Transition énergétique, climat, construction, logement et aménagement » (TECCLA) de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL). Ce comité régional Méthanisation est animé par la Région Grand Est et se réunit une à deux fois par an (Berger, 2018). Il crée des groupes de travail (GT) en 2018 pour dépasser ce que le comité identifie comme des freins au développement de la filière : acceptabilité, financement, préjugés sur la méthanisation et manque de connaissance nécessaire au développement. Ce comité rassemble les acteurs de la filière et permet des échanges sur les actualités de la filière (technique, économique et politiques). Par exemple en juillet 2018, le comité organise une conférence régionale sur la méthanisation où la Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DRAAF), la DREAL, GRDF ou les Chambres d'agriculture présentent des actualités et bilans du développement de la filière. Certains groupes de travail se retrouvent entre les réunions de comité annuel pour travailler sur chaque thématique comme le GT Financement ou le GT Acceptabilité.

L'élaboration du Schéma Régional Biomasse (SRB) s'étend de novembre 2018 à sa publication fin 2020. Il a pour objet de soutenir le développement des bioénergies dans de bonnes conditions environnementales en tenant compte des autres usages de la biomasse. L'élaboration du SRB est pilotée par la région et la DREAL, dans le cadre de sa mission planification. Le COPIL élargi comprend les Elus régionaux, les représentants du préfet (DREAL, SGARE¹²⁷, DRAAF), l'ADEME, Fibois Grand Est, la Chambre d'agriculture, la FNADE, AMORCE, FEDEREC, l'ATEE et FNE. Le COPIL valide les orientations et choix stratégiques du SRB tandis que c'est le secrétariat technique, constitué de la Région, de la DREAL, de la DRAAF et de l'ADEME, qui pilote les réflexions, et fait des propositions de documents de travail (DREAL Grand Est & Région Grand Est, 2021; Région Grand Est, 2019a). L'assistance à maîtrise d'ouvrage sur le volet méthanisation est réalisé par l'entreprise associative Solagro, la Chambre d'agriculture participant aussi à l'état des lieux du gisements (Inddigo et al., 2019). La région Grand Est a particulièrement mis l'accent sur la méthanisation dans son SRB¹²⁸. Il s'appuie, pour ses scénarii de développement, sur l'étude ADEME, GrDF, GRT Gaz 2017, « *Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?* » (scénario du forum prospectif national analysé en chapitre 2) . Considérant un gisement complété de plus de 10 TWh /an d'ici 2030, les décideurs régionaux ont choisi un scénario médian de développement en prenant l'hypothèse d'une Programmation Pluriannuelle de l'Energie restrictive sur le biogaz (Région Grand Est, 2021). Le SRB prévoit ainsi 264 nouvelles unités en 10 ans, produisant 3,1 TWh /an d'énergie secondaire, pour un investissement total de 1 253 millions d'€ (Climaxion et al., 2020). Le document d'orientations du SRB propose un plan d'action pour soutenir le développement d'une méthanisation durable (orientation n°3). L'orientation se décompose en quatre axes soutenus par 21 actions (Figure 34). Les quatre axes sont 1/ Accompagner les porteurs de projets, 2/ Sécuriser les intrants en conservant des pratiques raisonnées, 3/ Améliorer la gestion des digestats et 4/ Maximiser la création de valeur sur le territoire. Le SRB désigne pour chaque action un pilote et des partenaires chargés de sa mise en œuvre. On retrouve les acteurs clefs régionaux de la filière :

¹²⁷ SGARE : Secrétaire Général pour les Affaires Régionales et Européennes, Le Secrétaire Général est le collaborateur direct du Préfet de région.

¹²⁸ Le SRB a été construit en faisant appel à un groupement INDDIGO-SOLAGRO-Biomasse Conseil et en menant une étude complémentaire sur la méthanisation

- DREAL : pilote des actions BM1, BM8, BM11 ;
- Région : pilote des actions BM1, BM4, BM11, BM16, BM19, BM20 ;
- ADEME : pilote des actions BM1, BM11, BM16, BM20;
- GRDF et GRTgaz : pilotes des actions BM3, partenaires de l'action BM8 ;
- Chambre d'agriculture : pilote des actions BM4, BM6, BM9, BM10, BM13, BM14, partenaires de l'action BM2.

Des acteurs nationaux et régionaux participent aussi au plan d'action comme le Club biogaz ATEE (partenaires BM7), l'AAMF (partenaires BM8, BM13), Terrasolis (Partenaire BM8, BM20)

La CRAGE a un rôle particulièrement important par rapport à la mise en œuvre des bonnes pratiques et pilote le programme Air climat sol énergie (ACSE) qui conduit une évaluation du développement de la méthanisation.

Orientation – Axe	Action	
Orientation 3 : Agir en faveur de la méthanisation durable	Axe 1 – Accompagner les porteurs de projets	BM1 - Organiser les échanges entre les acteurs de la filière de la méthanisation
		BM2 - Développer et promouvoir la formation
		BM3 - Développer les infrastructures de réseaux de gaz et le GNV/bioGNV dans un contexte de développement durable
		BM4 - Faire porter la voix du territoire régional au niveau national
		BM5 - Former, accompagner et mobiliser les élus des collectivités dans la promotion de la filière
		BM6 - Aider à l'émergence de projet
		BM7 - Promotion et déploiement régional d'un label qualité
		BM8 - Développer la communication sur la méthanisation vers le grand public
	Axe 2 : Sécuriser les intrants en conservant des pratiques raisonnées	BM9 - Former et communiquer sur les bonnes pratiques de production de la biomasse
		BM10 - Structurer et renforcer le suivi dynamique des bonnes pratiques agricoles
		BM11 - Développer la visibilité des gisements existants
		BM12 - Encourager la sécurisation des plans d'approvisionnement
	Axe 3 : Améliorer la gestion des digestats	BM13 - Former et communiquer sur les bonnes pratiques d'épandage
		BM14 - Structurer et renforcer le suivi dynamique des pratiques d'épandage
		BM15 - Développer la recherche sur la préparation et l'utilisation des digestats
		BM16 - Encourager les capacités de stockage des digestats
	Axe 4 : Maximiser la création de valeur sur le territoire	BM17 - Structurer et renforcer le suivi dynamique technico-économique de la filière
		BM18 - Lancer un appel à projets
		BM19 - Encourager le financement alternatif dans les projets
		BM20 - Encourager le développement d'externalités positives et de l'économie circulaire
		BM21 - Développer l'innovation

Figure 34 : Plan d'actions de l'orientation 3 « Agir en faveur de la méthanisation durable » proposé dans le Schéma régional Biomasse du Grand Est.

En janvier 2019, au sein du Comité régional Méthanisation présidé par Philippe Mangin (Vice-Président de la Région Grand Est en charge de la Bioéconomie, de l'Agroalimentaire et de la Bioénergie), la Région réaffirme avec un projet de Charte, la volonté de rassembler les acteurs volontaires pour « *un développement vertueux, raisonné et harmonieux de la méthanisation sur le territoire* » (Région Grand Est, 2019b). Cette charte sera signée en février 2019 par les premiers signataires : l'AAMF, l'ADEME, la

Banque des territoires, Biogaz Vallée¹²⁹, la CRAGE, le Crédit Agricole, Enedis, l'Etat, la fédération régionale des CUMA, GRDF, GRTgaz, R-GDS¹³⁰ et la Région Grand Est (Chambre d'agriculture du Grand Est, 2019). C'est aussi au sein de ce Comité régional Méthanisation que sont présentés en 2019 les travaux de la filière concernant le développement de la méthanisation (acceptabilité, financement). La DREAL y présente notamment les évolutions réglementaires, au niveau national, favorables au développement de la méthanisation (simplification de la réglementation des ICPE, réfaction des coûts de raccordement des installations etc.).

Cette même année 2019, parallèlement au travail sur le SRB, la Région engage un travail sur une Stratégie territoriale de développement de la méthanisation (DREAL Grand Est & Région Grand Est, 2021). Ce travail, animé par la Région et conduit par le bureau d'étude Tylia rassemble une cinquantaine d'acteurs. Le comité de pilotage regroupait parmi d'autres acteurs, la région, la DRAAF, la DREAL, l'ADEME, la préfecture, GRTgaz et GRDF, Enedis et l'Université de Lorraine. Des ateliers sont organisés rassemblant entre 40 et 50 acteurs, les professionnels du gaz y étant particulièrement actifs.

« Le conseil régional a été plus loin que le SRB, (...) avec comme ambition de créer, enfin de mettre en avant tout un tas d'actions stratégiques pour mettre en avant une méthanisation durable en Grand Est. Dans ce cadre il y a une charte qui a été conçue, avec tous les organismes de la filière, même les banquiers, même GRDF, (...) on s'est tous mis autour de la table pour dire, la méthanisation, il faut respecter ça, ça et ça. » (Chambre d'agriculture)

Cette stratégie pilotée par la Région et la DREAL vise à préciser les actions et mesures à mettre en place pour accompagner le développement de la filière. La feuille de route est établie à partir d'une hiérarchisation des actions issue des votes des participants. Si les ateliers rassemblent une diversité d'acteurs, les acteurs minoritaires en nombre comme FNE sont peu entendus, au contraire de la chambre ou des professionnels du gaz venus avec davantage de représentants. Cette stratégie et son plan d'actions constitue une nouvelle feuille de route du développement de la méthanisation à laquelle la Région va désormais se référer pour suivre le développement de la filière.

Entre 2015 et 2020, se construit donc une politique régionale du biogaz favorable à son développement, à travers les documents cadre territoriaux et les plans d'action pour les mettre en œuvre. La région et l'ADEME, en lien avec les professionnels du gaz et de l'agriculture, dans le cadre d'une politique nationale favorable au biogaz, contribuent à la construction d'une politique régionale au cœur de laquelle sont les promesses ENR et Revenu.

2.2.2 Une mobilisation de financements publics via l'ADEME et la Région pour accompagner la mise en œuvre de la politique publique

La construction de la politique du biogaz s'est accompagnée de l'évolution de ses conditions de financement. Cette partie présente l'évolution globale des ressources financières publiques mobilisées en Grand Est pour soutenir l'investissement en méthanisation. Les évolutions décrites ici suivent notamment les grandes évolutions de la politique française du biogaz présentées en chapitre 3. Les soutiens via les tarifs d'achat sont les mêmes pour toutes les régions. Par contre les aides au montage de projet et à l'investissement proposées par l'ADEME ou les collectivités varient d'une région à l'autre.

¹²⁹ Cluster industriel français sur la méthanisation, il a été créé en Grand Est

¹³⁰ R-GDS : Réseau gaz de Strasbourg ; CUMA : Coopérative d'utilisation de matériel agricole

Les premiers soutiens à la méthanisation sont proposés via des appels à projets (AAP), depuis 2012 en Champagne-Ardennes¹³¹ et depuis 2016 dans le reste du Grand Est. Le travail d'allocation des financements par la direction régionale de l'ADEME Grand Est se fait via une convention avec le conseil régional, dans le cadre du CPER. L'objectif est une mutualisation de moyens entre ADEME et Région, pour n'intervenir qu'une seule fois sur les dossiers de financement. En 2016, la création des nouvelles régions conduit à une homogénéisation des AAP sur le Grand Est. C'est en répondant à ces AAP que les porteurs de projets de méthanisation peuvent se voir allouer les subventions de la Région, de l'ADEME et du FEDER/FEADER¹³² (via la région). La sélection des projets pour subvention est réalisée de manière collégiale depuis les premiers AAP régionaux. En 2021, l'ADEME analyse les dossiers avec la DREAL, l'agence de l'eau Rhin-Meuse et le conseil régional.

Initialement la région apportait des aides à l'investissement, à la même hauteur que le FEDER et l'ADEME. Par exemple, un méthaniseur de 250kW enquêté a bénéficié de 77 000€ de subventions de la région, 77 000€ du FEDER et 77 000€ de l'ADEME. Depuis l'arrêt par la région des aides à l'investissement, l'ADEME est le principal financeur des aides à l'investissement.

« Imaginons que sur un dossier on apporte 100 000 euros d'aides. Avant c'était 33 000€ chacun [Région, FEDER, ADEME]. Après la région n'apportait plus d'aides, on est à 50 000 chacun, FEDER et ADEME. Maintenant sur certains dossiers, comme on ne sait même pas si le FEDER va continuer à aider cette thématique (...) sur certains dossiers [ADEME] est à 100% » (Agent ADEME - en 2021)

La région accorde encore en 2021 des aides à l'étude de faisabilité des projets, qui sont gérées par le conseil régional dans le cadre du partenariat ClimAgri avec l'ADEME (ADEME, GRDF, et Adenfi 2021). Les études sont subventionnées de 50% à 70% du coût de l'étude hors taxe, selon le porteur de projet et la taille de son entreprise. C'est aussi le conseil régional qui gère les Fonds européens FEDER et FEADER. Ces aides sont orientées sur le matériel industriel. Les projets de méthanisation peuvent profiter de ce fonds notamment pour la subvention d'équipements de traitement de digestats (ADEME, GRDF, et Adenfi 2021), équipements qui, comme montré en chapitre 4, sont déterminants des effets agroenvironnementaux du digestat. Certaines UM enquêtées plus anciennes ont bénéficié également d'aides départementales.

Les fonds ADEME de chaque région dépendent de l'enveloppe de financement reçue chaque année du national, selon les prévisions que font remonter toutes les régions auprès du siège de l'ADEME national :

« Quand on lance notre appel à projets, on a les maîtres d'ouvrage, les bureaux d'étude, les Chambres d'agriculture, les constructeurs, qui nous contactent en nous posant des questions et on arrive à peu près à savoir le nombre de dossiers qu'on aura – on se trompe rarement. De ce fait, au moment des besoins de budget au niveau du siège, on dit : il nous faudrait tant. Il y a une capitalisation-mutualisation de ces demandes qui [est faite] au niveau national, qui voit par région le nombre de dossiers qu'il y a et font une répartition. » (Agent ADEME)

Les appels à projets annuels de la direction de l'ADEME Grand Est sont devenus bisannuels après 2018 car la direction régionale recevait plus de demandes qu'elle n'a de budget à allouer. Cette conjoncture

¹³¹ Une des 3 ex-régions du Grand Est

¹³² Le FEDER est le Fond Européen pour le Développement Rural il intervient dans le soutien de la transition vers une économie à faibles émissions de carbone. Le FEADER est le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural.

est liée au développement fort de l'injection entre 2018 et 2020 - l'injection consommant plus d'enveloppe que la cogénération - et à la diminution du budget de l'ADEME Grand Est¹³³ :

*« Cette année (NB : en 2021) l'enveloppe était très limitée : il y avait une cinquantaine de projets, 11 retenus en injection, 7-8 en [cogénération]. La totalité de la cogé a été retenue, car c'est une autre enveloppe, par contre l'injection a dû faire l'objet d'un tri très très dur. **C'est lié à une baisse de l'enveloppe ?** Oui, et car y'a eu énormément de projets, et les projets en injection sont beaucoup plus coûteux que ceux en cogénération, donc un projet en injection consomme plus d'enveloppe. » (Agent de chambre d'agriculture)*

La diminution de la capacité à financer de l'ADEME est également liée à la diminution des aides Région et FEDER. A budget constant, l'ADEME a donc vu sa capacité de financement de projets diminuer¹³⁴.

En 2022, l'ADEME alloue une aide de maximum 30% du coût total de l'investissement sur les critères économiques des projets qui répondent à l'appel à projet. Depuis 2020, l'ADEME Grand Est a établi, à partir de son expérience des années précédentes, des forfaits de financement, ce qui permet une gestion plus rapide du nombre de dossiers, considérablement accru depuis 2017-2018. Cette pression à la simplification administrative a été incitée par la direction nationale de l'ADEME. De plus les financements, initialement déclenchés sur dépenses, sont désormais déclenchés sur l'avancement du projet, et sur la quantité d'énergie produite, qui doit correspondre à celle annoncée dans le projet. Au total, au niveau national, les subventions à l'investissement sont en moyenne de 15% (Figure 35), ce qui est en cohérence avec la part moyenne de subvention publique à l'investissement des agri-méthaniseurs enquêtés qui ont obtenus en moyenne 14% de soutien¹³⁵. Cela correspond à un montant moyen par projet de 417 k€ de subventions à l'investissement. Dans l'évolution des AAP (Tableau 33), les plafonds d'aides à l'investissement par projet pour la cogénération ont augmenté entre 2017 et 2020, pour rebaisser en 2022. Concernant l'injection, les aides ont été progressivement plafonnées à la baisse entre 2017 et 2020. Ces dynamiques sont liées à une demande provenant du gouvernement de décroître le soutien public à la méthanisation (cf. Chapitre 3).

¹³³ L'ADEME national a alloué en effet en 2020 davantage de budget aux régions où la méthanisation s'est développée plus tardivement qu'en Grand Est : « Aujourd'hui on a un budget qui diminue pour deux raisons. Un, on a une enveloppe [qui est nationale] sur la méthanisation. Deux, on est une région où on a encore pas mal de projets mais il y a déjà beaucoup de projets qui sont en place et d'autres régions sont émergentes, c'est-à-dire que la situation où on était avant avec bon nombre de dossiers qui nous arrivent, ça commence à se pratiquer sur d'autres territoires et le but ce n'est pas de donner tout à un territoire et pas au reste. » (Agent ADEME)

¹³⁴ L'évolution du cadre tarifaire de 2020 renforce cette tendance. Elle a introduit une diminution des tarifs de rachat (subvention au fonctionnement) de 5€/MWh si le porteur de projet candidate aux aides ADEME (subventions à l'investissement). Selon les acteurs de la filière, les porteurs de projet n'auront donc plus intérêt à demander les aides ADEME.

¹³⁵ Calcul fait sur les 11 enquêtes où la donnée a pu être recueillie.

Plafond d'aides des subventions à l'investissement	2017	2020	2022
Injection (€/Nm ³ /h)	12 000 ¹³⁶	6 600 ¹³⁷	-
~ équivalent en k€	> 1 000	-	600
Cogénération (€/kWe)	1 500 ¹³⁸	1 800 ¹³⁹	-
~ équivalent en k€	750	898	200

Tableau 33 : Montant des aides à l'investissement proposés dans les AAP ADEME en Grand Est en 2017, 2020 et 2022 (Source AAP ADEME).

Légende : Les montants des plafonds à l'investissement ne sont présentés que pour les installations de la puissance installée maximale qui peut recevoir ces aides à l'investissement. Ainsi ces plafonds à l'investissement sont supérieurs pour les installations à la puissance installée plus petite. (Source : Direction régionale Grand Est de l'ADEME, 2017, 2020, 2022).

Le reste de l'investissement repose principalement sur de l'emprunt bancaire, avec des apports en propre autour de 10%. Nous n'avons pas pu enquêter d'acteur bancaire privé mais il apparaît dans nos entretiens avec plusieurs acteurs de la filière que face à des modèles économiques pas toujours satisfaisants, les banques ont mis en place certains critères de financement : la priorité est à la sécurisation du modèle économique à travers la sécurisation de l'approvisionnement (plus d'autonomie dans l'approvisionnement des projets, par exemple avec la production de CIVE ou les cultures énergétiques). De même la Banque publique d'investissement¹⁴⁰ (BPI) a fixé à 15% le poids maximum de la redevance dans la rentabilité totale du projet, pour limiter les risques liés à l'approvisionnement, dans un contexte de diminution des redevance déchets. La BPI finance ainsi selon des critères portant sur la viabilité économique du projet et la sécurité juridique du montage du projet.

¹³⁶ Pour des projets de plus de 125Nm³/h

¹³⁷ Pour des projets de 50-250Nm³/h

¹³⁸ Pour les projets de 300-500kWe

¹³⁹ Pour les projets de 300 à 499 kWe

¹⁴⁰ Banque publique qui soutient l'investissement privé dans la méthanisation en proposant des prêts sans garantie

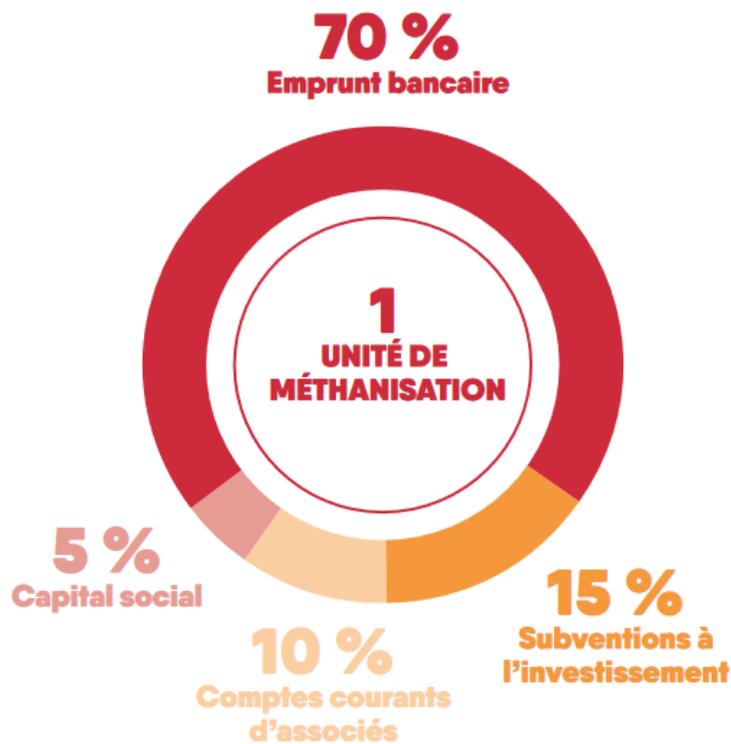


Figure 35: Plan de financement type d'une unité de méthanisation - Source Clefs d'une méthanisation durable (CLER-Réseau pour la transition énergétique et al., 2021)

2.2.3 Mise en œuvre technique de la méthanisation sur le territoire : une alliance efficace entre professionnels du gaz et de l'agriculture

L'entreprise GRDF accompagne et promeut le développement de la filière méthanisation en injection, via ses équipes référentes sur les territoires, constituées d'ingénieurs d'affaires « gaz verts ». Comme évoqué en 2.2.1, son activité s'inscrit dans la mise en œuvre de certaines actions du SRB. Elle travaille ainsi en collaboration avec la CRAGE, les chambres départementales, le conseil régional et GRTgaz, à identifier et recruter des porteurs de projet susceptibles d'être intéressés par la méthanisation. Ces acteurs ont ainsi lancé conjointement des appels à manifestation d'intérêt (AMI).

« Dans le cadre d'une action avec GRDF, on s'est dit que le meilleur moyen de développer le réseau, c'était de faire un AMI, un appel à manifestation d'intérêt, dans le grand est. C'est exactement ce qui a été fait dans le cadre du Pacte Ardennes. A un moment ils ont battu la campagne pour dire : méthanisation c'est ci, ça. Si vous avez un projet venez vers nous. »
(Conseiller de Chambre d'agriculture).

L'objectif de l'AMI est de continuer à développer la méthanisation en Grand Est en identifiant les matières encore méthanisables, et les porteurs de projet potentiels. En particulier, suite à la baisse des tarifs de rachat en 2020, GRDF, la Chambre d'agriculture et la région ont cherché à identifier les gisements encore non mobilisés. Pour cela, ils conduisent des études (via la Chambre d'agriculture) pour évaluer les gisements méthanisables et organisent des réunions publiques pour informer les agriculteurs des possibilités de la méthanisation et identifier ceux qui sont intéressés. Trois des 23 agriculteurs enquêtés ont ainsi été démarchés ou visités par GRDF pour initier un projet de méthanisation (M, O), pour faire évoluer leur projet de méthanisation en cogénération vers un projet en injection (M/L) ou pour augmenter leur production de biogaz (C) :

*« Au départ, on était parti pour faire de la cogénération, sur ***** (...) pour chauffer la piscine, sauf qu'on s'est un peu fâché avec eux. Et pis après y'a GRDF qui est venu toquer à notre porte : « pourquoi vous ne faites pas de l'injection ? » et on a calculé un petit peu, et c'est le jour et la nuit » (Agriculteur M)*

Ce travail de prospection auprès des acteurs, mené à deux mains par GRDF et les Chambres d'agriculture départementales en lien avec la région, est nécessaire à GRDF pour justifier auprès de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) de l'investissement et du développement du réseau de gaz.

GRDF travaille aussi à identifier de nouveaux acteurs économiques capables de mobiliser ces gisements agricoles et de développer la méthanisation. L'entreprise a ainsi établie des liens avec des coopératives de la région. En France elle a rencontré la quinzaine de majors des coopératives, celles-ci étant alors en réflexion sur le modèle de méthanisation à développer.

« On y croit, on partage beaucoup avec Engie sur ce point-là, puisqu'eux ont un peu plus une vision nationale et un peu plus une vision de l'avenir du biométhane en France. On partage aussi, parce que j'ai des entrées forcément avec GRT gaz, GRDF (...) donc la partie méthanisation agricole collective comme nous on l'entend, a un avenir. » (Une coopérative du Grand Est)

L'aide des gaziers peut aussi porter sur le processus de montage du projet à travers un soutien « politique » ou financier :

*« Je précise que GRDF a fait un sacré travail de préparation des politiques, parce qu'il y avait inauguration d'un méthaniseur (...) GRDF a organisé, me demandez pas en quelle année, et ils nous avaient invité nous méthaniseurs, 2 personnes, et il y avait le maire de ***** , qui est à la fois, maire, président de la com-com, conseiller général, tous ses titres plus un adjoint à lui, et ils ont tout fait pour qu'on soit ensemble, (...) on s'est parlé, parce que la première des choses c'est de se parler, j'dis ça parce que le maire de ***** ça se fait pas comme ça, il est sollicité de toutes parts. » (Agri-méthaniseur)*

Comme évoqué en 1.2.2 avec les industriels de l'agroalimentaire ou des déchets, des industriels de l'énergie (R-GDS, ENGIE, GRDF) peuvent prendre des parts au capital des unités pour aider au bouclage financier et donc au montage de projet : l'agriculteur T évoque la prise de participation de GRDF au capital d'un projet du coin, l'agriculteur C s'est vu proposé par ENGIE (dont GRDF est une filiale) une participation au capital de son unité. R-GDS détient enfin une participation au capital d'un méthaniseur enquêté dans le Bas-Rhin.

Enfin, le soutien de GRDF passe par son expertise métier dans le montage de projet en injection et la gestion des épurateurs. GRDF¹⁴¹ propose 3 types de prestation auprès des agri-méthaniseurs : 1) des études du raccordement au réseau ; 2) les travaux de raccordement au réseau et de mise en place du poste d'injection ; 3) L'exploitation du poste d'injection pendant la durée du contrat. Sur le plan technique, un agri-méthaniseur enquêté dit aussi être accompagné par l'expertise de GRDF pour favoriser le rattrapage de la production lorsque son méthaniseur est sujet à des pannes.

¹⁴¹ Comme GRDF, l'autre opérateur de réseau rencontré sur le territoire, Réseau Gaz de Strasbourg (R-GDS), propose dans le Bas-Rhin des prestations de développement de projet en injection et de gestion de l'épurateur. Plusieurs des projets de méthanisation enquêtés dans le Bas-Rhin ont été montés avec R-GDS.

Les chambres départementales ont aussi été un acteur clef développement de projet ces dernières années.

« La Chambre d'agriculture, ils sont plus sur le terrain, plus que nous [l'ADEME]. (...) Déjà, ils connaissent les agriculteurs au cours de toutes les missions agricoles. Sur la partie méthanisation ils sont également forts de connaissance parce qu'ils participent à des études de faisabilité donc de ce fait ils ont les connaissances techniques pour monter les projets, ils ont fait de la cogénération, de l'injection, xxx (33'35) des installations. À un moment, une étude sur deux était faite par eux » (Agent ADEME)

Le soutien des Chambres d'agriculture départementales au développement de la méthanisation passe par des activités de sensibilisation et de formation¹⁴², ainsi qu'un service d'accompagnement à maîtrise d'ouvrage pour monter un projet. Par exemple, la Chambre d'agriculture des Vosges propose des formations gratuites sur la méthanisation. C'est aux agriculteurs ensuite de faire réaliser une étude de faisabilité et d'initier une démarche d'accompagnement¹⁴³ de projet s'ils sont intéressés par la méthanisation.

Les Chambres d'agriculture et GRDF possèdent tous deux une bonne capacité à soutenir le développement de la méthanisation sur le territoire : tandis que GRDF est historiquement implanté sur le territoire à travers la gestion des réseaux de distribution, les Chambres d'agriculture ont via leurs activités de conseil auprès des agriculteurs un contact direct avec eux. GRDF a aussi renforcé son réseau politique avec le développement de la filière, et s'est notamment lié aux acteurs agricoles :

« Il y a 4 ans, on ne connaissait pas un seul acteur du monde agricole, ce n'était pas notre fonds de commerce. Donc on commence comme tout le monde, on prend contact et on va voir directement. » (Cadre de GRDF - 2019).

« Ils sont partout, mais ils sont bien malins, ils font bien leur boulot. Le dernier webinaire de Biogaz Vallée¹⁴⁴, il y avait GRDF et GRTgaz, ils disent clairement, si on fait pas de gaz on est mort. (...) GRDF dès qu'ils peuvent mettre leur nez quelque part ils le mettent, pour voir ce qui se passe, je sais qu'ils sont en train de financer beaucoup d'essais sur les CIVE. » (Chercheur académique)

GRDF a par exemple débauché en 2018 un ingénieur Energie de la Chambre d'agriculture de Meurthe-et-Moselle, pour l'embaucher comme ingénieur d'affaires biométhane pour la région Est.

« Chez nous c'est facile, GRDF est allé prendre le respo métha de la Chambre d'agriculture régionale, Pascal Roll, qui a travaillé pendant 10 ans à la Chambre d'agriculture, ça fait 2 ans qu'il est allé chez GRDF. Et (...) pas au même salaire. Il connaît parfaitement les questions agricoles, il passe très bien dans le milieu. » (Chercheur académique)

¹⁴² L'association des agriculteurs méthaniseurs de France (AAMF) est également un interlocuteur technique pour les agri-méthaniseurs et un interlocuteur politique pour les pouvoirs publics. Il propose un réseau de partage de pratiques et d'échanges entre adhérents. Nous n'avons pas réussi à échanger avec ses membres durant notre thèse mais plusieurs agri-méthaniseurs enquêtés ont dit participer aux échanges techniques du réseau.

¹⁴³ La chambre des Vosges propose par exemple un accompagnement de projet sur le dossier ICPE, le permis de construire, l'agrément sanitaire, le plan d'épandage et le dossier de subvention. Les chambres suivent ensuite les projets de méthanisation en cours, pour du conseil réglementaire et administratif (respect du cahier des charges ICPE par exemple).

¹⁴⁴ Biogaz Vallée se positionne comme le cluster français dédié à la méthanisation. Il a été créé par le Conseil départemental de l'Aube, en lien avec des acteurs industriels et la Chambre d'agriculture de l'Aube en 2011. Il rassemble des acteurs publics et privés dans le but de développer la production de cette énergie renouvelable.

Son activité de développement de projets fait qu'aujourd'hui l'entreprise est d'autant mieux implantée pour continuer à développer la filière via les réseaux créés avec les acteurs de l'écosystème biogaz. Le nombre de projets en injection s'est d'ailleurs particulièrement accru depuis 2018.

« on est un acteur de l'écosystème local. Comme on connaît tous les projets, on connaît aussi tous les acteurs économiques qui gravitent autour du biométhane : on connaît très bien les banques et on travaille beaucoup avec ; les assurances ; les élus locaux on les connaît par notre relation historique de concédant de réseaux de gaz ; les fédérations agricoles ; les Chambres d'agriculture. On travaille aussi autour de l'appropriation locale des projets, qui est un élément fondamental de la réussite du projet. On n'apparaît jamais en première ligne, mais on est sur le registre du conseil, sur la méthode pour construire un dialogue avec les riverains. » (Cadre de GRDF)

Certains acteurs du monde agricole considèrent d'ailleurs GRDF et les acteurs « Énergie » de la chambre comme parfois trop présents, certains agents de Chambre d'agriculture devenant des « VRP¹⁴⁵ de GRDF », comme le dit un agri-méthaniseur enquêté.

Le rôle de GRDF auprès des agri-méthaniseurs enquêtés concerne principalement le territoire du Bas-Rhin, car dans les Vosges les possibilités de développement de l'injection étaient encore faibles en 2021. On peut donc supposer que la dynamique forte de développement de la cogénération dans les Vosges ces dernières années est davantage liée à une Chambre d'agriculture départementale active et à l'attractivité de la promesse « Nouveau revenu agricole » pour les agriculteurs.

2.3 Une promesse agroécologique peu présente dans la construction de la politique du biogaz

2.3.1 Durabilité agroenvironnementale du biogaz dans les documents cadres de la politique régionale : une approche normative

Les bénéfices agroenvironnementaux de la méthanisation sont détaillés principalement dans le SRB - le SRADDET et le CPER étant des documents de politique générale. En introduction du document d'évaluation du SRB, l'accent est mis sur la hiérarchie des usages de la biomasse afin de garantir les bénéfices de la mobilisation de la biomasse, tandis que ses différents bénéfices et risques sont développés tout au long du document (cf. Tableau 34, lignes 2 et 3). L'évaluation environnementale du SRB (Indiggo 2017) et plus succinctement le CPER mentionnent aussi des risques agroenvironnementaux (cf. Tableau 34, lignes 4 et 5). Selon ces documents, le développement de la filière doit intégrer certains points de vigilance soulevés par les concertations entre acteurs de la filière. Le SRB identifie également une dizaine de mesure correctives, préventives ou de suivi à mettre en œuvre pour limiter les risques pour l'environnement (exemples dans le Tableau 34, lignes 6 et 7).

¹⁴⁵ VRP : acronyme signifiant « Représentant de commerce »

1	Verbatims	Document de politique publique	Traitement de la durabilité agroenvironnementale
2	« Ces amendements [issus de coproduits] participent ainsi à la fertilité des sols, cependant, si ces épandages ne sont pas suffisamment contrôlés, ils pourraient également engendrer un risque de pollution. »	SRB	Bénéfices attendus
3	« La réduction des émissions de GES est donc possible grâce à des cultures économes en intrants, la limitation des transports en favorisant les valorisations au plus proches des lieux de production tout en prenant en compte l'efficacité de la chaîne de valorisation d'un point de vue énergétique. »	SRB	Bénéfices attendus
4	« Retour au sol des digestats de méthanisation en priorité là où les ressources ont été prélevées afin de maintenir la matière organique des sols »	Evaluation environnementale du SRB	Point de vigilance
5	« il convient d'avoir une attention particulière quant à la problématique des digestats qui peuvent dégrader les sols et les eaux souterraines. La question des cultures dédiées aux méthaniseurs et consommatrices d'intrants est également une préoccupation, en particulier le développement de la culture du maïs (transfert de pesticides et nitrates, consommation d'eau, etc.). »	CPER	Risques possibles
6	L'action BM9 « Former et communiquer sur les bonnes pratiques de production de la biomasse » « rappeler la limite des taux de prélèvement à hauteur de 30 % de la partie récoltable afin de garantir la fertilité des sols.»	SRB	Recommandations
7	L'action BM12 « La sécurisation des plans d'approvisionnement territoriaux des méthaniseurs, participe à un développement équilibré des installations en fonction des ressources disponibles localement, cette action s'accompagne de plus de la création d'un guide des bonnes pratiques permettant de diffuser les pratiques vertueuses en matière d'approvisionnement des méthaniseurs. »	SRB	Recommandations

Tableau 34 : Eléments de discours étayant la promesse « agroécologique » et identifiant des risques agroenvironnementaux dans les documents cadres de la politique régionale.

La Stratégie Méthanisation définit aussi ce qu'elle considère comme une méthanisation durable (Figure 36) : un ensemble de préconisations et de points de vigilance sont proposés pour limiter l'impact environnemental négatif de celle-ci en agriculture, recommandations qui vont dans le sens de celles proposées dans le SRB.

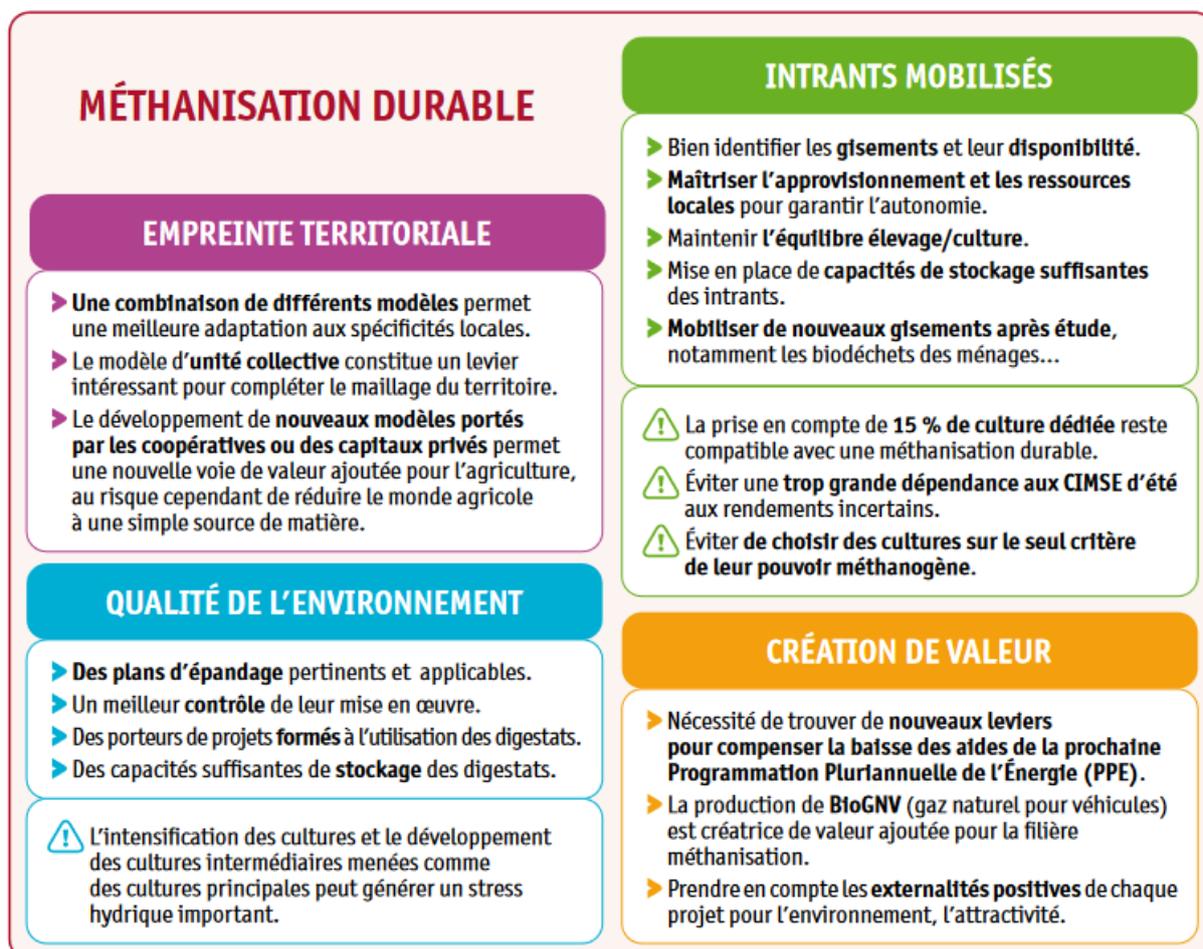


Figure 36 : Recommandation pour une méthanisation durable - Source : Document « Développement de la méthanisation » (Climaxion et al., 2020).

La compréhension de la durabilité dans ces documents-cadre ont des similitudes avec la formulation dominante de la promesse Agroécologique étudiée dans le chapitre 3. Plusieurs verbatims issus de documents de politiques publiques (Tableau 34), comme « la réduction des émissions de GES est donc possible grâce à des cultures économes en intrants », illustrent la logique normative qui suppose que les pratiques optimales seront adoptées. La recommandation « rappeler la limite des taux de prélèvement à hauteur de 30 % de la partie récoltable afin de garantir la fertilité des sols » (Tableau 34) suppose un porteur de projet enclin et capable d'adopter cette pratique. La promesse de durabilité Agroécologique peu présente dans les discours est ainsi, comme dans le chapitre 2, appréhendée via une logique normative : le respect des bonnes pratiques et la conscience de risques possibles qui devront être prévenus doivent permettre le développement d'une méthanisation durable. Comme montré en chapitre 2, cette approche est limitée car elle ne prend pas en compte les mécanismes d'évolution des pratiques, tels ceux identifiés en chapitre 4.

Par ailleurs, en ce qui concerne les gisements durables à mobiliser afin de limiter les concurrences d'usage, un élément du discours assez présent est la promesse « Déchet » c'est-à-dire de valorisation de « déchets ». La Figure 37 illustre cet élément de discours repris dans le programme Climaxion : le schéma montre une production de biogaz produite entre autres à partir de « déchets agricoles ». De plus, dans le SRADDET les gisements futurs de la méthanisation « sont *principalement issus des déjections animales, des résidus de culture et des cultures intermédiaires* » - à comparer avec les dynamiques actuelles de développement de l'injection qui reposent désormais à 39% sur des matières végétales (principalement des CIVE, des cultures énergétiques et des résidus de cultures) contre 37% d'effluents d'élevage (ADEME et Région Grand Est 2022). Cette promesse « Déchets » est plus proche, du développement de la cogénération - si on considère les effluents d'élevage comme des déchets agricoles. De même dans le CPER, la méthanisation se développe à partir « *des déchets agricoles et cultures intermédiaires à vocation énergétique* ». Le terme « déchet » au fondement du discours sur l'économie circulaire, justifie le rôle de la méthanisation dans la dynamique de recyclage qu'elle doit favoriser en agriculture, et ne laisse pas présager de concurrence avec l'alimentation.

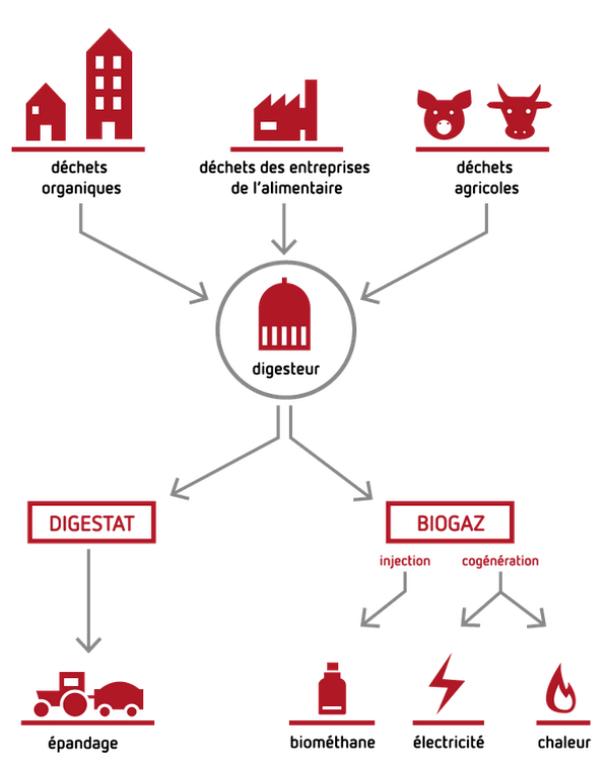


Figure 37: Une méthanisation de déchets - Source : Site web de Climaxion (s. d.).

Or comme montré en chapitre 4, la promesse Déchets n'empêche pas, au niveau des fermes, des transformations des assolements pour produire des cultures énergétiques à la place de cultures alimentaires (moyenne de 15% des surfaces cultivées chez les 13 agri-méthaniseurs de la stratégie 2).

2.3.2 Une évaluation des enjeux de durabilité menée par la Chambre d'agriculture : le programme ACSE

Pour objectiver et suivre les effets du développement de la filière l'ADEME et la Région financent depuis 2014 des programmes de suivi de l'impact de la méthanisation. Un programme est initié en 2014 sur le territoire Lorrain par la Chambre d'agriculture pour mettre en place un suivi entre 2015 et

2018 de 22 unités de méthanisation. L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, le Ministère de l'Agriculture (fonds CASDAR¹⁴⁶), la Région Grand Est ainsi que l'ADEME apportent à cette époque leur concours financier à ce projet. Le suivi réalisé est technico-économique et, concernant l'épandage du digestat, agronomique. Ce suivi est étendu à la région Grand Est dans le cadre du programme ACSE II (Air Climat Sol Energie) qui est lancé en 2017, via une convention¹⁴⁷ entre l'ADEME, le conseil régional Grand Est et la Chambre d'agriculture régionale du Grand Est (CRAGE). Le SRB 2021 mentionne d'ailleurs une Action correspondant à un dispositif de suivi des conséquences environnementales de la méthanisation au niveau de 80 exploitations agricoles qui semble référer au programme ACSE en place. La méthanisation constitue, dans le programme ACSE, un des volets majeurs pour aider le monde agricole à relever ces différents défis liés à l'air (volatilisation ammoniacale), au climat (adaptation au changement climatique), au sol (couverture des sols) et à l'énergie (bilan GES et production d'énergie) (Chambre d'agriculture Grand Est, 2018).

L'évaluation est menée par le service Energie de la Chambre d'agriculture. Les données sont recueillies par la Chambre d'agriculture au niveau des installations de méthanisation. La DREAL reçoit les rapports du projet ACSE mais n'a pas accès aux données individuelles de l'évaluation. Les résultats environnementaux publiquement accessibles du premier programme ACSE portent principalement sur l'évaluation du bilan carbone de la production énergétique. Ils montrent qu'il est intéressant sur le plan énergétique de méthaniser du maïs (Chambres d'agriculture Grand Est, 2020). Mais le programme suit également, chez les 28 UM enquêtées, l'évolution de la SAU et des cheptels. Le premier rapport documente ainsi une augmentation de 8% de la SAU avec augmentation de 22% du maïs, de 18% des prairies, de 7% des vaches laitières et un maintien des bovins viande (Chambres d'agriculture Grand Est, 2020). Les résultats concernant l'évolution des plans d'approvisionnement montrent que, par rapport aux plans prévisionnels dans les études de faisabilité, les UM consomment davantage de fumier et de lisier, moins d'herbe, plus de maïs et moins de CIVE, autres ensilages et autres sous-produits agricoles confondus (Chambres d'agriculture Grand Est, 2020). La méthanisation est aussi prise en compte dans l'étude de l'évolution des stocks de carbone des sols de ACSE, mais il est difficile d'appréhender les effets spécifiques à la méthanisation dans les documents publics disponibles. Le programme ACSE 2020-2022¹⁴⁸ vise également un suivi technico-économique de 30 unités de méthanisation réparties sur la région, avec une analyse selon l'approche globale de l'impact de la méthanisation sur une cinquantaine d'exploitations agricoles, ainsi que sur leurs bilans gaz à effet de serre. Il prévoit aussi un suivi de l'évolution des pratiques culturales et de la valorisation agronomique des digestats, ainsi qu'un suivi des nouveaux procédés de transformation des digestats. Depuis 2021, l'observatoire déchet de l'ADEME a aussi initié un suivi sur l'évolution de la matière organique des sols.

L'objectif de l'ADEME et de ses partenaires, à travers ces programmes est d'évaluer l'impact de la méthanisation sur les pratiques agricoles et l'évolution des ressources agricoles mobilisées. Elle permet notamment d'évaluer le bilan carbone de la méthanisation et d'identifier des pistes d'amélioration sur le plan technique et économique. En cela ces évaluations présentent des convergences avec les discours sur la durabilité du biogaz que nous avons analysés dans le chapitre 2 : un accent mis sur le bilan carbone et une focalisation sur les enjeux techniques. Le travail de la

¹⁴⁶ CASDAR : Compte d'affectation spécial développement agricole et rural

¹⁴⁷ Programme financé principalement par l'ADEME

¹⁴⁸ Données encore non publiées à la date du recueil de données par l'autrice

chambre investigue cependant les enjeux technico-économiques ce qui éclaire certains aspects des choix techniques.

Ainsi, la compréhension de la durabilité agroenvironnementale qui ressort des documents de la politique régionale du biogaz et de son dispositif d'évaluation présente des convergences avec le discours majoritaire sur la durabilité agroenvironnementale identifié dans les prospectives nationales du biogaz. Ce sont les enjeux techniques et les bonnes pratiques qui sont au cœur du développement d'une méthanisation durable, mais les logiques systémiques qui permettent de comprendre les changements de pratiques ne sont pas saisies.

2.3.3 Identification d'enjeux agroenvironnementaux montants sur le territoire

Si les acteurs du territoire précités s'appuient et mobilisent les promesses ENR, Déchets, Revenu agricole, et moins souvent la promesse Agroécologique, pour développer la méthanisation, certains d'entre eux nuancent ces promesses, particulièrement ces deux dernières années. Ils observent en effet sur le territoire des difficultés croissantes concernant la « réalisation » de ces promesses.. Le Tableau 35 présente certains enjeux identifiés, notamment sur la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation.

Enjeux problématiques identifiés dans la mise en œuvre de la méthanisation (avec exemples de verbatim)	Organisation de l'acteur
<ul style="list-style-type: none"> Les conditions d'une méthanisation durable sont connues mais la réglementation et le contrôle ne permettent pas toujours (la vérification de) la mise en œuvre des bonnes pratiques. Par exemple la déclaration des plans d'approvisionnement ne correspond pas toujours à la réalité des pratiques. 	Université
<ul style="list-style-type: none"> Des pratiques de gestion du digestat sont à l'origine de dégradation localisées de la qualité de l'eau. Ces problèmes sont isolés et liés à quelques méthaniseurs. 	ADEME
<ul style="list-style-type: none"> Concurrence à l'élevage sur l'accès aux fourrages et sur le travail <i>« ça a apporté des débats intenses entre agriculteurs, les dreyfusards et les anti-dreyfusards, des clivages intenses entre agriculteurs. Y'en a qui le voient comme un moyen de préserver la polyculture élevage (...) Le problème symbolique qui embête les producteurs : c'est quand le fourrage va dans les méthaniseurs alors qu'eux ils en manquent de fourrages. Est-ce que ces fourrages auraient été implantés en fourrage si y'avait pas de méthaniseurs ? »</i> 	CRAGE (Agent)
<ul style="list-style-type: none"> Besoin de regarder les réalités empiriques : <i>« Sur le principe, c'est pertinent, mais il faut être relativement prudent »</i> Menace de certains circuits de commercialisation de cultures en concurrence avec la méthanisation Concentration de méthaniseurs sur des territoires : <i>« Répartir intelligemment les unités, et éviter la concentration comme on est en train de le vivre. Le milieu n'arrivera pas à absorber. »</i> Réglementation d'épandage pas mise en œuvre car pas contrôlée <i>« sur le volet de la gestion du digestat, c'est majoritairement du déclaratif, il n'y a quasi aucun</i> 	CRAGE (Élu agricole)

<i>contrôle pour encadrer les potentielles dérives, c'est un élément qu'on commence à percevoir »</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Tensions entre différents usages des coproduits (pulpes, issues) • Déstabilisation de l'activité de déshydratation en lien avec la consommation de pulpes de betteraves en méthanisation 	Coopératives

Tableau 35 : Perception de nouveaux enjeux agricoles et agroenvironnementaux par différents acteurs du territoire.

Ce tableau montre que le développement de la méthanisation génère des problèmes non attendus dans le monde agricole, auxquels il faut davantage s'intéresser pour en mesurer l'ampleur et les effets : concurrence avec des productions agricoles, déstabilisation de certaines productions agricoles et pollutions azotées. Certains acteurs évoquent des causes comme la mauvaise régulation de la densité des méthaniseurs sur les territoires (en inadéquation avec les biomasses disponibles) ou le manque de moyens de contrôle pour vérifier que les agri-méthaniseurs respectent la réglementation. En cela, les constats des acteurs de la gestion effective rejoignent pour partie ceux des acteurs de la gestion intentionnelle, dont la partie qui suit va détailler les modes d'intervention.

A la suite de l'analyse des enjeux agroenvironnementaux (1.4) et du constat par les acteurs de la filière de certains problèmes dans la mise en œuvre (3.2.3), la partie suivante analyse la gestion intentionnelle : comment et quels acteurs du Grand Est travaillent à la prise en charge des enjeux de durabilité dans la mise en œuvre de la politique du biogaz ?

3 La gestion intentionnelle : Les acteurs de l'environnement ont peu de moyens pour suivre et prendre en charge la durabilité dans le développement de la filière

Différents services déconcentrés de l'Etat interviennent dans la mise en œuvre de la réglementation environnementale de la méthanisation. En Grand Est, le service « Transition énergétique, climat, construction, logement et aménagement » (TECCLA) de la DREAL prend en charge le respect du Code de l'Energie (conflits d'usage sur les intrants pour la cogénération, réglementation sur l'approvisionnement) ; un autre service de la DREAL « Eau Biodiversité Paysage » (SEBP) gère le respect de la directive nitrate ; ce sont ensuite les inspecteurs ICPE qui prennent en charge l'instruction et le contrôle des ICPE. Ces inspecteurs peuvent être hébergés dans différentes administrations : la Direction départementale de la protection des populations (DDPP) ou la direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDSCPP) ou les unités départementales de la DREAL. C'est enfin la DRAAF qui instruit les dossiers de normalisation de digestat. L'ADEME à travers les critères non réglementaires de ses AAP considère également les enjeux pour l'agroenvironnement. Au-delà des compétences réglementaires, la section qui suit vise 1/ à définir les « acteurs de l'environnement » en fonction de leur participation à la gestion intentionnelle 2/ à décrire comment ils parviennent ou ne parviennent pas à prendre en charge les enjeux agroenvironnementaux du développement de la méthanisation.

3.1 Des enjeux agroenvironnementaux inscrits récemment (2019-2022) dans la politique régionale, sous l'influence des acteurs de l'environnement

3.1.1 Voix des acteurs de l'environnement dans l'élaboration de la Stratégie Régionale Méthanisation

Comme présenté dans le sous-chapitre 2, dans les discours, les enjeux agroenvironnementaux sont peu portés par les acteurs de la gestion effective dans la construction de la politique du biogaz. D'autres acteurs ont tenté d'intégrer les enjeux agroenvironnementaux dans les processus d'élaboration de la politique régionale.

Lors de l'élaboration du Schéma régional biomasse (SRB), deux acteurs critiques ont cherché à attirer l'attention sur certains enjeux environnementaux associés au développement de la méthanisation. Ces acteurs sont l'association environnementale FNE et le syndicat agricole de la Confédération Paysanne. Dans le Cadre du SRB, FNE et la Confédération paysanne n'étaient pas alignés avec les acteurs dominants de la filière : alors qu'au départ des concertations, FNE défendait plutôt le développement d'une méthanisation vertueuse, elle s'est finalement positionnée, avec la Confédération Paysanne, contre la méthanisation en demandant un moratoire. Ces positions critiques ne semblent pas avoir infléchi l'ambition ou l'approche du SRB.

Dans le processus d'élaboration de la Stratégie régionale méthanisation (2018-2020) pilotée par la Région, certains enjeux de durabilité sont davantage discutés, même si comme exposé en 2.2.1, les voix de la Confédération paysanne et de FNE sont peu représentées et peu entendues dans les processus décisionnels. Interviewés en 2021, ces acteurs réinterrogent la promesse « Agroécologique ». Le syndicat critique des évolutions des pratiques agronomiques ou de gestion des élevages qui se plient aux exigences de la production d'énergie. Il défend une méthanisation qui est pensée en lien avec l'autonomie de la ferme : « *Ce n'est pas le remboursement et l'obligation de fournir tant de mégawattheures qui gèrent l'unité, mais le besoin de la ferme* ». Le syndicat identifie pour l'agronomie des opportunités comme des dérives : par exemple le digestat peut être intéressant sur le plan de la fertilisation, mais les bénéfices ne sont pas assurés puisqu'ils dépendent de beaucoup de bonnes pratiques. L'accaparement des terres est dénoncé comme un risque lié à l'augmentation des besoins en surface pour nourrir le méthaniseur. En effet pour le syndicat, le discours sur la hiérarchie des usages est un discours leurre : c'est le marché qui décide de la destination des matières, et de leur débouché de valorisation. L'association environnementale distingue aussi les modèles de méthanisation vertueux des moins vertueux. Elle critique principalement le manque de transparence du développement de la filière vis-à-vis des riverains et des associations environnementales, ainsi que les écarts entre les promesses théoriques associées au développement de la méthanisation, et la réalité, qu'elle observe, de ce qui se passe sur les territoires. Peu écoutés lors des concertations, ces acteurs minoritaires ne semblent pas avoir infléchi la politique régionale par leur participation. L'acteur de l'environnement qu'est le service SEBP de la DREAL a toutefois contribué à l'introduction de critères pour qualifier une méthanisation durable. Ses liens de travail avec le service « Energie » de la DREAL, en bonne intelligence avec la Région qui souhaitait son avis, lui ont permis de faire prendre en compte dans la Stratégie des éléments sur la durabilité :

« Ça s'est traduit dans le document par quand même une inflexion, en disant il faut développer une méthanisation durable, qui tient compte de la ressource en cours, et cetera. Ce n'est pas on développe plein pot et puis voilà. » (Agent de l'administration)

Les contours de cette méthanisation durable sont ceux présentés en 2.3.1, caractérisés globalement par une approche normative de la durabilité qui incite aux bonnes pratiques et appelle à la prévention des risques.

3.1.2 Des critères de durabilité progressivement introduits pour conditionner les subventions de la filière

L'ADEME a également introduit progressivement des critères agroenvironnementaux dans ses AAP, sous l'influence des acteurs de l'environnement. L'ADEME soutient historiquement en France la méthanisation en tant que « *technologie de valorisation des déchets et de production d'énergie* » (cf. Chapitre 3). L'allocation des subventions est dimensionnée sur des critères technico-économiques de production d'une énergie renouvelable¹⁴⁹. Du matériel d'épandage de digestat n'est par exemple pas éligible à des subventions dans les financements ADEME, car il n'entre pas dans les fonctions « production d'énergie » ou « valorisation de déchet »¹⁵⁰. Ce champ d'expertise n'a pas empêché l'ADEME au niveau national et régional de proposer des soutiens à l'investissement conditionnés de plus en plus ces dernières années à des critères de durabilité agroenvironnementale. Ces critères sont non réglementaires, ils sont pris en compte dans la sélection du projet, mais peuvent varier d'une région à l'autre ou d'une année à l'autre. Chaque direction régionale de l'ADEME peut introduire des critères non réglementaires spécifiques dans le cahier des charges de l'AAP.

« La réglementation impose un maximum de 15 % en tonnage entrant de cultures énergétiques, ce qu'on appelle les cultures dédiées. Ces 15 % c'est réglementaire, national, donc ça on demande et on vérifie que ce soit appliqué, par contre l'introduction en méthaniseur de produits tels que les CIVE, donc les cultures intermédiaires à vocation énergétique, on les limite globalement à 30% ». (ADEME)

L'ADEME a ainsi introduit autour de 2014 un pourcentage maximal de cultures (CIVE et cultures énergétiques) dans l'approvisionnement, pourcentage qui s'est stabilisé à 30% en 2018, alors qu'au niveau national, la législation a limité, en 2016 (Décret n° 2016-929 du 7 juillet 2016 pris pour l'application de l'article L. 541-39 du code de l'environnement, 2016) l'approvisionnement à 15% de cultures dédiées. En 2017¹⁵¹ dans les AAP Méthanisation, les critères liés aux pratiques agricoles concernaient la part de cultures (dédiées + CIVE) et les bonnes pratiques d'épandage : « *Mettre en place des techniques d'épandage* » et « *Assurer un retour au sol du digestat en valorisant 100 % du digestat sur des terres sécurisées*¹⁵² ». D'autres critères non réglementaires sont pris en compte dans les cahiers des charges de 2017 à 2019 : le rayon d'approvisionnement en intrants et la sécurisation du plan d'approvisionnement. Ces critères ne sont pas directement liés aux enjeux agroenvironnementaux, mais se réfèrent à la sécurisation du business model et au bilan de GES.

L'évolution des critères est discutée collégalement, depuis 2016, par les membres participant au jury de l'AAP. Chaque acteur du jury contribue selon son expertise (réglementaire, technique, territoriale).

¹⁴⁹ Dans ses appels à projet, l'ADEME octroie une aide à l'investissement selon des critères techniques et financiers, sur justificatifs techniques et financiers. L'aspect central analysé par l'ADEME pour allouer les aides est l'intérêt technico-économique du projet et son respect de la réglementation. L'aide est dimensionnée en vue d'un certain temps de retour sur investissement.

¹⁵⁰ De même sur les méthaniseurs de station d'épuration, l'ADEME pourra financer l'épurateur mais par la partie traitement de l'eau.

¹⁵¹ L'autrice n'a pas réussi à avoir accès aux cahiers des charges des appels à projet pré 2016 des anciennes régions, et à celui du Grand Est de 2016.

¹⁵² Au sens de l'AAP, des terres « sécurisées » sont des terres auxquels le porteur de projet est sûr d'avoir accès pour son épandre son digestat.

Entre 2020 et 2022, face aux controverses sur le territoire et au nombre croissant de projets, les membres du jury ont fait évoluer les critères des AAP pour introduire davantage de critères agroenvironnementaux.

« C'est histoire de durcir un peu, vu le nombre d'installations, et ça nous permet derrière aussi de prendre les dossiers qui sont les plus intéressants. Ces décisions sont prises collégalement. Pas plus tard qu'hier on a eu une réunion avec la DRAAF, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, l'Agence de l'eau Seine-Normandie, DREAL, Région bien sûr, avec lesquelles on discute par rapport justement à l'appel à projets suivant, lancé fin juin. » (ADEME - 2021)

L'Agence de l'eau porte dans l'AAP les enjeux de pollution de l'eau. En effet l'agence tout comme d'autres acteurs de la gestion effective observaient sur les fermes le développement de mauvaises pratiques d'épandage, liées à un manque de volume de stockage de digestat. Cet enjeu s'est traduit par une recommandation dans la Stratégie Régionale Méthanisation, et a ensuite été intégré à l'AAP ADEME :

« Si on prend l'Agence de l'eau, eux sont très friands de ne pas dégrader tout ce qui est captage d'eau, les soucis qu'il peut y avoir au niveau des cours d'eau, donc ils ont des desideratas que l'on prend en compte, qu'ils vont nous présenter avant ou qu'on connaît, on discute avec eux et on essaie de les intégrer, voir de quelle façon on peut le faire. Ça n'aboutit pas toujours. » (ADEME)

La décision collégiale de sélection de projet intègre les avis des membres du jury comme celui de la DREAL, mais c'est l'ADEME qui prend la décision finale. Les critères sur les bonnes pratiques de gestion du digestat, ont ainsi été rajoutés dans les AAP 2020 et 2022, suite aux échanges notamment avec l'Agence de l'eau et l'inspection des Installations classées. Le critère d'un stockage de digestat, de minimum huit mois, a été ajouté, au lieu des 4 mois réglementaires à l'époque. Dans les AAP 2020 et 2022, l'ADEME demande pour la première fois de joindre au dossier un ensemble d'attestations « d'Engagement à suivre les bonnes pratiques agro-environnementales ». Dans l'AAP 2022, ces attestations portent sur : 1/Les CIVE et les cultures énergétiques annuelles (exemple Figure 38 : « Attestation d'engagement à suivre les bonnes pratiques agro-environnementales pour les CIVE et les cultures énergétiques) ; 2/ Les bonnes pratiques d'épandage conformes à la fiche technique « DIGESTATS DE METHANISATION – Optimiser le retour au sol pour profiter des bénéfices agronomiques et économiques » ; 3/ La sécurisation du plan d'approvisionnement et de l'épandage ; 4/Le maintien des prairies permanentes et descriptif des systèmes de culture. Les porteurs de projets doivent également signer une « Charte pour le développement de la méthanisation en Grand Est ». Les critères de l'AAP 2022 sur les CIVE ont été imposé par la direction nationale de l'ADEME.

Attestation

ENGAGEMENT A SUIVRE LES BONNES PRATIQUES AGRO-ENVIRONNEMENTALES POUR LES CIVE ET LES CULTURES ENERGETIQUES ANNUELLES

Préambule :

1. Une attestation est demandée par entité apporteuse de sous-produits. Ainsi il devra être transmis autant d'attestation qu'il y aura d'apporteurs de sous-produits.

Je soussigné Prénom NOM, agissant en qualité de Gérant, président... de Nom de la structure apporteuse de substrats s'engage à suivre les bonnes pratiques agro-environnementales pour les CIVE et les cultures énergétiques annuelles telles que décrites ci-dessous :

1. Considérer les CIVE d'hiver de préférence aux CIVE d'été, de meilleure réussite agronomique et leur développement étant moins soumis à la disponibilité de la ressource en eau.
2. En cas de CIVE, éviter le recours à l'irrigation et la fertilisation.
3. Ne pas recourir aux traitements phytosanitaires pour la production de la biomasse énergétique.
4. Mettre en œuvre une fertilisation exclusivement organique des cultures (via l'utilisation des digestats du méthaniseur notamment) et en tenant compte des reliquats de fertilisation de la culture précédente (fertilisation pilotée).
5. Privilégier des itinéraires culturaux simplifiés pour l'implantation des CIVE.
6. Si je suis éleveur, respecter un principe de non concurrence avec l'alimentation animale en réalisant un bilan fourrager indiquant l'autonomie des exploitations qui alimentent l'unité de méthanisation.
7. Dans le cas de cultures énergétiques annuelles, je m'engage à respecter également à respecter les points 3, 4 et 5. Je m'engage également à mettre à disposition les éléments justifiant du respect de la limite des 15% en tonnage en introduction du méthaniseur.
8. Ne pas épandre de digestats sur sols nus.

Fait à

Le

Prénom Nom et signature

Nom de la structure :

Cachet de la structure

Figure 38 : « Attestation d'engagement à suivre les bonnes pratiques agro-environnementales pour les CIVE et les cultures énergétiques annuelles ».

Source : AAP 2022 Méthanisation, téléchargeable sur le site de l'ADEME (ADEME, 2022).

La sélection des projets en 2022 intègre de nouveaux critères de durabilité agroenvironnementale, critères qui se sont renforcés au fil des ans et du retour d'expérience de la filière. Un agent de la DREAL souligne toutefois la difficulté de s'assurer via les AAP que les projets financés réalisent vraiment les choix techniques optimaux pour la gestion du digestat, car cela nécessiterait de leur demander un dossier administratif beaucoup plus lourd, ce qui n'est pas envisageable dans un appel à projets. Un membre du jury souligne également la difficulté de s'assurer, via les AAP, que les projets financés réalisent vraiment les choix techniques optimaux requis par la signature des attestations. Ces critères restent en effet évalués sur du déclaratif *a priori*. A travers son approche de signature de chartes,

l'ADEME fait l'hypothèse que la connaissance des bonnes pratiques et l'engagement sur l'honneur des agriculteurs favorisera leur respect.

3.2 Instruction des dossiers par les services de la DREAL : des compétences réglementaires limitées pour instruire les enjeux de durabilité

La DREAL, via ses différents services, en 2022, instruit les conflits d'usage sur les installations de cogénération entre 300 et 500 kWe de puissance installée¹⁵³, vérifie la conformité réglementaire des intrants des installations en injection, et instruit les dossiers ICPE.

Un premier service de la DREAL est en charge de l'accompagnement au développement des énergies renouvelables, telle que la méthanisation. Il instruit les dossiers de méthanisation au titre du Code de l'énergie. Il rend les avis du préfet sur le plan d'approvisionnement pour les installations de cogénération entre 300 et 500 kWe de puissance installée (Encadré 9). L'avis est favorable ou défavorable, selon qu'il y a ou non un risque identifié de conflit d'usage dans le plan d'approvisionnement. Dans les faits, l'avis de la DREAL ne diagnostique pas souvent de concurrences d'usage problématique et les avis émis sont généralement favorables. La réglementation n'est en effet pas contraignante en termes de charge de la preuve : les porteurs de projets doivent informer où en est leur contractualisation (volumes et fournisseurs), sans fournir les contrats. La coutume préfectorale est donc de donner un avis favorable, à condition que la réglementation des 15% de cultures énergétiques soit respectée, s'il y a plus de 60% d'effluents d'élevage dans le plan d'approvisionnement et si les unités ont un seuil d'autonomie déclaré autour de 75%. La DREAL a surtout pouvoir d'alerter et de demander des compléments ou modifications aux porteurs de projets, et ses avis se fondent sur des éléments déclaratifs. Ce service de la DREAL rend aussi des avis pour la cellule biomasse (constituée de l'ADEME, de la DREAL et de la DRAAF) dans le cadre des appels d'offre nationaux biomasse ou biométhane, qui concernent les projets supérieurs à 500kW et à 300 Nm³/h¹⁵⁴. L'avis rendu pour ces projets beaucoup plus rares, concerne aussi le plan d'approvisionnement.

Concernant l'injection, il n'y a pas d'instruction de conflits d'usage de la biomasse au titre du Code de l'énergie. Jusqu'en novembre 2020, selon l'article R446-3, la DREAL délivrait une attestation ouvrant droit au tarif d'achat du biométhane produit, entre autres sous conditions de la conformité réglementaire du plan d'approvisionnement (nature des intrants). Avant 2020, la DREAL devait aussi délivrer une nouvelle attestation pour les demandes d'augmentation de puissance, mais le nouveau tarif de 2020 a supprimé cette procédure.

¹⁵³ Selon l'annexe III de l'arrêté tarifaire du 13 décembre 2016 qui fixe le mode d'instruction. Les installations plus petites sont moins considérées comme à risque de concurrence d'usage, les installations plus grandes dépendent d'un appel d'offre CRE.

¹⁵⁴ Depuis le nouvel arrêté tarifaire de novembre 2020

Extrait de l'Annexe III de l'Arrêté du 13 décembre 2016 fixant les conditions d'achat pour l'électricité produite par les installations utilisant à titre principal le biogaz produit par méthanisation de déchets non dangereux et de matière végétale brute implantées sur le territoire métropolitain continental d'une puissance installée strictement inférieure à 500 kW telles que visés au 4° de l'article D. 314-15 du code de l'énergie

Le préfet rend un avis défavorable dans les cas suivants :

- lorsque le volume des ressources identifiées pour l'approvisionnement de l'unité amont ne permet pas d'envisager un fonctionnement performant de l'installation (disponibilité annuelle minimale de 6 500 heures équivalent pleine puissance) ;
- lorsqu'un conflit d'usages sur la ressource est identifié ;
- lorsque le plan d'approvisionnement n'est pas conforme aux dispositions de l'annexe II. [NB : l'Annexe 2 référant au seuil des 15% de cultures énergétiques]

Encadré 9 : Arrêté fixant le mode d'instruction par la DREAL pour la délivrance de l'avis préalable du Préfet.

L'inspection des installations classées de la DREAL instruit les dossiers ICPE au titre du Code de l'Environnement. Aux différentes classes correspondent différentes exigences réglementaires (cf. Encadré 5 au chapitre 3) : les dossiers de « Déclaration » sont moins lourds administrativement que les dossiers d' « Enregistrement », eux même beaucoup moins lourds que les dossiers d' « Autorisation ». Au dire d'un agent de l'administration, les dossiers de « Déclaration » et d' « Enregistrement » reposent principalement sur du déclaratif, tandis que les dossiers d' « Autorisation » doivent prouver que leur activité n'aura pas d'impacts sur l'environnement.

*« Un dossier de Déclaration, la personne informe le préfet qu'il va monter son méthaniseur, ça s'arrête là. Le préfet va lui envoyer les règles de base à respecter. C'est tout. En Enregistrement, l'exploitant va avoir les règles de base, il va expliquer de manière assez succincte comment il compte respecter les règles de base, mais déjà c'est plus ou moins du déclaratif et puis ça ne va pas très très loin. Le dossier d'autorisation, c'est nettement plus compliqué puisqu'on doit prouver que l'activité dans son contexte propre, en tenant compte de tout un tas de trucs – les espèces protégées, le paysage, le vent, les habitations –, n'aura pas un impact significatif ou aura un impact acceptable. C'est pour ça que ça devient très très très compliqué tout de suite. »
(Agent de l'administration)*

Actuellement la majorité des dossiers de méthanisation agricole sont montés en Déclaration ou en Autorisation, en lien avec leur taille (traitement de moins de 100 tonnes/jour d'intrants). Cela est lié à l'élargissement de la classe ICPE « Enregistrement » en 2018, qui a relevé son seuil maximal de 60t/jour à 100t/jour (cf. Chapitre 3). Si le dossier ICPE est réglementairement conforme, l'Inspection des ICPE propose au préfet de valider l'autorisation :

« Ce qui est un peu un problème sur la méthanisation, c'est qu'en installations classées on n'a pas le droit de préjuger d'un fonctionnement déviant. Si le dossier sur le papier est compatible, on est obligé de proposer au préfet de valider l'autorisation, même si au fond de nous on se doute bien que ça va dérapier. » (Agent de l'administration)

L'instruction des projets de méthanisation agricole les plus courants (cogénération ou injection en classe ICPE Autorisation) est donc réalisée par la DREAL majoritairement sur la base d'éléments

déclaratifs. Entre 2018 et 2020, la réglementation sur les conflits d'usage en injection et les classes ICPE s'est assouplie au détriment des exigences environnementales, dans l'optique de faciliter le développement des projets (cf. chapitre 3). Les services de la DREAL ont également peu de pouvoir réglementaire et d'outils pour « objectiver » les enjeux des dossiers qu'ils instruisent.

3.3 Mise en œuvre des projets : les acteurs en charge de l'environnement manquent de moyens et d'outils pour suivre et évaluer les effets de la méthanisation

Nous analysons dans les paragraphes qui suivent les conditions de suivi et de contrôle des critères de durabilité (réglementaires et non réglementaires) inscrits dans la politique régionale.

3.3.1 *ADEME et DREAL : un manque de moyens et des compétences réglementaires limitées pour suivre la mise en œuvre des projets*

Les conditions de mise en œuvre des projets de méthanisation ne sont pas contrôlées sur le terrain par l'ADEME une fois les subventions allouées. L'ADEME n'a, en effet, pas de compétence de contrôle de la réglementation, ni des critères non réglementaires.

« Le problème c'est qui contrôle ? C'est ça le débat. Quand vous avez des restrictions de personnel un peu partout, que ce soit à l'ADEME, à la DREAL... Puis nous notre rôle à l'ADEME ce n'est pas de contrôler, on n'a pas de rôle de contrôle, (...). Par contre, la DREAL a un rôle de contrôle mais quand vous n'avez pas assez de personnel, vous faites comment ? Vous ne pouvez pas ! Donc là il y a un problème, on est effectivement sur du déclaratif. » (Agent de l'ADEME)

Pour suivre le fonctionnement des projets subventionnés et leur devenir, l'ADEME a mis en place un dispositif de récupération de données techniques. Cela doit lui permettre de vérifier que le projet réalisé correspond au projet subventionné¹⁵⁵. Les porteurs de projets s'engagent normalement à transmettre des données techniques dans les 4 années qui suivent le projet, avec pour preuve les factures payées et les chiffres des performances techniques de l'UM. Mais la mise en œuvre réelle des projets est difficile à suivre, car elle repose sur du déclaratif et sur la bonne volonté des porteurs de projets. L'ADEME assure ainsi la récupération des données sur la première année mais la déclaration les 3 années qui suivent est plus fluctuante malgré la mise en place d'une plateforme internet (nommée SINOE) pour essayer d'automatiser la remontée d'informations. L'ADEME manque en effet de ressources et de temps pour faire remonter ces informations.

La DREAL cherche également à recueillir des données à déclaration obligatoire auprès des porteurs de projets. Comme pour l'ADEME, cette remontée d'information n'était pas aisée ces dernières années et la DREAL ne parvient pas toujours à obtenir les données à déclaration obligatoire.

« Pour être sincère, d'eux-mêmes, on a quelques porteurs de projets qui vont nous envoyer parce que leurs acheteurs leur demandent tous les ans de justifier leurs primes donc de justifier les intrants. De temps en temps, on en a certains qui nous envoient la copie de ce rapport. Il est très succinct. Par exemple, pour l'injection, on a P1, P2, P3 les trois primes, on ne sait pas ce que c'est, on ne sait pas les quantités (...). Pour les contrats (...) qui sont censés fournir plein d'informations en BG16, on n'a quasiment personne. (...) Pour les anciens contrats 2011, on en

¹⁵⁵ Ce « droit de regard » de l'ADEME ne concernent que les projets qui demandent des subventions.

a plus qui nous envoie, mais alors là, c'est tellement light qu'on n'a rien quasiment. On a à peine la quantité d'intrants qui rentre et pas le détail, ça dépend. » (Agent de l'administration - 2022)

Les porteurs de projets ont, de fait, des obligations administratives multiples (et évolutives¹⁵⁶) assez lourdes liées au méthaniseur (cf. chapitre 4).

« Ce n'est pas toujours compris par les exploitants parce qu'un exploitant qui est soumis à enregistrement doit un rapport au titre des ICPE, il est inspecté assez régulièrement par les ICPE, l'agrément sanitaire va aussi venir le voir. S'il est en cogénération, il [peut-être] sollicité par (...) la CRE, pour qu'il remplisse des questionnaires, l'enquête annuelle. Des fois, ils sont soumis [au registre des émissions polluantes], ils doivent remplir des trucs pour les émissions. Et en plus, régionalement, on leur dit il faudrait ça. Donc ce n'est pas toujours accepté, mais ça reste une obligation » (Agent de l'administration)

Comme prévu dans le SRB, pour réaliser plus efficacement ces suivis, l'ADEME a mis en place un nouveau dispositif au niveau de la région, qui se nomme l'Observatoire de la méthanisation. L'idée de ce dispositif, autour duquel s'associent ADEME, la Région et la DREAL, est de faire remplir aux méthaniseurs un questionnaire qui permette d'obtenir les données pour répondre à leurs différentes obligations de déclarations. En 2022, le Ministère de l'Énergie a insisté pour que les DREAL récupèrent les rapports concernant les intrants. En juillet, 154 installations (pour près de 214 installations fin 2021) avaient fait remonter des informations. Le dispositif « centralisé » coordonné par l'ADEME, en lien avec la DREAL et la région, semble donc être un moyen plus efficace pour recueillir toutes les données à déclaration obligatoire. Il permet aussi à la région et à la DREAL de centraliser des informations sur la filière, et de réaliser un suivi de la consommation de la biomasse, pour faire le lien avec le SRB. Ce dispositif n'est pour le moment pas à visée de contrôle, il sert simplement à observer ce qu'il se passe dans la filière. Théoriquement, la déclaration de certaines données techniques obligatoires auprès de la DREAL joue un rôle dans l'allocation des subventions publiques¹⁵⁷. Mais ce lien-là n'est pas encore regardé par les services de l'État en Grand Est, qui n'ont pas les outils pour relier ce que les porteurs de projets déclarent réaliser et les contrats initiaux. De plus, au titre du Code de l'énergie, il n'est pas toujours facile de donner des suites à l'identification d'un non-respect de la réglementation. La suspension des contrats serait une option, mais les moyens règlementaires pour le faire ne sont pas clairs.

« La thématique du contrôle au titre du Code de l'énergie je dirais est assez récente et n'a pas été très poussée au niveau du ministère. Ce n'est pas la spécialité de ce ministère-là, enfin, de la Direction générale, c'est plus l'apanage de la DGPR, de vraiment des spécialistes de l'inspection. Nous, on est plutôt débutant sur ce thème-là, et avec le Code de l'énergie, on le sent, on a moins de pouvoir d'enquête, de contrôle et de sanctions. » (Agent de l'administration)

Or deux acteurs (un de l'administration et un de la filière) constatent des incohérences entre ce qui est déclaré à la DREAL et ce qui se développe en Grand Est. D'après eux la consommation de cultures énergétiques est sous-estimée car ce qui est déclaré à la DREAL ne permettrait pas de produire l'énergie réellement produite sur le territoire. La DREAL constate en cohérence avec ce diagnostic, que dans les remontées de terrain de sites en injection, une marge à l'interprétation sur la définition des CIVE pourrait conduire à une sous-déclaration des cultures énergétiques méthanisées : comme montré en chapitre 4, la distinction entre CIVE et cultures principales est, pour certains méthaniseurs, ténue.

¹⁵⁶ De nouvelles obligations seront bientôt introduites pour les grandes installations au titre de la directive REDII.

¹⁵⁷ Par exemple selon le pourcentage d'effluents d'élevage, l'agriculteur aura une prime aux effluents plus ou moins élevée.

Par manque de ressources (temps, outils, compétences règlementaires), la DREAL et l'ADEME réalisent ces dernières années un suivi partiel du développement de la filière, à partir des données déclaratives que font remonter les agri-méthaniseurs. Il est donc difficile de dire si le développement de la filière se fait en cohérence avec les critères qui ont présagé à son développement. La coopération croissante entre ADEME et DREAL devrait favoriser le suivi dans les années à venir.

3.3.2 Des acteurs de l'environnement en manque de moyens pour contrôler la filière et objectiver ses effets

L'inspection des installations classées est en charge du contrôle des ICPE. Elle met en place des contrôles ciblés ponctuels souvent liés à des questionnements ou des problématiques qui remontent des territoires. En général, il y a un faible contrôle des installations de la classe « déclaration », car les inspecteurs sont surchargés de travail. Ils vont donc privilégier le contrôle des classes « Enregistrement » ou « Autorisation ». Les unités de méthanisation en classe « Déclaration » sont aussi historiquement les plus nombreuses.

« Compte tenu de la répartition entre autorisations etc., et surtout le nombre de fonctionnaires et inspecteurs derrière, il y a, on va dire, pas de contrôle sur les installations qui sont soumises à simple déclaration. Et il n'y aura des contrôles que quand on va avoir des plaintes ou des vrais problèmes relevés sur le terrain. (...) Je nuance un petit peu. Ça c'est vrai quand l'inspection relève des [Unités départementales (UD)] des DREAL, pour les UD qui dépendent des DDPP et des DDETSPP, il peut y avoir un petit peu des contrôles sur du déclaratif, mais ça dépend » (Agent de l'administration)

Certains contrôles sont périodiques et obligatoires : l'inspecteur va contrôler certains éléments de l'ICPE, faire un rapport à l'exploitant et aussi au préfet s'il observe des non conformités, les services de contrôle devant ensuite suivre le dossier s'ils ont le temps. Dans les faits, ils n'en ont pas souvent le temps. Ce manque de moyens pour le contrôle est confirmé par un rapport de la Cour des comptes (Cour des comptes, 2021), de même que le moindre contrôle des installations liée à la hausse du nombre d'ICPE en France et à l'assouplissement de la réglementation applicable aux ICPE agricoles. La difficulté du travail de contrôle peut aussi influencer ce qui est contrôlé :

« On va peut-être plus avoir des contrôles sur le côté accidentel, parce qu'il prime en termes de hiérarchie, que le côté chronique. Et en plus de ça, le côté accidentel est souvent plus facile à contrôler que le chronique. On va regarder s'il y a tel capteur, si le capteur a bien été vérifié, s'il y a telle barrière qui va accepter de la suppression sur un équipement. C'est facile. Enfin, il faut y aller mais c'est facile. Tandis que mesurer la teneur des gaz sur du long terme, ça veut dire diligenter des analyses ou alors récupérer des analyses donc c'est un petit peu plus compliqué en général à faire. » (Agent de l'administration)

La DREAL travaille aux côtés des Agences de l'eau (Rhin-Meuse, Seine-Normandie et Rhône Méditerranée-Corse) à la mise en œuvre de la directive Nitrate, et à la protection de la ressource en eau. La protection de l'eau est gérée au niveau des bassins, la DREAL suivant les aspects législatif et réglementaire tandis que les Agences de l'eau collectent les taxes sur l'eau et mènent des actions d'amélioration de la qualité de l'eau, dans le but d'aider à la mise en œuvre de la réglementation.

Le service SEBP de la DREAL a peu de pouvoir réglementaire : il peut interpellé mais n'a pas de pouvoir d'instruction des dossiers, d'allocation des aides ou de contrôle. Ce sont les unités départementales qui dépendent de la DREAL qui ont une compétence de contrôle des plans d'épandage¹⁵⁸. Elles contrôlent le cahier d'enregistrement des pratiques d'épandage, dans lequel l'agriculteur déclare ses pratiques. Or, comme évoqué précédemment, la DREAL et l'Agence de l'eau enquêtée identifient sur le territoire (via leurs interactions avec les Chambres d'agriculture ou des agriculteurs) des problèmes de pollution de l'eau par les nitrates qui s'accroissent ces dernières années. Ces acteurs soulignent qu'ils n'ont pas de preuve scientifique du lien causal entre développement de la méthanisation et augmentation des pollutions, ni de données sur le caractère générique de ses pollutions, mais ils identifient d'un côté certaines logiques de gestion du digestat réputées polluantes et de l'autre des taux de nitrates particulièrement élevés dans certains bassins versants. Les acteurs enquêtés rapportent différentes pratiques qu'ils estiment polluantes : des épandages de digestat déconnectés des besoins des plantes, à cause des contraintes de stockage (logiques documentées en chapitre 4) ; des intercultures fertilisées qui entraînent des excédents d'azote ; des logiques d'épandage au niveau territorial qui favorisent la concentration des matières organiques sur certaines parcelles (des matières organiques ne sont pas épandues là où elles ont été exportées). Les résultats des chapitres 4 et 5 confirment que la gestion du digestat sur les fermes pourrait être à l'origine de pollutions de la ressource en eau. Des analyses approfondies doivent encore être menées pour établir cette causalité, mais la gestion des digestats apparaît être un enjeu important du développement de la méthanisation pour les acteurs de l'environnement. Une difficulté, selon l'Agence de l'eau, est la prise en repoussoir de méthaniseurs « peu vertueux », qui invisibilisent les enjeux généraux de gestion des digestats :

« Il y a des méthaniseurs qui fonctionnent de manière catastrophique et c'est souvent ceux-là qui sont cités. Et au final, on se refuse de continuer à parler de ceux-là (...) on veut vraiment parler du ventre mou central, qui n'est pas blanc et pas noir, mais qui est gris et pour nous le problème c'est ce gris-là, et c'est ce gris sur lequel il y a des mauvaises gestions des cultures dédiées, des épandages, des mauvaises gestions des digestats et c'est là-dessus qu'il faut porter notre effort (...) [et] notre attention » (Agent de l'Agence de l'eau)

Un agent de l'administration constate que la réglementation n'est pas pensée pour encadrer les nouvelles pratiques d'épandage, et donc que les outils réglementaires des services de la police de l'eau permettent difficilement d'aller à l'encontre des pratiques polluantes. Les pratiques d'épandage de digestat sont considérées comme « *quasi incontrôlables* », car les inspecteurs ne peuvent pas concrètement savoir le volume qu'un exploitant va mettre dans son champ. Par ailleurs, dans le cadre du cahier des charges Dig (Arrêté du 22 octobre 2020 approuvant un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation d'intrants agricoles et/ou agro-alimentaires en tant que matières fertilisantes - Légifrance, 2020), le digestat sort du plan d'épandage, donc la DREAL n'a plus de droit de regard sur les pratiques d'utilisation du digestat. La DREAL manque aussi de ressources humaines¹⁵⁹ et financières pour faire respecter la directive nitrate et contrôler des plans d'épandage de plus en plus complexes.

Ces acteurs s'interrogent, en lien avec des acteurs du territoire, sur d'autres enjeux dont ils ne peuvent pas vérifier les liens causaux avec la méthanisation : « *Je n'ai pas de publication scientifique là-dessus, j'ai plus des remontées terrain et les constats (...) que les terrains qui reçoivent beaucoup de digestat*

¹⁵⁸ Le plan d'épandage encadre les doses épandues et les parcelles sur lesquelles elles sont épandues

¹⁵⁹ Les moyens sont réduits au niveau de la police de l'eau ces dernières années.

n'ont pas forcément un fonctionnement terrible d'un point de vue microfaune derrière» ; des retournements de prairies ont toujours cours même s'ils sont plutôt limités par la réglementation, et il est difficile de dire s'ils sont liés à la méthanisation ; il y a une augmentation de la surface en maïs sans augmentation conjointe du cheptel, c'est possiblement la méthanisation qui en est la cause.

Les acteurs de l'administration soulignent donc que les risques agroenvironnementaux de la méthanisation sont difficilement contrôlables, car ils manquent de moyens simples pour objectiver et suivre les nuisances potentielles. De plus, le manque de ressources humaines pour mener à bien le contrôle réglementaire ne permet pas de garantir l'effectivité de la réglementation ICPE.

3.3.3 Un manque de coordination entre les acteurs en charge de l'environnement

La DREAL et l'Agence de l'eau enquêtée travaillent donc de concert pour essayer de limiter les pollutions qu'elles observent. Leur premier axe de travail est la prise en compte dans la politique de gestion de l'eau des nouveaux risques qu'elles identifient. La DREAL espère faire adopter dans la révision du Programme d'action Nitrate régional et dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (le SDAGE), des critères sur des pratiques d'épandage. Cela pourrait faire évoluer les pratiques puisque l'inspection ICPE doit instruire les dossiers ICPE en cohérence avec ces documents. L'Agence de l'eau et la DREAL ont ainsi pour idée d'introduire des solutions ou règles facilement contrôlables, qui pourraient être à vocation pédagogique pour les agriculteurs. Un agent de l'Agence de l'eau propose, sans remettre en cause le fait que le digestat puisse être utilisé en agriculture biologique, qu'il soit considéré comme de l'N minéral, afin d'avoir les mêmes règles d'épandage : pas d'épandage sur sol nu, et pas d'épandage à certaines périodes de l'hiver. Un agent de la DREAL évoque aussi l'idée d'interdire l'épandage de digestat après moisson, pour limiter les risques de lixiviation de l'azote des digestats. Un agent de l'Agence de l'eau propose également d'intégrer obligatoirement dans l'investissement des projets le matériel nécessaire à la mise en œuvre du plan d'épandage (pendillard).

Un deuxième axe consiste à alerter les autres acteurs, et mettre en cohérence l'action de protection de l'eau avec celle des acteurs chargés du développement de la méthanisation. Car que ce soit au niveau des services de la DREAL ou de la Région, des dissonances sont identifiées entre les missions des services chargés de la protection de l'eau et ceux chargés du développement de l'énergie renouvelable « méthanisation ». Les services SEBP de la DREAL, chargés de la protection de l'eau, et le service TECCLA de la DREAL chargé de développer la méthanisation, travaillent peu ensemble. La DREAL Grand Est a aussi fait remonter au niveau national les enjeux identifiés sur l'eau « *[le directeur de la DREAL] est intervenu en session des directeurs de DREAL, qui a dit : « - On commence vraiment à avoir un problème sur la méthanisation ». Et le Ministère a ouvert des grands yeux en disant « - Ah bon ? pourtant c'est super vertueux etc. » Il dit « - Non, avec l'eau ce n'est pas terrible » ».*

3.3.4 Une peur de pénaliser les méthaniseurs vertueux dans la prise en charge de ces enjeux

Un point qui est ressorti de nos entretiens avec les différents services de l'Etat et Agences impliquées dans le développement de la méthanisation (ADEME, DREAL, Agence de l'eau) est la peur de pénaliser, par une réglementation renforcée, les agriculteurs qui mettent déjà en place les bonnes pratiques. Les encadrements réglementaires supplémentaires peuvent nuire aux agriculteurs qui ont déjà des pratiques vertueuses, en alourdissant les règles administratives :

« C'est compliqué parce que là, par exemple, on va essayer de brider les épandages de digestat, mais on voit bien qu'il ne faut pas non plus qu'on aille embêter des méthaniseurs qui sont issus de regroupements d'éleveurs. Pour eux, c'est plutôt tout bénéfique, même pour l'environnement, ça va leur apporter un complément de revenu et de stockage, donc le curseur va être difficile à positionner. Parce qu'en fait on n'a pas de critères entre le bon méthaniseur et le mauvais méthaniseur, on ne sait pas faire. » (Agent de la DREAL)

3.4 Une prise en compte progressive de l'enjeu de la protection de l'eau dans la gestion émergente ?

Ces dernières années l'Agence de l'eau se considérait comme plutôt isolée dans l'identification des enjeux de pollution de l'eau et leur lien avec la méthanisation. Lors de notre premier entretien début 2021, le questionnement qu'elle portait sur les effets de la méthanisation sur la qualité de l'eau n'était pas partagé par l'ADEME, la région ou la profession agricole. Le désaccord portait principalement sur l'« ampleur » des enjeux : l'Agence de l'Eau considérait que les enjeux de gestion du digestat concernaient la méthanisation en général, tandis que les autres acteurs considéraient que les problèmes concernaient des cas isolés. A cause de ce désaccord, l'Agence n'avait pas signé la Charte de méthanisation proposée par la région en 2019. Mais deux années après, au travail de l'Agence de l'eau et de la DREAL, s'ajoutent des retours concordants d'élus agricoles qui se font interpellés par des agriculteurs ou des agents des Chambres d'agriculture. Ces constats convergents sur le fait qu'il existe des problèmes sur le terrain, semblent contribuer à créer un début de consensus entre acteurs de la filière (Région, ADEME, DREAL, professionnels agricoles) sur la pertinence des questionnements de l'Agence de l'eau sur le digestat, et sur la réalité de nouveaux enjeux non anticipés.

« Au demeurant, la profession agricole, même la profession syndicale, nous demande, nous État, d'être plus strict par rapport aux gestionnaires de méthaniseurs qui font n'importe quoi parce qu'ils voient bien que ça va finir par leur exploser à la figure d'un point de vue médiatique. » (Agent de l'administration)

« On a rencontré tous les élus de la région qui sont bien conscients qu'il y a un problème, qui essaient de rencontrer l'ensemble des autres partenaires. » (Agence de l'eau)

L'agence de l'eau enquêtée considère que les promesses autour de la méthanisation et la marginalisation des dérives observées, a contribué à rendre difficile la considération et la prise en charge de certains enjeux qui apparaissent sur le territoire. Mais aujourd'hui une convergence d'un ensemble d'acteurs pourrait se dessiner, face aux enjeux qui montent du territoire. Ces signes semblent constituer les prémises d'une nouvelle phase d'action publique territoriale, où la politique régionale cherchera à mieux prendre en compte les enjeux de développement de la filière, dont la pollution de l'eau :

« Depuis [2019], la thématique a changé puisqu'on n'est plus sur « il faut le faire », c'est plutôt « il faut bien le faire ». Aujourd'hui, les politiques ont changé au niveau régional, c'est : « oui, on en a beaucoup, ça pose des questions. Il faut une filière exemplaire, il faut du contrôle. (...) Au départ l'État on n'en entendait même pas parler dans les discours de la Région, (...) c'était « il faut y aller » » (Agent de l'administration - 2022)

Les enjeux à venir concernent donc la capacité des acteurs de la gestion effective à intégrer davantage les préoccupations des acteurs de la gestion intentionnelle. L'Agence de l'eau se rapproche notamment davantage des Chambres d'agriculture pour mettre en place des solutions :

« Ah oui [on travaille avec les Chambres], ça veut dire que sur toute une série de secteurs on a déjà des premières chartes de méthanisation vertueuse, de cadrage, y'a des tas d'études en cours, des tas de propositions qu'on essaie de partager » (Agence de l'eau, 2022).

Il sera intéressant de voir concrètement comme cette potentielle réorientation influencera la mise en œuvre de la politique du biogaz, au niveau de la sélection des projets, de leur développement et de leur suivi.

DISCUSSION GENERALE DU CHAPITRE 5

Cette discussion de chapitre se divise en trois parties. Dans un premier paragraphe, nous revenons sur le rôle des promesses dans la structuration du système sociotechnique. Dans un second paragraphe nous analysons les enjeux de prise en charge de la durabilité au niveau du territoire, dans la mise en œuvre de la politique du biogaz. Dans un dernier paragraphe, nous discutons des liens entre le système sociotechnique du biogaz et le régime agricole dominant.

1 Contribution des promesses au développement du biogaz

Au niveau national, les promesses ENR et Agroécologique ont joué un rôle clef dans la mise à l'agenda politique du développement du biogaz (chapitre 2 et 3). Par rapport au niveau national (chapitre 3), on observe une mobilisation des promesses un peu différente par les acteurs du territoire du Grand Est : l'accent est davantage mis par les collectivités et les organismes agricoles sur la création de valeur, l'économie des territoires (promesse Revenu) et sur la promesse ENR que sur la promesse Agroécologique. En cohérence avec la littérature dédiée aux promesses technoscientifiques (Berkhout, 2006; Joly, 2010), les promesses ENR et Revenu sont mobilisées pour justifier et organiser la mise en œuvre de la politique nationale et contribuent à sceller une alliance entre professionnels du gaz, collectivités et professionnels agricoles dans le développement de la filière. Nos entretiens avec les agri-méthaniseurs montrent que la durabilité agroenvironnementale est rarement la motivation initiale des porteurs de projets agricoles, tandis que la promesse de revenu est au cœur de leur choix. C'est ensuite principalement des acteurs porteurs de la promesse ENR qui organisent le développement de la filière à travers l'expertise énergie de l'ADEME, des énergéticiens et des services Energie des Chambres d'agriculture.

Aux Pays-Bas (Raven & Geels, 2010), au Danemark (Geels & Raven, 2006), comme en France, les différentes promesses d'un biogaz multifonctionnel ont été structurantes de la construction de systèmes sociotechniques à la croisée des mondes agricoles et de l'énergie. Mais en Grand Est, la promesse Agroécologique apparaît peu présente. La vision d'une durabilité « naturelle » de la méthanisation est davantage mobilisée par certains acteurs de la gestion effective, pour désamorcer des critiques des acteurs de l'environnement concernant la gestion du digestat. Contrairement à l'échelon national, les acteurs régionaux ne portent pas cette promesse : on peut supposer que cette promesse répond peu aux intérêts des acteurs de la gestion effective, tandis qu'elle a peu de réalité concrète pour les acteurs de l'environnement, qui, via leur prisme fonctionnel, en identifient surtout les impacts négatifs. De plus, compte tenu de la configuration politique, les acteurs de la filière n'ont

pas besoin de faire valoir la promesse agroécologique sur le territoire (au contraire du niveau national) : ce n'est pas un levier discursif et politique utile dans les batailles qu'ils mènent. Cela renvoie aussi pour partie à la faiblesse structurelle des acteurs de l'Environnement sur le territoire.

2 Une politique publique peu apte à prendre en charge les nouveaux enjeux agroenvironnementaux

Nous montrons que les trois grands enjeux discutés à la fin du premier sous-chapitre (1.4) (conflits d'usage sur la biomasse, flux de carbone et d'azote, biodiversité des paysages) sont peu pris en charge dans la mise en œuvre de la politique du biogaz. Nous avons identifié au niveau territorial deux types d'instruments de politique publique pour prendre en charge ces enjeux agroenvironnementaux. Les premiers sont ceux issus des politiques de gestion de l'eau, qui sont mis à l'épreuve du développement de la méthanisation et de ses nouvelles pratiques de gestion des digestats. Les seconds sont les instruments pensés dans la politique du biogaz (15% de cultures énergétiques, prime aux effluents pour la cogénération et aux cultures intermédiaires pour l'injection, nomenclature ICPE). Mais, comme le montre le décalage entre la promesse agroécologique et certaines réalités agricoles et agro-environnementales, ces instruments peinent à prendre en compte les effets systémiques de la méthanisation sur les fermes et le territoire (chapitre 4 & 5).

Si la politique régionale a voulu évaluer le développement de la filière via le programme ACSE mené par les Chambres d'agriculture, ce programme appréhende surtout les tendances d'évolution des ressources naturelles et des pratiques, et peu les enjeux agroenvironnementaux (hors enjeux GES) en tant que tels. Ce programme prend également peu en compte les dynamiques d'évolution des systèmes, lacune que nous avons identifiée comme commune à beaucoup d'évaluations de la durabilité du biogaz (cf. chapitres 1, 2 et 4). De plus, les services de l'Etat chargés de la réglementation liée aux enjeux agroenvironnementaux ne disposent, pour suivre le développement de la filière ces dernières années, que de données déclaratives des porteurs de projets, qu'ils ont peu le temps d'analyser. Nous avons montré que ces données étaient difficiles à faire remonter des territoires, en raison de la charge administrative des porteurs de projet, des moyens restreints de l'administration et d'une réglementation (notamment ICPE) qui s'est assouplie entre 2018 et 2020 pour faciliter le développement de nouveaux projets (promesse ENR), au détriment du suivi d'autres enjeux. Les services de l'Etat ont aussi peu de personnel, dédié au contrôle des données déclarées sur le terrain. Il est possible aussi que certains enjeux de durabilité ne sont pas suivis par la filière (ex : biodiversité), parce qu'ils sont encore peu étudiés dans le monde académique. Carrosio (2013) fait aussi le constat en Italie d'un faible retour d'information concernant les effets agro-environnementaux réels aux acteurs de la filière biogaz. Il l'explique par (i) la mise en place d'une politique énergétique avantageuse et lisible qui ne considère pas les enjeux agronomiques et (ii) l'absence d'un système de suivi de la politique publique : « *Il est vrai que les méthaniseurs sont récents et qu'il n'y a donc pas eu beaucoup de temps pour les surveiller, mais il est aussi évident qu'il manque de systèmes organisés pour évaluer les différents effets de ces unités sur les systèmes de culture, l'utilisation des engrais et la biodiversité.* ». Si la politique publique française a cherché à prévenir certains enjeux agroenvironnementaux (via la limitation à 15% de cultures énergétiques ou la prime aux effluents), nous retrouvons en Grand Est un schéma similaire à celui de Carrosio, où les effets de la politique publique sont peu suivis et évalués. Nous suggérons que la volonté nationale forte de développer cette filière « ENR » jusqu'en 2020, et la

vision d'une méthanisation à la française « naturellement » durable ont contribué à construire un système sociotechnique en faible capacité de suivre les effets empiriques de la politique publique. Ainsi les administrations chargées du développement et du suivi de la filière n'ont pas de réels moyens pour identifier les méthaniseurs qui ne sont pas vertueux, de même qu'elles ont peu de moyens pour faire respecter la réglementation.

A la connaissance de l'auteur, les enjeux de mises en œuvre de la politique du biogaz ont encore peu été étudiés sous l'angle de leur évaluation. La littérature sur le sujet s'intéresse principalement aux instruments, freins ou leviers, du développement de la filière (voir Aggarwal et al., 2021; Nevzorova, 2022; Patinvoh & Taherzadeh, 2019). Nous montrons que la mise en œuvre de la politique du biogaz en Grand Est se confronte à des enjeux classiques de la mise en œuvre des politiques environnementales (Howes et al., 2017; Hudson et al., 2019), qui expliquent l'écart entre les objectifs des programmes politiques et leurs effets : une sous-estimation de la complexité des dynamiques de mises en œuvre (prise en charge administrative de la réglementation, facilité du changement technique), un mauvais cadrage du problème (« moutons noirs » versus problèmes génériques), une sous-évaluation des effets ou des dynamiques économiques contradictoires (concurrence sur la biomasse) avec les objectifs de la politique publique. De manière plus spécifique à la mise en œuvre sur le territoire, nous discutons les 3 problèmes suivants : (i) des objectifs de politiques publiques qui ont des implications parfois contradictoires ; (ii) des mesures réglementaires/ incitatives qui échouent à changer les pratiques ; (iii) une évaluation limitée des effets.

(i) Des objectifs qui ont des implications contradictoires au sein de la politique publique (énergie versus agroécologie). La prise en compte effective des différents objectifs de la politique publique dépend du système d'acteurs qui organise sa mise en œuvre (Busca, 2003). Nous montrons ainsi qu'au niveau régional, les acteurs de l'environnement ont une faible marge de manœuvre pour faire prendre en compte les enjeux agro-environnementaux dans le dispositif de politiques publiques : la politique nationale et la convergence d'intérêts entre les acteurs de gestion effective conduisent à une mobilisation des ressources orientée vers la production d'énergie, créatrice de valeur en agriculture. Face aux acteurs de la gestion effective, les enjeux de l'environnement sont portés par des acteurs minoritaires, d'ailleurs essentiellement des acteurs de la gestion de l'eau. De plus, comme souligné dans la littérature, la mise en œuvre à un niveau infranational, avec une certaine indépendance de l'autorité politique, conduit à une négociation des objectifs de la politique publique en lien avec le contexte local (Hudson et al., 2019; Norris et al., 2014). Dans notre cas d'étude, les objectifs de politiques agroécologiques n'apparaissent pas portés par les acteurs de la gouvernance régionale, contrairement aux objectifs de politiques énergétiques. Par ailleurs, les services chargés des enjeux agroenvironnementaux (concurrences d'usage ou pollution de l'eau) agissent « en silo », en réponse à différents objectifs de politiques publiques (développement des ENR, protection de l'eau), alors que leurs actions ont des effets qui s'avèrent contradictoires. Dans notre cas d'étude, c'est l'importance des pollutions de l'eau et des effets adverses dans le secteur agricole (mauvaises pratiques qui menacent l'acceptabilité de la filière) qui pourraient *in fine* faire converger certains acteurs de l'Environnement avec des acteurs agricoles.

(ii) Des mesures réglementaires et incitatives qui échouent à orienter vers des pratiques durables. Nous montrons que la limite des 15% de cultures énergétiques et le critère de non conflit d'usage sont des dispositifs réglementaires, que les services de l'état ont une faible capacité à évaluer et à contrôler en Grand Est. Cela interroge donc sur leur effectivité même si la limite des 15% semblent avoir favorisé le développement des cultures intermédiaires. La prime aux effluents est un dispositif

règlementaire qui apparaît faire ses preuves en contexte d'élevage : l'incitation économique conduit les agriculteurs à méthaniser des effluents. Les critères non règlementaires de l'ADEME (attestations, critères sur les CIVE, etc.) influencent la sélection des projets subventionnés selon les enjeux portés par les membres du jury. S'ils sont censés être contraignants, il est difficile d'en évaluer les effets notamment concernant les critères récents (e.g. non retournement de prairies). Ils n'apparaissent en tout cas pas pleinement efficaces concernant les bonnes pratiques d'épandages de digestat (cf. chapitre 4). L'efficacité des mesures règlementaires ou incitatives dépend notamment de la capacité des agriculteurs-destinataires à s'approprier les dispositifs (Busca, 2003; Halpern et al., 2014) et à rétroagir par leurs représentants professionnels sur la conduite de l'action publique (Busca, 2003). Nous montrons dans notre cas que l'appropriation des dispositifs de développement du biogaz semble réelle par rapport à l'objectif ENR de l'action publique, grâce à l'attractivité de la promesse Revenu et au soutien des organismes professionnels dans la mise en œuvre de la politique régionale. Au contraire, les effets agroenvironnementaux escomptés dans les promesses au niveau national sont peu pris en charge par les dispositifs de la politique publique, manquent de moyens dans la mise en œuvre, sont inégalement appropriés par les agri-méthaniseurs (selon leurs contraintes, ressources et intérêts propres) et ne sont pas portés dans le développement des projets par les organismes professionnels. Nous suggérons qu'une promesse Agroécologique centrée sur les effets directs des techniques y a contribué. Ainsi, dans la mise en œuvre comme dans l'appropriation des dispositifs, les pratiques négociées par les porteurs de projets apparaissent influencées de manière variable par les dispositifs de prises en charge des enjeux agroenvironnementaux. Busca défend l'idée que c'est davantage la montée en puissance d'un contre-pouvoir (dans notre cas, acteurs de l'environnement et agriculteurs promoteurs des bonnes pratiques) qui permettra d'aller vers des pratiques plus durables.

(iii) Une évaluation limitée, en raison de l'absence d'outils de mesure des effets agroenvironnementaux dans les instruments de politique publique. Nous identifions l'incapacité des acteurs de l'environnement à mesurer (donc prouver) les effets de la méthanisation comme une limite forte de l'évaluation de la politique publique. Comme souligné par les décalages entre les effets optimaux espérés et les pratiques empiriques, l'évaluation d'une politique nécessite de faire remonter « l'art et la technique »¹⁶⁰ de la mise en œuvre (Hudson et al., 2019). Or l'évaluation des effets environnementaux est aujourd'hui principalement suivie à travers des éléments déclaratifs, dont certains répondent à des objectifs peu précis comme la caractérisation du non conflit d'usage - les acteurs de l'Environnement peinent ainsi à les analyser. Cette difficulté se retrouve particulièrement dans le cas des dispositifs agro-environnementaux où la diversité des pratiques et des contextes agricoles rend peu pertinents le choix d'indicateurs standardisés et d'approches surplombantes. L'enjeu est alors de parvenir à ancrer les dispositifs d'évaluation de la politique dans des approches systémiques. Nous montrons que les approches systémiques sont indispensables pour penser une méthanisation levier de l'agroécologie, mais les compréhensions systémiques ne donnent pas aisément de prise à l'action publique (Aulagnier, 2020). Nous reviendrons sur ce point dans la discussion générale de thèse.

¹⁶⁰ Traduction de « art and craft »

3 Liens de la méthanisation au régime agricole dominant

La littérature des transitions sociotechnique nous aide particulièrement à penser le développement des innovations et la manière dont elles peuvent accompagner la transformation des régimes sociotechniques dominants vers plus de durabilité. Ce courant de recherche s'est structuré afin de sortir des analyses sectorielles du développement des techniques et de l'innovation : il invite à saisir le potentiel d'une innovation à travers les dynamiques de soutien ou de blocage à la transition des régimes sociotechniques, dans lesquelles l'innovation s'inscrit (Encadré 10).

Aperçu du champ des *Sustainable transition studies*

Ces dernières années, la littérature sur les transitions sociotechniques s'est considérablement étoffée. Elle propose différents modèles d'analyse du déploiement d'une technologie et de la gouvernance de ce déploiement. Ce cadre conceptuel postule que les innovations émergent et se diffusent au sein des systèmes sociotechniques, définis comme des collectifs d'acteurs et leurs interactions, leurs réseaux, les technologies qu'ils utilisent, leurs pratiques et connaissances, leurs représentations collectives, les normes et règles qu'ils adoptent (Rip et Kemp 1998) et qu'ils négocient (Geels et al. 2016). Le déploiement d'une nouvelle technologie ne dépend pas seulement de dispositions techniques ou matérielles (disponibilité de technologies complémentaires) mais des évolutions institutionnelles dans les structures, les idées, les normes et les valeurs d'une société (Rip et Kemp 1998). Un ou des systèmes sociotechniques configurent ainsi les dynamiques d'innovation associées au développement d'une activité de méthanisation. Le cadre offert par cette notion permet d'analyser quelles interactions la méthanisation renforce, crée ou transforme et quels facteurs freinent ou stimulent la transition vers plus de durabilité. Pour caractériser l'interdépendance stable entre les éléments d'un système sociotechnique, Rip (1995) introduit la notion de régime. Le « régime sociotechnique » est un système sociotechnique stabilisé autour d'une trajectoire technologique. Un régime n'est pas exempt de tensions internes ou de pression externe. La niche sociotechnique est au contraire un "espace protégé" au sens où elle est moins sujette aux interdépendances et verrouillages des régimes. Une niche n'est pas a priori transformatrice d'un seul régime. Elle peut mobiliser des solutions co-évolutives liées à plusieurs régimes et fonctions sociétales, et ses liens au(x) régime(s) sont plus ou moins forts (Sutherland, et al. 2015).

Encadré 10 : Présentation succincte du cadre théorique général des transitions sociotechniques (Reprise de l'Encadré 2).

Nous mobilisons cette littérature pour analyser nos résultats sous le prisme de la structuration du système sociotechnique du biogaz en Grand Est, et du potentiel transformatif de la technologie méthanisation par rapport au régime agricole dominant en France. Pour positionner les systèmes sociotechniques de la méthanisation par rapport au régime agricole, nous commençons par définir ce régime.

Le régime conventionnel agricole est un système sociotechnique stabilisé autour d'acteurs, de systèmes matériels (ressources, infrastructures) et de règles/institutions (Geels, 2002; Rip, 1995; Rip & Kemp, 1998) et orienté vers l'accomplissement de la fonction sociétale de production alimentaire. En pratique le régime conventionnel est caractérisé par l'objectif d'augmentation de la productivité (Ingram, 2015) : cet objectif structurant a conduit à un verrouillage progressif du régime autour de l'utilisation de pesticides sur des rotations peu diversifiées (Guichard et al., 2017; Magrini et al., 2019;

Meynard & Girardin, 1991). Ce « verrouillage sociotechnique »¹⁶¹ est caractérisé par « *des interdépendances qui relient l'ensemble des acteurs économiques [amont et aval] engagés dans la logique de systèmes agricoles pour lesquels les pesticides jouent un rôle de pivot.* » (Guichard et al., 2017). Les règles stabilisées du régime permettent en son sein des innovations incrémentales qui ne remettent pas fondamentalement en cause les règles du régime (Geels, 2002, 2011), mais freinent le développement de modes de production alternatifs (Seyfang & Smith, 2007), comme l'agriculture biologique. L'agriculture biologique peut justement être définie comme une « niche » c'est-à-dire un système sociotechnique, distinct du régime par ces « règles » et ses effets, et moins sujet aux interdépendances entre variables du régime. La *multi-level perspective* (Geels, 2002) postule que les interactions niches-régimes peuvent être à l'origine de la transition des régimes.

Nous reformulons alors notre question sur la durabilité du biogaz de la manière suivante : comment la méthanisation contribue-t-elle à conforter ou à réinterroger ce régime agricole dominant ? Nous montrons que, pour la plupart des fermes enquêtées, la méthanisation vient s'ancrer au territoire, sans remettre en cause les logiques de ce régime. La méthanisation est développée en lien avec les organismes professionnels classiques¹⁶² (Chambres d'agriculture) en collaboration avec les acteurs de l'énergie. Elle nécessite un endettement auprès des banques et est dépendante de subventions. Les matières agricoles méthanisées et certains coproduits agroindustriels sont similaires à ceux déjà négociés ou échangés sur les territoires. Les porteurs de projets agricoles tentent toutefois de se lier aux acteurs du régime des déchets pour sécuriser leurs approvisionnements, mais comme pour le marché des matières agricoles, les coopératives apparaissent des intermédiaires plus puissants que les agriculteurs pour se positionner dans la chaîne de valeur. La méthanisation attire en effet des acteurs, comme les coopératives, qui s'inscrivent dans le régime dominant, et participent au renforcement de ce régime. Au niveau des fermes, la recherche de productivité appliquée aux cultures est transposée sur les matières méthanogènes à travers la notion de potentiel méthanogène. Les pratiques adoptées s'inscrivent dans le système de savoirs du régime, dans la continuité des pratiques antérieures, avec des améliorations agroenvironnementales (économie d'azote minéral, développement de cultures intermédiaires) ou des dégradations (fertilisation et retournement de prairies permanentes) à la marge. Le développement de la méthanisation ne remet vraiment en cause, pour la plupart des fermes enquêtées, ni les réseaux d'acteurs agricoles, ni les logiques de spécialisation des assolements et des rotations, ni l'intensification des cultures. La méthanisation apparaît ainsi comme une innovation compatible avec le régime, fortement dominant en France (Guichard et al., 2017; Meynard et al., 2018) de l'agriculture intensive. Cette dynamique observée en Grand Est diffère du développement d'une méthanisation de niche en Lettonie, où le système sociotechnique du biogaz agricole a peu réussi à se développer et à s'hybrider au régime agricole dominant, car le sous-régime de la connaissance, porté par des acteurs académiques, était structuré sur la durabilité agroenvironnementale du biogaz, contrairement au régime de connaissance du régime dominant (Ingram, 2015). Mais comme dans la niche étudiée en Lettonie, nous montrons que les acteurs de l'environnement ont peu de prise sur le régime, parce qu'ils sont en dehors de celui-ci. De plus, nous montrons que comme en République Tchèque, deux grandes tensions du régime agricole ont donné une fenêtre d'opportunité au biogaz : le problème de revenus agricoles modestes et dépendants des marchés, et les enjeux du

¹⁶¹ Un système sociotechnique se verrouille autour d'une technologie ou d'une pratique en lien avec le fait que plus une technologie est adoptée plus elle devient attractive et performante, conduisant à des phénomènes d'auto-renforcement. Par exemple, en matière de pesticide, un déverrouillage ne peut être du seul fait des agriculteurs puisqu'ils ne disposent pas à eux seuls de leviers pour réduire significativement l'usage des pesticides.

¹⁶² Il aurait été intéressant d'analyser la sociologie de l'Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France

changement climatique (Martinát et al., 2013). Comme nous l'avons montré l'intégration de la méthanisation au régime dominant n'interdit pas certains bénéfices agroenvironnementaux significatifs (économie d'azote minéral, couverture des sols), ni certains nouveaux effets négatifs (pollution à l'azote, risques de tassement des sols). Mais si ces transformations peuvent améliorer chez certains agriculteurs leur bilan agroenvironnemental, elles ne remettent, en moyenne, pas fondamentalement en question leur manière de produire, et ont plutôt tendance à les conforter sur le plan économique. Comme les investissements en méthanisation sont élevés en comparaison à la valeur des fermes, nous suggérons que l'impératif de rentabilité peut contribuer à renforcer le verrouillage du régime dominant autour de la consommation d'intrants de synthèse dans des rotations peu diversifiées.

Mais nous identifions aussi que la méthanisation est un levier vers la niche « agriculture biologique » (AB). La transition vers l'AB en tant que forme radicale d'agroécologie implique en effet, selon (Altieri et al., 2017) une reconception en profondeur de systèmes agricoles autonomes, et indépendant des intrants de synthèse. En permettant l'augmentation des rendements grâce à la fertilisation au digestat, la méthanisation peut être un levier de la transition – notamment car elle augmente significativement les revenus issus de la vente des cultures. Cet avantage productif, que confère le digestat, répond d'ailleurs à une critique agronomique couramment faite à l'agriculture biologique d'une trop grande consommation de surfaces agricoles. Lorsque la méthanisation permet au système agricole d'intégrer la niche « agriculture biologique », le système sociotechnique biologique révèle davantage de bénéfices agroenvironnementaux à travers les connaissances et pratiques déjà stabilisées dans cette niche. De plus, elle en conforte le modèle économique. Nous avons cependant montré que cette niche AB peut conserver des liens forts (import d'azote) au régime agricole dominant, ou au régime des déchets, pour exister. La distinction niche-régime n'est alors plus si évidente puisque la niche dépend du régime. Cela réouvre le débat sur la « cooptation » des niches agroécologiques par le régime conventionnel (Dumont et al., 2020), en fonction des liens qu'elles établissent avec celui-ci. Il serait intéressant de mieux documenter comment une niche AB, indépendante du régime dominant, pourrait accueillir la méthanisation. En effet la conversion en agriculture biologique ne peut se passer, comme évoqué au chapitre 4, d'un développement fort des cultures fixatrices de l'azote : il faudrait donc que la méthanisation, qui rend davantage d'azote disponible sous forme minéral, ne freine pas ce point de passage obligé.

Nos travaux montrent, dans la suite des travaux de Lazarevic & Valve, (2020) que la méthanisation peut établir divers liens au régime agricole et qu'elle n'est pas par défaut transformatrice de ce régime. La méthanisation est une technologie qui peut contribuer à la fois au renforcement du régime agricole (en améliorant et/ou dégradant son bilan agroenvironnemental) et à la potentielle consolidation de la niche d'innovation qu'est l'agriculture biologique. Nos résultats appellent à davantage documenter de potentielles niches de méthanisation dans divers contextes agricoles. Ils soulèvent aussi de nouvelles questions concernant les interactions entre régimes de l'agriculture et de l'énergie. Il serait intéressant d'analyser le pouvoir transformatif des méthaniseurs enquêtés, par rapport au régime de l'énergie afin de mieux distinguer comment les interactions entre ces régimes influencent la durabilité agroenvironnementale du biogaz. Est-ce que les niches au fort potentiel ENR sont les plus durables sur le plan agroécologique ?

Chapitre 6 : Discussion générale de thèse

La discussion se divise en trois parties pour répondre au questionnement au cœur de cette thèse : « *Comment améliorer l'analyse de la durabilité de la méthanisation agricole, pour mieux identifier les enjeux d'une politique d'une méthanisation durable en France ?* ». La première partie porte sur les apports de notre recherche pour l'évaluation de la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation. La seconde partie discute de l'apport de cette analyse de la durabilité pour penser une politique de méthanisation durable. La troisième partie revient sur les intérêts et limites de notre démarche globale de recherche.

1 Appréhender la durabilité de la méthanisation

Nos travaux montrent les limites d'une approche techniciste et/ou réductionniste de la durabilité de la méthanisation. Pour appréhender les effets de la méthanisation, nous proposons de les évaluer en lien avec la dynamique des systèmes agricoles, et d'inscrire cette dernière dans les dynamiques sociotechniques et sociopolitiques territoriales. Nous donnons ainsi à voir les processus qui, à différentes échelles, influencent le développement de la méthanisation et produisent les effets que nous avons observés dans les Vosges et le Bas-Rhin. Tout d'abord l'évaluation de la durabilité, à l'aune des dynamiques empiriques de déploiement de la méthanisation, montre des effets divers, aux causalités multiples. Des processus indirects et mal connus résultent d'effets systémiques. Nous montrons ainsi :

1. Le rôle de la sécurisation de l'approvisionnement dans les effets agroenvironnementaux induits sur les fermes et le territoire : les agri-méthaniseurs transforment diversement leurs assolements, notamment en fonction de la facilité d'accès, sur le territoire, d'intrants très méthanogènes. L'impératif de rentabilité du méthaniseur dans des situations de disponibilité incertaine de coproduits peut conduire l'agri-méthaniseur à consommer plus de cultures en méthanisation qu'il ne le souhaiterait.
2. L'importance de l'alignement entre intérêt perçu par l'agri-méthaniseur et optimisation agroenvironnementale, pour qu'il y ait réalisation des bonnes pratiques d'épandage de digestat : le respect des bonnes pratiques dépend beaucoup des ressources disponibles (main d'œuvre, temps de travail, capacité à investir dans du matériel) et de la capacité de l'agri-méthaniseur à mobiliser ces ressources pour épandre. La portance du sol au printemps est un facteur contraignant que tous les agri-méthaniseurs ne peuvent surmonter en faisant le choix d'un chantier d'épandage plus adapté.
3. Les dépendances au sentier dans l'évolution des pratiques des agri-méthaniseurs : certaines pratiques des agri-méthaniseurs sont réinterrogées par l'arrivée de la méthanisation (gestion des effluents pour les éleveurs, fertilisation des prairies), mais les savoirs et les connaissances antérieures jouent un rôle clef dans l'adaptation des pratiques (faible modification des traitements phytosanitaires, prépondérance de la logique du système de production).
4. Que la méthanisation peut être un levier vers des systèmes agroécologiques, dans certaines configurations sociotechniques du régime agricole : la méthanisation n'est pas vertueuse en soi, ses avantages et risques s'expriment en fonction de contextes sociotechniques (ferme, lien au territoire) et sociopolitiques (action publique, interactions entre acteurs).

Nos résultats confirment donc une des hypothèses clef posée en début de thèse : la magnitude et le caractère positif ou négatif des effets de la méthanisation ne peut être évalué à l'aune des seules pratiques mise en œuvre au niveau du méthaniseur lui-même, car ces effets dépendent des transformations du système agricole dans son ensemble, aux trois échelles : systèmes techniques, fermes et territoires. Nous précisons dans les paragraphes qui suivent, l'apport de nos analyses à la compréhension de la durabilité de la méthanisation.

Appréhender la durabilité à différentes échelles (ferme et territoire).

Le premier apport de nos travaux concerne les échelles au niveau desquelles évaluer les effets du développement de la méthanisation en agriculture. À l'échelle de l'exploitation, nous montrons d'abord que le développement de la méthanisation induit souvent des changements sur d'autres systèmes techniques, avec parfois des transformations plus profondes des structures agricoles ou de la logique de gestion du système de production : par exemple ajout/suppression d'un atelier d'élevage, ou conversion en AB avec allongement et diversification de la rotation (chapitre 4). Les nouvelles relations du système de production aux autres fermes et acteurs du territoire conduisent aussi à des effets qui ne sont observables qu'à l'échelle du territoire. Ces effets sont notamment liés aux techniques de fertilisation sur les territoires proches des méthaniseurs, à la concurrence potentielle entre systèmes de production sur l'accès aux biomasses et à la diversité des cultures à l'échelle du paysage (chapitre 5). Nos travaux vont donc dans le sens des quelques travaux qui documentent des effets de la méthanisation qui s'expriment au niveau des systèmes de production (Carrosio, 2014; Cavicchi, 2016) ou du territoire (Häußermann et al., 2020; Hoang et al., 2020; Lüker-Jans et al., 2017; Saathoff et al., 2013) et pas seulement au niveau des systèmes techniques.

Appréhender la diversité des effets agroenvironnementaux de la méthanisation à travers l'analyse des effets induits.

Ensuite, l'identification d'effets systémiques de la méthanisation, à différentes échelles, nous conduit aussi à montrer, en cohérence avec plusieurs auteurs (Appel et al., 2016; Carrosio, 2014; Cavicchi, 2016; Saathoff et al., 2013), que la méthanisation peut conduire à une diversité d'effets agroenvironnementaux, notamment à des effets contraires à ceux attendus dans la politique publique : pollution de l'eau, baisse de la biodiversité avec fertilisation ou retournement des prairies, tassement des sols, etc. Notre enquête sur les pratiques agronomiques permet d'identifier les causes de cette diversité d'effets, même au sein d'un territoire agricole plutôt homogène comme celui des Vosges. Par exemple nous montrons l'influence de la portance du sol, et de la disponibilité en main d'œuvre (donc en temps) sur la date d'épandage du digestat. La méthanisation peut aussi favoriser le retournement de prairies permanentes, néfaste à la biodiversité, comme soutenir le développement de cultures intermédiaires, plutôt bénéfique à la biodiversité. Nous montrons notamment que la construction de l'approvisionnement du méthaniseur à partir d'intrants du territoire ou de la ferme constitue une variable clef pour expliquer les différentes trajectoires de transformation de l'assolement (couverture des sols, retournement des prairies, diminution des cultures de vente). La bonne gestion du digestat (substitution à de l'azote minéral, volatilisation limitée) dépend de l'intérêt de l'agri-méthaniseur à épandre en substitution à de l'azote minéral, et de sa capacité à y consacrer des facteurs de production. En cela, nos travaux montrent qu'il est difficile de conclure sur des effets uniformes de la méthanisation, et que les enjeux de son développement sont difficilement compréhensibles à partir d'un nombre limité de cas types (chapitre 4). Cette diversité, peu

documentée dans la littérature en lien avec une diversité de systèmes de production et de systèmes agricoles, gagnerait à être davantage étudiée.

Pour enrichir et nuancer nos conclusions sur les schémas types d'évolution des fermes, nos résultats gagneraient à être comparés avec des analyses menées dans d'autres territoires, pour mieux identifier les tendances propres à des contextes agricoles ou territoriaux, et celles propres au phénomène de déploiement de la méthanisation en agriculture. Il serait notamment intéressant de documenter d'autres niches agroécologiques de méthanisation. Un autre champ d'approfondissement serait la mise en relation de l'équilibre économique de l'exploitation avec les choix techniques et la rationalité située de l'exploitant.

Considération des dynamiques socio-politiques et sociotechniques qui influencent la durabilité.

L'originalité de notre évaluation de la durabilité réside dans l'analyse conjointe, des déterminants de la diversité d'effets observés. Pour cela, nos travaux font le lien entre les analyses des grands déterminants (sociotechniques, sociopolitiques) de la structuration des filières méthanisation (voir (Carrosio, 2013; Cavicchi, 2016; Markard et al., 2016; Raven & Gregersen, 2007) et les analyses des effets de la méthanisation au niveau des systèmes techniques (Paolini et al., 2018), des fermes (ADEME & Solagro, 2018; Carton & Levavasseur, 2022; Siegmeier et al., 2015) et des paysages (Lüker-Jans et al., 2017; Vergara & Lakes, 2019). Ce lien est en fait indispensable pour appréhender les effets du développement d'une technologie, porté par un cadre législatif propre à la France. Pour des raisons heuristiques dans ce paragraphe de discussion, nous séparons en 3 grands domaines ces déterminants – dans les faits interdépendants : le domaine du système de production et de sa logique de fonctionnement en lien avec le territoire (domaine 1) ; le domaine du système d'acteur du territoire à travers lequel se négocient les modalités de développement de la méthanisation (domaine 2) ; et le domaine de l'action publique et de sa capacité à prendre en charge la durabilité (domaine 3). Notre objectif est de discuter tour à tour ce que l'analyse des déterminants de ces trois domaines apporte à notre compréhension de la durabilité de la méthanisation.

Domaine 1 - le domaine du système de production et de sa logique de fonctionnement en lien avec le territoire. Au niveau du système de production, nos travaux permettent de mieux penser le changement technique lié à l'atelier de la méthanisation. Ils montrent que la compréhension de l'agentivité des porteurs de projets permet d'identifier les freins et leviers aux bonnes pratiques. Nos résultats confrontent en fait les hypothèses de rationalité économique et d'optimisation des techniques, dominantes dans les scénarios prospectifs (chapitre 2), aux conditions réelles des ressources (connaissances, main d'œuvre), des contraintes (pédoclimat, calendrier de travail) et des stratégies (par exemple maintien de l'élevage, nouveau revenu, résilience) des agri-méthaniseurs. Cette analyse des choix techniques réalisés sur les fermes, et pris dans des dynamiques territoriales, confirme que, dans la projection et l'évaluation de la durabilité de la méthanisation, l'agentivité des acteurs ne peut être réduite à une vision d'un individu à la rationalité économique et morale (Rip & Kemp, 1998; Robinson, 1991; Wangel, 2011). Si la promesse Revenu est clef dans le développement de la méthanisation dans les fermes, l'agri-méthaniseur n'est ni un *homo oeconomicus* dont la rationalité le portera, incité par un gain économique, à systématiquement adopter les bonnes pratiques rémunératrices, ni par symétrie un « *homo oecologicus* », dont la connaissance des pratiques optimales pour l'environnement, le conduirait systématiquement à les choisir. Cette approche analytique du changement technique au niveau des fermes permet d'identifier certains freins et leviers à partir des logiques de fonctionnement. Par exemple, pour la gestion du digestat, la difficulté

économique à investir dans un matériel d'épandage optimal (enfouissement, chantier sans-tonne, main d'œuvre) est un frein à la bonne valorisation du digestat. Mais même avec les ressources économiques suffisantes, une petite taille des parcelles reste un facteur limitant pour l'usage de chantiers sans tonne. Pour les agriculteurs qui ne peuvent mettre en place des chantiers sans tonne sur leur parcelle, la portance du sol reste également un facteur limitant. La capacité à rémunérer une main d'œuvre, qui prene le temps de mettre en œuvre les bonnes pratiques d'épandage au moment optimal pour la plante, apparaît donc une condition pour la mise en place de pratiques d'épandage durables et optimisées, en termes d'usage de l'azote. Cette priorisation économique apparaît peu probable sauf si la valorisation du digestat apporte un intérêt certain dans la gestion du système, par exemple en cas d'un prix plus fort de l'azote minéral, ou comme en AB où le digestat permet d'augmenter significativement les revenus des cultures de vente. De même, si on prend l'objectif d'avoir un approvisionnement « vertueux » du méthaniseur, en cohérence avec un mode de production agroécologique, le levier principal identifié d'une diversification de l'assolement est l'attractivité économique du bio. En effet il apparaît qu'à partir du moment où l'agriculteur doit produire des cultures pour approvisionner son méthaniseur, en système conventionnel, il va avoir tendance à ajuster ses assolements pour introduire de nouvelles cultures : si les CIVE, en Grand Est, ont rarement un itinéraire technique aussi intensif en intrant qu'une culture conventionnelle (en moyenne pas de pesticides et moins d'intrants minéraux), la méthanisation ne remet pas en question fondamentalement les pratiques antérieures.

Nos résultats confirment ainsi l'hypothèse d'une prise en compte partielle, dans le forum prospectif, des enjeux environnementaux associés à son développement, à cause d'une focalisation sur les changements de pratiques.

Enfin, un obstacle à notre compréhension des freins/leviers d'une méthanisation durable est le manque de connaissance sur certains enjeux essentiels comme la qualité des sols (biodiversité, tassement) ou la biodiversité des assolements et des paysages. Nous ouvrons ainsi la voie pour de nouvelles perspectives de recherche dans ces domaines.

Domaine 2 - le domaine du système d'acteur du territoire à travers lequel se négocient les modalités de développement de la méthanisation. Nous montrons que le changement technique au niveau des fermes est influencé par l'inscription des fermes dans des dynamiques territoriales (chapitre 5). L'analyse des dynamiques sociotechniques territoriales procure, en retour, des clefs de compréhension des effets agroenvironnementaux observés au niveau des fermes et des territoires. Notre analyse des logiques d'approvisionnements souligne l'importance des dynamiques sociotechniques et sociopolitiques dans l'évolution des fermes : les UM dont l'équilibre apparaît dépendant d'un marché concurrentiel et de la capacité du porteur de projet à mobiliser de la biomasse du territoire vont exercer des pressions plus ou moins fortes sur la transformation des assolements. Mais si la concurrence sur la biomasse est souvent citée comme une rétroaction qui peut menacer la filière, à notre connaissance, peu de travaux, comme ceux de Cavicchi (2016) et Emmann et al. (2013), ont mis en évidence les mécanismes de ces boucles de rétroaction et leurs effets sur la durabilité des systèmes. Nous montrons comme eux l'existence de rétroactions, et en précisons les effets sur les transformations des fermes : une tension accrue sur le marché des coproduits très méthanogènes, ces dernières années, pousse les agri-méthaniseurs qui ne parviennent pas à les sécuriser à consommer davantage de cultures de leur ferme ou du territoire. S'il est difficile de quantifier les effets de cette consommation sur la transformation des assolements du territoire, il apparaît (i) que le nouvel intérêt méthanogène de certaines biomasses (coproduits ou culture) modifie leurs logiques d'allocation et

d'usage, et (ii) que des concurrences très locales entre méthaniseurs montrent l'importance de réfléchir à la concordance entre gisement et localisation des méthaniseurs. Une piste pertinente de recherche serait d'investiguer davantage les nouvelles logiques de répartition des biomasses méthanogènes qui se mettent en place sur les territoires.

Par ailleurs l'analyse des dynamiques d'acteurs montre que l'arrivée de nouveaux acteurs contribue à diversifier les modalités de développement de la méthanisation et donc aussi ses effets. Les dynamiques induites par des boucles de rétroaction entre fermes et territoire interrogent notamment sur les enjeux à venir du développement de la filière. Elles montrent que la méthanisation n'a pas des effets univoques et figés, et que les dynamiques de massification jouent sur ces effets au cours du temps. L'analyse de la durabilité de la méthanisation appelle donc à mieux documenter comment le territoire (son gisement, ses réseaux d'acteurs) influencent l'ancrage des systèmes de méthanisation, et régule les effets sur les systèmes agricoles.

Domaine 3 - Le domaine de l'action publique et de sa capacité à prendre en charge la durabilité. Nos travaux donnent à voir comment la mise en œuvre de la politique de méthanisation sur un territoire contribue aux effets agroenvironnementaux observés, à travers le système de régulation qui se met en place. Nos résultats s'inscrivent dans le constat que les chercheurs en politiques publiques ont formulé depuis longtemps : la mise en œuvre d'une politique publique est sinueuse et ses effets peuvent être bien différents de ceux attendus (Lipsky, 1980; Pressman & Wildavsky, 1973). Notre analyse contribue à mieux appréhender la durabilité de la méthanisation car elle montre la capacité des dispositifs agroenvironnementaux à produire ou non les effets espérés. Pour cette analyse, nous avons interrogé la place réellement donnée à l'objectif agroécologique dans la mise en œuvre de la politique de la méthanisation, et son influence sur ses effets en agriculture.

Nous montrons qu'au niveau national, la politique de la méthanisation a été construite principalement dans l'arène des politiques publiques énergétiques. Les instruments de politique publique qui structurent son développement (tarif de rachat, accès au réseau de gaz) ont été portés principalement par des acteurs de l'énergie promouvant la promesse ENR, tandis que le forum des professionnels agricoles est mobilisé à la marge, pour introduire des garde-fous afin de ne pas reproduire les dérives du modèle allemand (% maximal de cultures énergétiques, prime effluents). Ainsi, l'hypothèse que nous avons posée en introduction, se trouve partiellement infirmée, à travers deux éléments : (i) la promesse « agroécologique » du biogaz n'apparaît pas avoir joué un rôle structurant dans la formulation de la politique publique, elle a notamment échoué, entre 2018 et 2020, à maintenir un cadre réglementaire favorable pour l'injection ; (ii) les moteurs du développement de la filière apparaissent principalement issus de réflexion autour de la politique énergétique.

Cependant, nous montrons que les dynamiques discursives sur l'agroécologie, spécifiques à la France, ont contribué à introduire, dans la construction de la politique, des dispositifs « agroenvironnementaux » dans le but de proposer un modèle de méthanisation français plus durable que le modèle allemand. Nous analysons cependant que la mise en œuvre en Grand Est de ces dispositifs, produit des effets variés. L'administration a en fait peu de prise sur les effets d'un développement intense de la méthanisation. Dans un contexte où la méthanisation est développée par des acteurs porteurs des promesses ENR et Revenu, c'est davantage la « culture » (valeurs, savoirs) de l'agriculteur, et les dynamiques territoriales dans lesquelles il va être pris, qui vont influencer les effets agroenvironnementaux observés. Comme l'avait identifié Markard et al., (2016) dans le

développement du biogaz en Allemagne, une méthanisation développée par un agriculteur en AB sera plus probablement agroécologique qu'un biogaz développé dans un contexte concurrentiel qui favorise la production d'énergie. Malgré tout, ce qui ressort de notre analyse est la prééminence des enjeux de politique énergétique par rapport à ceux de politique agroécologique, que ce soit au niveau national (chapitre 3) ou du Grand Est (chapitre 5). Comme évoqué par Gustafsson & Anderberg, (2021) dans leur analyse des caractéristiques des politiques du biogaz en Europe, le risque d'une politique intersectorielle influencée directement et indirectement par de nombreuses politiques (agricoles, énergie, déchets, environnement) est que la méthanisation devienne « *le problème de quelqu'un d'autre* ». On peut transformer cette expression en se demandant au niveau des territoires : « *de qui la méthanisation est réellement le problème ?* » c'est-à-dire « *au problème de qui répond le développement de la méthanisation ?* ». La méthanisation apparaît dans les faits être surtout une réponse aux problèmes des acteurs de l'énergie, qui ont cherché à montrer, au niveau national, que son développement répondrait aussi aux problèmes des acteurs préoccupés par la transition agroécologique, comme de ceux qui cherchent plus de revenu pour l'agriculture. Pour autant, sur le territoire du Grand Est, les problèmes agroécologiques tendent à être invisibilisés, notamment parce que les acteurs qui les portent sont en position de faiblesse dans les équilibres politiques locaux. En conséquence, le développement actuel du biogaz tel qu'il se fait en Grand Est, répond surtout à des problématiques énergétiques et de revenu. Au-delà de la compréhension limitée des enjeux d'une méthanisation « agroécologique », le développement négocié de la filière entre acteurs de l'énergie et de l'agriculture apparaît déterminant dans la prise en compte des enjeux de durabilité. Se pose alors la question aux niveaux national comme territorial, de la capacité des acteurs porteurs des enjeux environnementaux à les faire entendre.

Peu de littérature s'est intéressée aux négociations socio-politiques autour du développement de la filière, en lien avec les enjeux agroenvironnementaux. Les travaux de Huttunen et al. (2014) montrent qu'en Finlande, la cohérence entre les objectifs politiques sectoriels ne se retrouve pas dans le choix des instruments, dont la mise en œuvre est source d'incohérence. Dans la continuité de ces travaux, nous montrons que la durabilité de la méthanisation n'est pas qu'un enjeu de mise en cohérence entre politiques publiques multi-niveaux et multi-secteurs (Kanda et al., 2022; Muscat et al., 2021), c'est aussi un enjeu de négociation au niveau de la mise en œuvre (Huttunen et al., 2014; Nielsen & Pedersen, 2022).

De même que pour les dynamiques du changement technique, il faudrait comparer cette dynamique régionale avec celles d'autres régions, pour mieux identifier les spécificités des négociations liées au contexte territorial, et les dynamiques caractéristiques à la mise en œuvre de la politique. De telles connaissances seraient utiles pour soutenir la construction des politiques publiques.

Ainsi, l'analyse des dynamiques sociotechniques sur les fermes et le territoire, et des dynamiques sociopolitiques territoriales et nationales, donnent à voir les processus qui influencent le développement de la méthanisation dans les Vosges et le Bas-Rhin. Nos résultats montrent donc que la durabilité de la méthanisation ne peut être appréhendée de manière uniforme, à partir des seules projections techniques, et qu'un certain nombre de leviers ou de garde-fous doivent être pensés à différentes échelles, pour son développement vertueux.

2 Enjeux d'une politique de méthanisation durable en France

Cette seconde partie vise à discuter l'apport de notre analyse de la durabilité pour mieux identifier les enjeux d'une politique d'une méthanisation durable en France. La littérature qui s'intéresse aux instruments de politiques publiques référence peu de dispositifs agroenvironnementaux mise en œuvre pour soutenir le développement d'une méthanisation durable en agriculture (Gustafsson & Anderberg, 2022). A travers le monde, les instruments de soutien direct à la méthanisation sont en effet globalement orientés vers le soutien aux énergies renouvelables, à la gestion des déchets, au développement agricole ou à la transition des transports (Gustafsson & Anderberg, 2021a; Xue et al., 2020; Zhu et al., 2019). Des instruments sont tout de même évoqués : prime aux effluents d'élevage, plans de gestion du digestat et plafonnement de cultures énergétiques (Gustafsson & Anderberg, 2022). Mais leur effectivité est peu documentée, de même que les enjeux de leur mise en œuvre. Le champ de recherche sur ces dispositifs agroenvironnementaux serait à investir davantage. Dans ce contexte, cette partie vise à discuter de pistes pour prendre davantage en compte, et de manière effective, les enjeux de durabilité agroenvironnementale, dans la politique de méthanisation en France. Dans les trois premiers paragraphes, nous discutons de ce que notre compréhension systémique de la durabilité de la méthanisation peut fournir comme pistes pour l'action publique, afin d'améliorer ses effets agroenvironnementaux. En d'autres termes il s'agit de discuter des pistes que la connaissance que nous avons produite, permet ou non d'envisager, pour améliorer la prise en charge de la durabilité dans la mise en œuvre de la politique de la méthanisation. Dans les deux derniers paragraphes, nous discutons des possibilités de prise en compte de certaines des pistes esquissées. Comme le soulignent Lascoumes & Le Galès (2005), les instruments de politique publique sont des « *porteurs de significations et de représentations* ». Ils sont notamment le lieu de la mise en politique de la connaissance (Frickel & Moore, 2006; Halpern et al., 2014). La thèse d'Aulagnier (2020) sur les plans français de réduction de l'usage des pesticides (plans Ecophyto) démontre justement les difficultés de mobiliser les connaissances de l'Agronomie système pour penser des instruments de politique publique. C'est donc sous l'hypothèse que de nouveaux dispositifs soient élaborés dans le forum des politiques publiques, que nous discutons, dans les deux derniers paragraphes, des dynamiques stratégiques qui pourraient contribuer à les sélectionner.

Le besoin de dispositifs qui prennent en compte les effets systémiques divers et indirects de la méthanisation au niveau des fermes. Quelle(s) prise(s) donne l'approche de l'Agronomie système/*Farming system research* (FSR), au niveau des fermes, pour mieux prendre en charge les enjeux agroenvironnementaux ? Nous discutons ici des pistes concernant deux principaux domaines de gestion du système technique de méthanisation : (i) gestion du digestat et (ii) gestion des approvisionnements.

En matière de gestion du digestat, le soutien à l'investissement dans un matériel d'épandage adapté, apparaît un levier d'une gestion plus durable du digestat. Un acteur de l'environnement propose de rendre obligatoire l'investissement dans le matériel optimal. Il pourrait être associé à l'obligation d'utiliser un tel matériel, voire au déploiement de formes spécifiques d'épandage, comme au Danemark, où l'injection de la fraction liquide tend à devenir une obligation. Cependant, les volumes en jeu conduisent fréquemment à une gestion difficile des contraintes (portance, temps de travail, distance d'épandage). Un dimensionnement des méthaniseurs, en fonction des contraintes de gestion du digestat sur la(les) ferme(s), notamment de la main d'œuvre disponible, pourrait être une piste. Une telle approche ne peut être pertinente que si l'agriculteur continue à être attiré par la promesse

Revenu, donc si un dimensionnement potentiellement plus petit du méthaniseur lui permet tout de même un revenu attractif. En termes de travail, cette piste apparaît avoir un effet positif (réduction du travail d'épandage, de cultures de CIVE, de gestion de l'approvisionnement) mais pose la question de l'impact sur la prise en charge du travail : par exemple est-ce que l'internalisation d'un travail moins conséquent ne favoriserait pas le phénomène de spécialisation de l'élevage observé en chapitre 4 ?

En ce qui concerne l'approvisionnement, les effets adverses sont, comme nous l'avons montré (chapitre 4 et 5), davantage liés au mode productif adopté par l'agriculteur (donc à l'intérêt de l'agri-méthaniseur de le repenser ou non) et aux liens au territoire (facilité ou non d'accès à des intrants méthanogènes). Un approvisionnement durable semble donc davantage dépendre d'une politique agricole de soutien à l'agroécologie et d'une gouvernance territoriale de l'allocation des intrants méthanogènes. Saathoff et al., (2013) analysent les effets adverses des cultures énergétiques produites pour la méthanisation : pour prendre en charge les effets négatifs induits sur le territoire, ils proposent à la fois une information accrue des agri-méthaniseurs sur les enjeux, et une compensation économique des mesures de gestion à prendre pour l'environnement.

Si ces mesures peuvent réduire les effets adverses, la question est, est-ce que ces mesures peuvent, plus largement, être levier d'un système agricole plus durable ?

Le besoin de dispositifs d'évaluation des effets systémiques divers et indirects de la méthanisation au niveau des fermes et des territoires. Quelle(s) prise(s) donnent l'approche Agronomie système/FSR et l'analyse des dynamiques territoriales pour mieux prendre en charge les enjeux agroenvironnementaux au niveau des territoires ? Un premier enjeu concerne l'effectivité des dispositifs règlementaires encadrant le développement de la méthanisation. Une majorité d'acteurs de la gestion effective s'accorde à dire qu'un contrôle accru est nécessaire pour éviter les dérives (contrôle du pourcentage de cultures et des installations ICPE). Or comme nous l'avons montré, ce contrôle dépend des ressources allouées aux administrations pour faire respecter une réglementation complexe qui concerne de plus en plus d'installations. Il dépend aussi de la capacité de l'administration et de la police de l'eau à évaluer les dossiers ou les impacts des projets. Les acteurs de la régulation de la qualité de l'eau, proposent l'interdiction de certaines pratiques pour faciliter le contrôle. Par exemple les acteurs citent : interdiction de l'usage du digestat sur sol nu, interdiction d'épandage de digestat à certaines périodes ou interdiction d'épandage sur les zones de captage. Ces mesures, considérées comme « contrôlables » par les acteurs de l'environnement, renvoient au besoin de passer de connaissances sur les pratiques à des connaissances actionnables pour l'administration de contrôle. En Grand Est, les acteurs de la gestion intentionnelle se sentent justement démunis : « *on n'a pas de critères entre le bon méthaniseur et le mauvais méthaniseur* »¹⁶³. La littérature sur les instruments de mesure montrent que mesurer, c'est une manière de voir mais aussi de ne pas voir certains effets (Bruno et al., 2015). Les instruments de recueil de données et les références prises pour l'évaluation de la méthanisation constituent des enjeux stratégiques, comme des enjeux de connaissance pour suivre la mise en œuvre d'une politique publique. Une des limites actuelles des instruments de la politique de l'eau est ainsi leur difficulté à prouver la causalité entre pratiques d'épandage et pollution observée. Nous montrons, dans notre cas d'étude, que les obligations existantes de déclaration de l'approvisionnement du méthaniseur (auxquelles pourrait s'ajouter la provenance des intrants) et de tenue d'un calendrier d'épandage du digestat n'ont de sens que si des contrôles ont lieu. Ces obligations de moyens pourraient être complétées d'obligations de résultats :

¹⁶³ Agent administratif

mesure de teneur en nitrate des eaux de drainage, au niveau des parcelles (reliquat entrée hiver) ou des aires de captage (voir principe du tableau de bord de Prost et al., 2018). Mais l'ensemble de ces mesures pose la question 1/ de la charge administrative que cela ajoute à l'agri-méthaniseur, 2/ de l'organisme de contrôle. Concernant la charge administrative, la participation à ces déclarations sera d'autant facilitée que l'agriculteur y verra un intérêt, par exemple si cela l'aide à penser sa fertilisation ou à faire des économies d'engrais minéral. L'enjeu est ici de construire un indicateur qui permettrait de répondre à des besoins des agriculteurs et à ceux des acteurs de l'environnement. En matière de contrôle, plusieurs acteurs du Grand Est ont évoqué la piste de la création d'un organisme de contrôle « *comme en agriculture biologique* », qui accrédirait les méthaniseurs en capacité de mettre en œuvre les bonnes pratiques. Un travail de conception d'indicateurs dans ce domaine, qui porterait à la fois sur les moyens et les résultats, constitue donc de nouvelles perspectives de recherche pour le champ de l'évaluation.

Concernant la concurrence d'usage, les dispositifs réglementaires et les compétences de l'administration apparaissent insuffisants pour prévenir des concurrences. Comme évoqué au chapitre 3, un axe de travail au niveau du territoire porte sur la planification du développement des projets. Aujourd'hui, le développement de la méthanisation apparaît dans les faits principalement déterminés par des critères d'optimisation technico-économiques des experts de l'énergie (proximité au réseau de gaz, rentabilité de l'investissement, objectifs de production d'énergie et d'atténuation du changement climatique) ou d'enjeux liés aux fermes (accès à un terrain, acceptabilité sociale et politique locale (Bourdin, 2020; Depoudent et al., 2020)). Une telle planification devrait idéalement tenir compte des contraintes et enjeux proprement agricoles : proximité et disponibilité aux intrants (coproduits agroindustriels, biodéchets), influence du contexte pédoclimatique sur la disponibilité des intrants et capacité des agri-méthaniseurs à mobiliser ces intrants. Une piste, évoquée par un acteur enquêté, serait de procéder à un sous-dimensionnement systématique des méthaniseurs. En matière de concurrence, un second axe de travail porte sur les connaissances dont l'administration a besoin pour prévenir les concurrences. En Grand Est, sur des données déclaratives, il est estimé qu'une maîtrise de 75 % du gisement suffit. Nos résultats montrent au contraire que la perte d'une petite part d'intrants méthanogènes peut affecter significativement le bilan économique de l'agri-méthaniseur. Un objectif d'une maîtrise à 95% pourrait répondre à cet enjeu, cependant, il paraît plutôt irréaliste au regard des pratiques de contractualisation entre acteurs agroindustriels et porteurs de projets de méthanisation. Le choix de l'ADEME d'une « auto-régulation » des acteurs, par l'engagement à la non déstabilisation des usages existant de la biomasse (AAP 2019), met en fait les agriculteurs en porte-à-faux avec leurs engagements puisqu'ils paraissent difficilement tenables dans la durée. La limite de cette approche de l'ADEME a été analysée précédemment par Poupeau & Schlosser (2010) dans la régulation de la filière bois dans les Ardennes. Mais contrairement à la filière bois analysée, le système d'acteur de la filière méthanisation du Grand Est n'apparaît pas suffisamment stabilisé pour pouvoir faire face à la concurrence accrue, liée à l'arrivée de nouveaux acteurs industriels et à la multiplication des projets.

Relire ces pistes au prisme des travaux académiques sur la prise en compte des enjeux systémiques (au double sens de l'Agronomie système et des systèmes sociotechniques) pour penser des dispositifs de politique publique. Comme évoqué par Aulagnier (2020) dans son analyse d'Ecophyto, l'absence de prise en compte des savoirs et logiques empiriques (issus d'une analyse systémique) n'est pas liée à leur inexistence dans la production scientifique, pourtant elle échappe à l'action publique.

Comme suggéré dans les chapitres 3 et 5, la promesse Agroécologique apparaît avoir contribué à cet « *échappement* » dans la politique de méthanisation, empêchant de penser la diversité des contextes. En effet nous montrons, dans le chapitre 2, que les perspectives, outils stratégiques dans le forum des politiques publiques des ENR, présentent cette même difficulté à mobiliser une vision systémique du changement technique ou l'agentivité des acteurs est considérée. La formulation de la promesse Agroécologique, qui circule dans le forum prospectif est en partie biaisée, car elle n'inclue pas les impacts indirects sur l'agriculture et les territoires. Et comme évoqué dans le chapitre 3, les dynamiques discursives jouent un rôle clef dans la formulation du problème à résoudre. Ce sont ces mêmes scénarios commandités par l'ADEME et GRDF qui contribuent, entre 2012 et 2018, à faire circuler la promesse ENR et la promesse Agroécologique, dans le forum des politiques publiques des ENR. Si la promesse Agroécologique n'a finalement pas été sélectionnée pour penser des instruments de politique publique, sa reformulation apparaît clef dans une perspective stratégique. C'est bien dans la circulation entre échelles que les politiques deviennent réelles, à travers les acteurs qui les interprètent et les négocient (Ferguson & Gupta, 2002), comme nous l'avons montré en chapitre 5. Dans la politique de la méthanisation, un enjeu apparaît alors, celui de davantage confronter la promesse Agroécologique, formulée dans le forum prospectif, et reprise dans le forum des professionnels du biogaz, avec les réalités empiriques des territoires.

La littérature sur les « *wicked problems* » en politique publique (Durant & Legge, 2006) souligne l'importance de la formulation du problème, qui constitue en soi le problème. Nos travaux sur la durabilité de la méthanisation nous aident justement à reformuler le problème de la transition agroécologique et des solutions qu'une technologie comme la méthanisation pourrait jouer pour la soutenir : est-ce que la méthanisation peut être un levier d'une agriculture conventionnelle vers une agriculture agroécologique ? Quel rôle peut jouer cette technologie dans la dynamique des fermes et des territoires, pour soutenir des systèmes agroécologiques ? Cet enjeu d'évolution discursive, de même que la prise en compte des pistes d'instruments discutées précédemment, dépendent des dynamiques de la fabrique de la politique de la méthanisation que nous discutons dans le paragraphe suivant.

A présent, nous discutons dans une logique prospective, des dynamiques sociopolitiques d'une prise en compte accrue des enjeux agroenvironnementaux dans le déploiement de la politique du biogaz. Dans quelles conditions politiques, la méthanisation pourrait se développer « plus durablement », au sens de notre référentiel normatif ? Quelles configurations de la fabrique des politiques publiques pourraient potentiellement intégrer ces pistes de dispositifs agroenvironnementaux ? Pour en discuter, dans un registre prospectif, nous mobilisons conjointement notre analyse des jeux d'acteurs de la politique de la méthanisation (chapitres 3 et 4), et notre compréhension du rôle de la méthanisation dans la transition du régime agricole (chapitres 4 et 5). Nous séparons en deux paragraphes, pour des raisons heuristiques, les dynamiques territoriales et nationales, même si elles sont interreliées.

Dynamiques sociopolitiques territoriales et prise en compte des enjeux agroenvironnementaux dans la mise en œuvre.

Au niveau de la mise en œuvre, notre étude de cas interroge sur la capacité des acteurs de l'environnement à faire entendre les enjeux agroenvironnementaux. Le ralliement apparemment en

cours, de certains acteurs de la gestion effective (des élus agricoles) aux acteurs de la gestion intentionnelle (Agence de l'eau et DREAL) constitue potentiellement un levier d'une prise en compte accrue des enjeux agroenvironnementaux. Comme esquissé dans nos résultats (chapitre 5), ce ralliement potentiel semble davantage lié à la montée d'enjeux agricoles (conflits) et aux problèmes d'acceptabilité liés à de mauvaises pratiques. Au regard des travaux qui documentent de plus en plus les problèmes d'acceptabilité sociale de la méthanisation (Bourdin, 2020; Dobers, 2019; Schumacher et al., 2019), une prise en charge des enjeux agroenvironnementaux dans une optique d'acceptabilité constitue potentiellement un levier de la construction d'une politique territoriale d'une méthanisation durable. Si les enjeux de l'environnement apparaissent également en croissance dans d'autres régions françaises, leur prise en compte pourrait en être facilitée. Cependant l'arrivée de nouveaux acteurs industriels plus puissants, comme les coopératives, pourrait renforcer l'ancrage de la méthanisation dans le régime dominant. En effet, la position d'un agriculteur fournisseur d'intrants questionne sur sa capacité à faire évoluer son modèle productif et à choisir la niche « agriculture biologique ». De plus, nous avons montré, en cohérence avec Blumenstein et al. (2018) et Siegmeier et al. (2015), que les agriculteurs qui choisissent la niche AB étaient souvent dépendants de l'accès à des intrants très méthanogènes hors du système de production (via le collectif de l'UM ou le territoire), car ils ne peuvent produire beaucoup d'intrants en propre. Ce modèle se développera moins probablement si la concurrence sur les intrants est forte puisque, comme identifié par Grouiez et al., (2020) et confirmé par nos analyses des rapports de force, les petits méthaniseurs risquent d'être peu concurrentiels par rapport aux méthaniseurs industriels. Toutefois Grouiez et al., (2020) identifient que le modèle de petits collectifs agricoles avec ouverture du capital à des industriels agricoles, pourrait être une alternative crédible aux modèles industriels dans un contexte concurrentiel.

Dynamiques sociopolitiques nationales et prise en compte des enjeux agroenvironnementaux dans le déploiement de la politique du biogaz.

Nous avons montré que le déploiement de la méthanisation en Grand Est est encadré par une politique nationale construite principalement, jusqu'en 2020, par rapport à la promesse ENR (chapitre 3), et par une convergence, dans la mise en œuvre en grand Est, entre promesse ENR Biométhane (pour les gaziers) et promesse Revenu (pour le monde agricole) (chapitre 5). La promesse Agroécologique de la méthanisation a été portée par les acteurs gaziers et les acteurs agricoles dans leurs forums professionnels respectifs, et jusqu'au forum des politiques publiques des ENR. Pour les acteurs gaziers, cette promesse permettait simultanément le déploiement d'un modèle plus vertueux que le modèle allemand, et la défense d'un niveau de soutien important au développement du biogaz. Pour les acteurs agricoles, la promesse Agroécologique permettait de défendre un niveau de soutien compatible avec la promesse Revenu, pour maintenir un modèle agricole « familial », ainsi qu'une voie de décarbonation de l'agriculture. Mais, comme nous l'avons montré dans les chapitres 4 et 5, cette dimension agroécologique se retrouve peu dans la mise en œuvre. Si le cadre politique permet de faire de la méthanisation un outil qui améliore en moyenne les performances des systèmes de production (avec des dégradations dans certains cas), les évolutions permises ne sont pas à la hauteur de la promesse Agroécologique, notamment parce qu'elle s'est peu incarnée dans des instruments de politique publique au niveau national, et qu'elle est peu portée au niveau territorial. Nous suggérons que ce décalage entre promesse et déploiement effectif est invisibilisé, notamment car il est difficile à objectiver sur le terrain, et qu'il est peu porté dans l'espace politique. Une « meilleure » prise en charge de la promesse Agroécologique par les politiques publiques, dans le cadre de notre référentiel normatif, supposerait que des instruments de politique publique favorisant cette prise en charge,

soient portés dans l'arène des politiques énergétiques – où se prennent globalement les décisions en matière de méthanisation. Au vu de nos analyses, il est difficile d'imaginer dans quel(s) forum(s) existant(s) ces mesures pourraient être discutées et portées, nous discutons tout de même quelques pistes dans une visée prospective :

- Le forum des professionnels agricoles est réticent à l'idée d'accroître le niveau d'ambition agro-environnemental, comme l'explique par exemple la littérature sur l'exceptionnalisme agricole (Daugbjerg & Feindt, 2017). De plus, la modération du soutien à la méthanisation en 2020 (pour des raisons de dépenses publiques) (chapitre 3) pourrait limiter la mobilisation du monde agricole, face à une promesse Revenu qui s'amointrit.
- Le forum des professionnels du biogaz tire sa légitimité de son alliance avec les acteurs agricoles, il ne semble donc pas en mesure d'aller au-delà de ce que ces derniers sont prêts à porter. La pression exercée par le changement climatique, sur les régimes agricole et énergétique, apparaît toutefois être le facteur possible du maintien d'une alliance entre professionnels du gaz et agricole, puisque la promesse ENR répond à des tensions internes aux deux régimes. Comme identifié au niveau territorial, l'émergence de conflits dans le monde agricole, ainsi que les problèmes d'acceptabilité, pourraient potentiellement favoriser le rapprochement de ces acteurs avec des acteurs de l'environnement, dans le but de faciliter le développement de la méthanisation.
- Une potentielle alliance de ces acteurs gaziers avec des acteurs de l'environnement (au fait des dynamiques territoriales) pourrait-elle tout de même faire émerger des propositions dans le forum des politiques publiques des ENR ?
- Un consensus entre acteurs agricoles, gaziers et de l'environnement pourrait-il tout de même se former autour de la niche « agriculture biologique » qui semble satisfaire les promesses ENR, Agroécologique et Revenu ? Comme analysé dans notre chapitre 4, cette niche apparaît dépendre du monde des déchets ou du régime agricole conventionnel (i) pour répondre à la promesse ENR, et (ii) pour être attractive en termes de fertilisation azotée. Il faudrait compléter nos travaux d'autres cas d'étude, pour identifier de potentielles niches plus indépendantes de ces régimes. De plus, comme une méthanisation « vertueuse » par rapport à la transition énergétique appelle à un bilan carbone optimisé, il serait intéressant de travailler sur les possibilités d'alignement entre niche agroécologique et niche énergétique de la méthanisation. Cependant, d'après les travaux de Blumenstein et al., (2018), la niche AB limite la contribution en volume à la production de gaz renouvelable, par rapport aux volumes de biogaz produits en agriculture conventionnelle.
- Le portage, par des acteurs environnementaux plus ambitieux, de la promesse Agroécologique pourrait-il faire émerger des propositions directement dans le forum des politiques publiques des ENR ?
- Dans quelle mesure les travaux s'intéressant aux impacts agroenvironnementaux réels de la méthanisation (auxquels contribue aussi cette thèse), discutés dans les forum prospectif et scientifique, pourraient-ils conduire à une circulation accrue d'idée (et à leur reprise) dans les forums professionnels du biogaz ou le forum des politiques publiques des ENR ?

3 Apports et limites de l'approche de recherche

Notre approche de recherche est originale sur plusieurs aspects (i) analyse de la durabilité holistique, par rapport à un horizon normatif, (ii) analyse systémique, (iii) analyse interdisciplinaire, (iv) analyse qualitative et (v) analyse multi-échelle. Chacun de ces aspects offre une perspective particulière sur notre problématique.

Une approche de la durabilité agroenvironnementale holistique et normative.

Tout d'abord, l'analyse transversale de la durabilité présente l'avantage d'identifier l'articulation (ou son absence) entre différents enjeux agroenvironnementaux. Par exemple les chantiers d'épandage influencent à la fois la durabilité du cycle de l'azote et les risques de tassement du sol. Cette approche transversale permet aussi d'identifier des enjeux peu abordés en lien avec certaines pratiques comme par exemple l'effet de la fertilisation par le digestat sur la biodiversité des prairies.

Nous avons fait le choix d'utiliser l'ASGE et son invitation à un positionnement normatif explicite pour mener une évaluation. Ceci constitue une originalité dans la littérature car notre analyse n'est pas une comparaison par rapport à un contrefactuel ou à une situation avant méthanisation, mais par rapport à un horizon proposé par les politiques publiques agricoles françaises. Ainsi nous évaluons les transformations que la méthanisation induit par rapport à un référentiel agroécologique, en addition à une analyse temporelle classique (avant/après méthanisation) qui regarde si la méthanisation améliore le bilan agroenvironnemental. Cela permet de mieux comprendre le rôle que la méthanisation peut jouer, pour rejoindre une trajectoire de transition agroécologique. Une question que pose le choix de ce référentiel normatif est toutefois celle de la vision de la transition agricole. Ainsi certains résultats (comme ceux de MethaLAE (ADEME & Solagro, 2018) sur les économies de fertilisant synthétique) sont comparables à ceux obtenus dans cette thèse, mais la conclusion en termes d'impact agroenvironnemental est différente. La question derrière cette différence de conclusion est, selon nous, la vision du processus de transition. La première vision proposée est celle d'une méthanisation comme levier de l'amélioration incrémentale de systèmes conventionnels, qui deviennent, de ce fait, de plus en plus durables. Cela implique probablement l'hypothèse implicite qu'un agri-méthaniseur qui économise 30% d'intrants aujourd'hui va pouvoir en économiser de plus en plus au cours du temps. La seconde vision, que nous adoptons, consiste à identifier si la méthanisation peut être levier de transformation systémique vers l'agroécologie, mode productif qui repose sur une cohérence globale entre systèmes techniques et pratiques. Notre positionnement normatif, comme certains travaux sur la transition vers l'agroécologie (Altieri et al., 2012) adoptent la seconde compréhension. Cette compréhension de la durabilité influence l'étude des chemins de transition identifiés (El Bilali, 2019).

Enfin, nos travaux répondent à une critique souvent portée dans le champ des *sustainable transition studies* sur l'étude des transitions. Cette critique porte sur le fait que, les travaux de ce champ académique, sur le rôle des technologies considérées comme « durables » dans les transitions, s'appuient peu sur une bonne connaissance des enjeux de durabilité associés à ces technologies (El Bilali, 2019; Markard et al., 2012). Celles-ci sont souvent considérées comme durables par défaut, et cette limite a notamment été identifiée au sujet des effets de la méthanisation en agriculture (Lazarevic & Valve, 2020). Notre approche permet ainsi d'offrir des outils méthodologiques pour renforcer le regard critique des *sustainable transitions studies* sur les changements en cours opérés au

nom des transitions et démontre leur importance pour renforcer encore la rigueur de ce champ en construction.

Une approche systémique.

Nos résultats ont vérifié la pertinence de l'approche *Agronomie système/Farming system research*, pour analyser les enjeux de la méthanisation, car ils s'expriment à différentes échelles interdépendantes (parcelle, ferme, territoire). Comprendre les logiques des acteurs permet de mieux cerner une diversité d'effets. Ainsi, en prospective comme dans la mise en œuvre (évaluation), les limites du système sur lequel on projette les effets du développement de la méthanisation influencent la nature du changement pris en considération. Surtout l'approche systémique de l'analyse du changement des pratiques permet d'identifier les dynamiques sociotechniques clefs dans les enjeux de durabilité : au-delà d'une approche technique portant sur les bénéfices et les risques potentiels, notre analyse contribue à hiérarchiser les enjeux de durabilité par rapport aux dynamiques à l'œuvre sur les territoires agricoles. Ainsi dans une dynamique de massification, la concurrence sur l'accès à la biomasse apparaît déterminante pour l'évolution des systèmes agricoles (concurrence à l'alimentation, intensification de l'usage du sol). Notre approche pourrait être renforcée pour affiner la compréhension des différentes échelles, car l'étendue de nos systèmes d'étude ne permet pas toujours une analyse fine des différentes échelles. L'analyse systémique des dynamiques territoriales gagnerait à être approfondie, en particulier sur la base de comparaisons avec d'autres territoires. Cela permettrait d'enrichir la compréhension des freins et des leviers aux bonnes pratiques, identifiés dans différents systèmes agricoles et différents cadres politiques.

Une approche interdisciplinaire.

Nous croisons les disciplines de la sociologie de l'action publique et de l'agronomie. Leur croisement s'est montré fructueux puisqu'il a permis d'analyser les dynamiques de construction et de déploiement d'une politique publique, en apportant un double regard sur les promesses de la politique publique et ses effets empiriques. Ce double-regard apparaît particulièrement intéressant dans le cadre d'un travail sur un sujet controversé, pour mieux saisir les déterminants de la production de la connaissance et de sa mobilisation par les acteurs. Le croisement de ces cadres a fait émerger des difficultés pratiques car il nécessite d'investir des littératures différentes et d'évoluer dans des institutions françaises de la recherche, organisées principalement de manière disciplinaire. Un tel positionnement a induit une appropriation moins fine, de la littérature théorique de ces deux disciplines, que si la thèse avait été disciplinaire. De plus, la volonté d'articuler les deux disciplines a conduit à des choix méthodologiques dans une visée pragmatique, qui ne sont pas nécessairement des choix plébiscités dans les deux disciplines : un exemple est l'absence de comparaison de notre cas d'étude avec une autre région, option méthodologique qui a pourtant fait ses preuves dans l'analyse des politiques publiques. Cependant, un tel positionnement nous a permis de démontrer l'utilité de certaines postures épistémiques dans le cas d'un travail interdisciplinaire. Tout d'abord, la mobilisation d'un cadre agronomique systémique en travaillant sur des données qualitatives a contribué à faciliter l'articulation de deux champs de recherche aux épistémologies différentes. Nos travaux s'inscrivent d'ailleurs dans la lignée d'autres travaux interdisciplinaires en agriculture associant sociologie et agronomie (Cerf et al., 2010; Chantre & Cardona, 2014), et viennent conforter leur pertinence pour l'analyse d'enjeux complexes. Ensuite, nous montrons que la mobilisation du cadre de l'ASGE, en favorisant la mobilisation conjointe de différentes approches théoriques et disciplines, constitue un

cadre heuristique particulièrement intéressant pour nourrir une analyse stratégique, d'une approche systémique et multi-échelle.

Une approche qualitative.

Notre question de thèse et notre démarche de recherche étaient assez ambitieuses car cherchant à articuler disciplines et échelles d'analyse. L'analyse qualitative a rendu cette approche possible car les données qualitatives sont un lieu de convergence de données empiriques sur ces différents domaines et échelles. Les entretiens semi-directifs menés aux différentes échelles, pour répondre alternativement à des questions de recherche agronomiques ou sociologiques, se sont donc fructueusement combinés dans notre analyse. De plus, pour étudier des questions complexes (par exemple articulant choix de l'équipement, bouclage du cycle de l'azote et organisation du travail dans l'exploitation ; ou l'analyse d'enjeux carbone/azote/biodiversité) une approche quantitative impose de recueillir beaucoup de données, dont certaines sont difficilement disponibles dans les fermes. Il devient alors coûteux de conduire une analyse quantitative, ce qui incite souvent les chercheurs à centrer leur travail sur des objets plus simples, comme l'efficacité énergétique ou le recyclage de l'azote. L'approche qualitative offre ainsi une vision transversale plus systémique. Mais les deux approches se complètent utilement et il serait nécessaire de soutenir certaines de nos analyses pas de nouveaux travaux « quantitatifs », par exemple sur les évolutions d'assolement d'un territoire, ou sur les phénomènes de pollution de l'eau.

Une exploration multi-échelle.

L'articulation de différentes échelles nous semblait nécessaire dans la lignée de deux constats : premièrement l'Agronomie système et la FSR nous invitent à avoir une approche multi-échelle de la construction des pratiques ; deuxièmement, en politique publique environnementale, le niveau de prise de décision est souvent différent de celui où s'expriment les impacts (Saathoff et al., 2013). La non prise en compte de ces constats conduit possiblement à deux écueils : une difficulté à évaluer les impacts et une approche de la résolution des problèmes publics qui invisibilisent les déterminants collectifs de l'action (Dubuisson-Quellier, 2016). Nos travaux sont donc innovants au sens où ils cherchent à faire dialoguer les échelles. Ils montrent, dans la lignée de ces deux constats, que les dynamiques sociopolitiques et sociotechniques qui guidaient les prises de décisions dans le déploiement du biogaz, sont peu reliées à une compréhension des effets systémiques dans le monde agricole. Cette exploration multi-échelle a aussi posé des défis théoriques et méthodologiques dont certains ont été pointés par Faure (2006) : dans le travail de recherche, il n'est pas évident de tirer parti des continuités et des liens entre les dynamiques des différentes échelles ; il n'est pas évident de faire discuter ces travaux au sein de communautés académiques ; et un ancrage empirique fort ne laisse pas toujours le temps à la comparaison, ce qui limite la montée en généralité des résultats.

Conclusion générale

A l'issue de cette thèse, il apparaît clairement que la durabilité agroenvironnementale de la méthanisation agricole résulte d'effets systémiques complexes au niveau des fermes et des territoires. Les effets de la méthanisation varient donc, selon les contextes sociotechniques dans lesquels elle se développe. Mais nous avons tout de même identifié, dans le territoire du Grand Est, quelques tendances de transformations des pratiques et des systèmes agricoles. En matière de gestion du digestat, on peut voir une diminution de la consommation d'azote minéral auquel se substitue du digestat, comme une augmentation des risques de pollution de l'eau, liée à une gestion de l'épandage de digestat complexe, et contrainte par la portance des sols et la main d'œuvre disponible. En matière d'effets sur les activités d'élevage, la méthanisation peut constituer un soutien économique à l'élevage, notamment grâce à la synergie entre production de fumiers et méthanisation ; elle peut aussi venir en concurrence avec des ateliers d'élevage existants moins rémunérateurs. La méthanisation conduit aussi de manière plus ou moins marquée, à la substitution de cultures principales par des cultures énergétiques, sur la ferme et/ou sur le territoire. Cette évolution résulte de la conjonction de différentes contraintes : besoins en biomasse méthanogène, besoins en fourrage dans le cas d'un élevage, capacité à se procurer des intrants méthanogènes sur le territoire, et stratégie de production de CIVE (insertion de CIVE d'été ou d'hiver dans la rotation et niveau d'impact acceptable sur les cultures principales). Nous montrons aussi que la concurrence croissante sur les intrants très méthanogènes pose deux enjeux : (i) cette concurrence pourrait menacer l'équilibre économique des méthaniseurs existants et conduire les agri-méthaniseurs à consommer davantage de cultures énergétiques pour gagner en autonomie ; (ii) cette concurrence pose la question des acteurs qui *in fine* seront, dans ces rapports de force, capables de « capter » ces intrants pour leurs usages. Si la filière suit une dynamique de massification, ces deux enjeux posent la question des effets sur la transformation associée des systèmes agricoles et sur les modèles de méthanisation agricole qui seront sélectionnés. Enfin, nous identifions qu'au-delà de cette diversité d'effet, la méthanisation contribue plutôt à maintenir les modes productifs existants, qu'à initier une transition systémique vers une agriculture agroécologique. La synergie entre méthanisation et agriculture biologique est toutefois un levier intéressant de transition, même si la dépendance en azote de cette niche, à l'agriculture conventionnelle limite sa généralisation. Ainsi, nous montrons que la méthanisation n'est pas vertueuse en soi, mais que ses avantages et ses risques s'expriment en fonction de contextes et de dynamiques sociotechniques.

Ces dynamiques sociotechniques dépendent elles-mêmes de la régulation politique de la filière. Si le cadre de politique publique est clef dans le développement des filières de méthanisation dans de nombreux pays, nous montrons que la politique française a particulièrement cherché à proposer un modèle de méthanisation plus durable en agriculture. Les dispositifs structurants du développement de la filière (tarif d'achat, accès au réseau, procédure de sélection des projets), résultent de décisions de politiques énergétiques, mais des dispositifs agroenvironnementaux (prime aux effluents, plafonnement des cultures énergétiques, prévention des concurrences d'usage, ICPE, plan d'épandage) ont été introduits dans la politique publique de la méthanisation au niveau national, et aussi au niveau de la Région Grand Est par l'ADEME. Cependant, ces objectifs agroécologiques, affirmés dans le plan Energie méthanisation autonomie azote, et dans les dispositifs agroenvironnementaux, sont, dans la mise en œuvre de la politique en Grand Est, peu pris en charge. A l'exception de la prime

effluents, ces dispositifs apparaissent peu effectifs sur les territoires, pour diverses raisons : des dynamiques territoriales d'allocation de la biomasse propices aux concurrences d'usage, des services de l'Etat peu équipés pour suivre et évaluer les enjeux agroenvironnementaux (notamment de pollution de l'eau), et des acteurs de la filière qui se sentent peu concernés par ces enjeux, comparativement aux enjeux énergétiques ou de diversification des activités des exploitations. Les promesses d'une méthanisation, « vecteur d'un gaz renouvelable » et « pourvoyeuse d'un nouveau revenu agricole » prennent le pas, dans cette mise en œuvre, sur la promesse agroécologique.

Identifier les enjeux d'une politique de méthanisation « plus » agroécologique passe donc à la fois par une meilleure compréhension de ces effets systémiques et indirects, et par une réflexion sur ce que les déterminants de ces effets ouvrent comme pistes pour les politiques publiques. Nos travaux nous permettent d'identifier certaines pistes, au niveau des fermes ou des territoires, dont des recherches, en conception de politique publique ou dans le champ de l'évaluation, pourraient se saisir. Quatre pistes de recherche, en particulier, nous sembleraient importantes à poursuivre :

- Des recherches sur les effets systémiques de la méthanisation, dans d'autres territoires agricoles et d'autres contextes politiques. Ces recherches permettraient de mieux comprendre les logiques de transformation propres à la mise en œuvre d'une politique publique de méthanisation, et celles dépendantes des contextes agricoles et des modèles de méthanisation. Ce serait aussi l'occasion d'identifier d'autres niches agroécologiques du biogaz que celle que nous avons identifiée.
- Des recherches sur les effets de la méthanisation sur la biodiversité des sols, des fermes et des paysages. Ces enjeux, plus difficiles à évaluer que les enjeux des cycles du carbone et de l'azote, sont pourtant au cœur des politiques de transition agroécologique.
- Des recherches sur les dispositifs agroenvironnementaux de la méthanisation qui existent dans différents pays, et leur effectivité dans leur contexte de mise en œuvre.
- Des recherches sur les conceptions de dispositifs d'évaluation qui permettraient à la fois de répondre à des besoins des agri-méthaniseurs, pour la mise en œuvre des bonnes pratiques, et aux besoins des acteurs de l'environnement pour suivre les effets agroenvironnementaux de la filière.

Plus généralement, la politique de méthanisation, en tant que politique multi-sectorielle, est une politique qui met en conflit des objectifs propres à chaque secteur. Une meilleure compréhension des compromis, et des synergies, entre transition énergétique et transition agroécologique, passerait, idéalement, par une identification du rôle que des niches agroécologiques de méthanisation pourraient jouer dans la transition énergétique. Au regard des effets systémiques et des enjeux d'une massification que nous identifions, la question se pose alors des seuils au-delà desquels l'objectif énergétique, ou agroécologique, serait mis à mal, au profit de l'autre objectif. Ce type d'analyse permettrait de mieux expliciter les objectifs de la politique de méthanisation.

Pour conclure, notre analyse de la durabilité de la méthanisation souligne plus largement que l'enjeu du développement d'une méthanisation agroécologique se situe, avant tout, dans l'enjeu du soutien à la transition de l'agriculture.

Table des illustrations

1 Table des figures

Figure 1 : La méthanisation des matières a lieu dans un digesteur (dôme à gauche), le biogaz produit est épuré dans le cabanon d'épuration (à droite). (Source : autrice).	10
Figure 2 : Illustration d'une mobilisation contre un projet de méthanisation en France - Source : Article de La France Agricole (2022) « Méthanisation, les campagnes sous tension ». © PhotoPQR/Presse Océan/MaxPPP.....	14
Figure 3 : La figure présente les deux grandes approches des travaux académiques sur la durabilité de la méthanisation.	22
Figure 4 : Représentation simplifiée de notre modèle des systèmes agricoles (Source : autrice à partir de Darnhofer et al. 2012; Cochet et al, 2012).....	32
Figure 5 : Systèmes étudiés au niveau national et cadres théoriques mobilisés.	36
Figure 6 : Mobilisation des cadres théoriques de la Farming system research et de l'Agronomie système pour mener l'analyse de la gestion effective dans un dispositif de recherche emboîté.	37
Figure 7 : Résumé de la démarche et des objets de recherche.....	39
Figure 8: Projected biogas potential (in TWh) in the eleven studies that quantify its development.	49
Figure 9: Number of studies that mention each agro-environmental issue (more or less in-depth).....	51
Figure 10 : Synthèse des séquences d'évolution de la politique du biogaz en France (Source : autrice).....	68
Figure 11 - Evolution de la production d'énergie (en ordonnée, en kilo-tonnes équivalent pétrole) à partir de biogaz.	76
Figure 12 : Représentations des espaces de débat et de circulation de la promesse ENR entre 2012 et 2018. La promesse ENR est dominante dans le forum prospectif du biogaz et dans le forum des des professionnels du biogaz.	87
Figure 13 : Vision de la méthanisation agricole par la DGPE (Ministère de l'agriculture).	92
Figure 14 : Evolution de l'énergie primaire annuelle produite par méthanisation à travers la filière cogénération (électricité) et celle injection (biométhane).....	97
Figure 15 : Evolution du nombre cumulé d'installations de méthanisation en France.	98
Figure 16 : Espaces de débat et circulation de la promesse Agroécologique entre 2018 et 2020.	101
Figure 17 : Mobilisation des cadres théoriques de la Farming system research et de l'Agronomie système pour mener l'analyse de la gestion effective dans un dispositif de recherche emboîté.....	108
Figure 18 : Carte des territoires enquêtés en France.	110
Figure 19 : Nombre de projets de méthanisation aidés, cumulés par département en région Grand Est (Source Appel à projet Méthanisation 2022 Grand Est).	110
Figure 20 : Orientations technico-économiques communales des activités agricoles dans le département des Vosges (88).	111
Figure 21 : Orientations technico-économiques communales des activités agricoles dans le département du Bas-Rhin (68) - Source Agreste issue du recensement agricole de 2020.	112
Figure 22 : Répartition des tonnages moyens de différentes catégories d'intrants par mode de valorisation, en Grand Est (hors stations d'épuration et unités de méthanisation industrielles).	114
Figure 23 : Représentations des descripteurs de durabilité sur les différents systèmes techniques d'un système de production (ici avec un atelier d'élevage).....	118
Figure 24 : Schématisation de la démarche d'analyse des évolutions sur les systèmes de production.....	119
Figure 25 : Dynamiques d'évolution de la puissance installée des méthaniseurs.....	126
Figure 26 : Photographie d'une technologie d'épuration chez un agri-méthaniseur.	132
Figure 27 : Cette parcelle cultivée (céréales) d'un agri-méthaniseur des Vosges a été fertilisée au digestat au printemps (photographie en mai 2021).....	143
Figure 28 : Le compromis entre efficacité d'épandage et poids du matériel d'épandage entraînant risque de tassement, dans les stratégies de fertilisation des agri-méthaniseurs.....	145
Figure 29 : Coproduits agroindustriels (dont son de blé) et biodéchets (dont boues de STEP) dans un silo de stockage. (Source : autrice).....	154
Figure 30 : Evolution sur 10 ans du prix de 4 coproduits agro-industriels et de biodéchets (Source : agriculteurs).....	155
Figure 31 : Dynamiques d'évolution des productions d'élevage en lien avec la méthanisation.	176
Figure 32 : Trajectoires de durabilité des systèmes de production.	182

Figure 33 : Recueil de données et variables analysées.....	192
Figure 34 : Plan d'actions de l'orientation 3 « Agir en faveur de la méthanisation durable » proposé dans le Schéma régional Biomasse du Grand Est.....	226
Figure 35: Plan de financement type d'une unité de méthanisation - Source Clefs d'une méthanisation durable (CLER-Réseau pour la transition énergétique et al., 2021).....	231
Figure 36 : Recommandation pour une méthanisation durable - Source : Document « Développement de la méthanisation » (Climaxion et al., 2020).....	236
Figure 37: Une méthanisation de déchets - Source : Site web de Climaxion (s. d.).....	237
Figure 38 : « Attestation d'engagement à suivre les bonnes pratiques agro-environnementales pour les CIVE et les cultures énergétiques annuelles ».	244
Figure 39: Articulation des différents plans et stratégies nationaux et régionaux. (Source : Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (French Government, 2018)).	289

2 Table des tableaux

Tableau 1/Table 1: Corpus consisting of the 16 selected studies.	47
Tableau 2/Table 2: Quoted text (some are translated from French) about good practices that must be implemented for sustainable biogas.	52
Tableau 3/Table 3: Quoted text (some are translated from French) linked to the three farming system variables.	54
Tableau 4/Table 4: Relationship between the number of agro-environmental themes considered by each study and the scope of its systems analysis.	55
Tableau 5/Table 5 : What the literature says on agro-environmental issues of biogas development and what issues should be more considered in the futures studies.	57
Tableau 6 : Personnes enquêtées et modalités d'enquêtes. Ces entretiens correspondent à l'équivalent de 18 heures d'entretiens semi-directifs.	64
Tableau 7 : Lieux d'observation participante.....	65
Tableau 8 : Littérature grise mobilisée dans l'analyse. Une partie des documents sont publics, et une partie est issue d'un abonnement presse à un média privé (le média Contexte) via l'IDDRI.....	65
Tableau 9 : Description des séquences de la politique du biogaz : les éléments clefs des dynamiques discursives (idées, acteurs qui les portent) sont présentées, en regard des évolutions de la politique publique (objectifs, instruments).....	70
Tableau 10 : Evolutions des tarifs de rachat de l'énergie issue de la cogénération de biogaz ou de l'injection de biométhane.	84
Tableau 11 : Objectifs de politiques publiques issus de la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2016-2023 pour l'ensemble des filières de production de biogaz.....	89
Tableau 12 : Caractéristiques des exploitations agricoles et unités de méthanisation enquêtées - UM = Unité de méthanisation.....	116
Tableau 13 : Descripteurs qui organisent l'analyse qualitative de la durabilité agroenvironnementale des exploitations agricoles.....	123
Tableau 14 : Dénomination des agri-méthaniseurs enquêtés.....	124
Tableau 15 : Verbatim d'entretiens abordant différents volets de l'intérêt économique de la méthanisation. La première colonne se réfère au codage de l'agriculteur enquêté.	125
Tableau 16 : Description des évolutions fortes des systèmes de production qui ont accompagné l'arrivée de l'atelier de méthanisation.....	131
Tableau 17 : Verbatims illustrant l'impératif de continuité de la production, à un niveau proche du maximum.	134
Tableau 18 : Evolution de la consommation d'N minéral estimée par l'agriculteur lors des entretiens.	136
Tableau 19 : Pratiques de fertilisation au digestat des agri-méthaniseurs en agriculture biologique.....	139
Tableau 20 : Approvisionnement des unités de méthanisation enquêtées (pourcentage moyen en volume de matière brute par catégorie d'intrants et gammes de variation sur notre échantillon). Source : agriculteurs.....	153
Tableau 21 : Verbatims illustrant la concurrence et l'augmentation des prix sur le marché des coproduits agroindustriels.....	155
Tableau 22 : Table des pouvoirs méthanogènes de quelques intrants.....	156

Tableau 23 : Récapitulatif des évolutions des assolements des agriculteurs de la stratégie 2 avec le développement de la méthanisation.	160
Tableau 24 : Récapitulatif des évolutions des rotations des agriculteurs de la stratégie 3 avec le développement de la méthanisation (/ succession intra-annuelle ; // succession inter-annuelle).	161
Tableau 25 : Verbatim d'agri-méthaniseurs sur l'usage d'herbe de prairies permanentes en méthanisation	172
Tableau 26 : Dénomination des agri-méthaniseurs enquêtés.	188
Tableau 27 : Liste des entretiens anonymisés.....	189
Tableau 28: Liste des situations d'observation participante.	190
Tableau 29: Liste des documents clefs, issus de la littérature grise, mobilisés dans l'analyse. Les autres documents seront cités dans le corps du texte et référencés en bibliographie.	191
Tableau 30 : Agri-méthaniseurs concernés par des flux de biomasse avec d'autres agriculteurs du territoire : achat de maïs et échanges d'intrants contre épandage de digestat. Légende : *L'achat régulier de maïs correspond à des agri-méthaniseurs qui achètent tous les ans ou presque du maïs ensilage sur le territoire ; **l'achat ponctuel correspond à des agri-méthaniseurs qui en achètent plus rarement, lorsqu'ils ont peu de production en propre disponible, ou qu'ils ont une rupture d'approvisionnement en coproduit. Le report correspond à un achat de maïs reporté sur le territoire, induit par la méthanisation, mais qui ne sera pas consommé en méthanisation. Par exemple l'agriculteur va récolter 10ha de maïs en ensilage pour la méthanisation, alors qu'il les cultivait en maïs grain auparavant, et va en conséquence acheter 10ha de maïs grain sur le territoire comme aliment d'élevage.....	193
Tableau 31 : Types d'échanges d'intrants et de digestat entre agri-méthaniseurs et autres acteurs du territoire.	194
Tableau 32 : Verbatim sur les types de relations de travail entre agri-méthaniseurs et industriels fournisseurs de coproduits/biodéchets.....	207
Tableau 33 : Montant des aides à l'investissement proposés dans les AAP ADEME en Grand Est en 2017, 2020 et 2022 (Source AAP ADEME).....	230
Tableau 34 : Eléments de discours étayant la promesse « agroécologique » et identifiant des risques agroenvironnementaux dans les documents cadres de la politique régionale.	235
Tableau 35 : Perception de nouveaux enjeux agricoles et agroenvironnementaux par différents acteurs du territoire.	240
Tableau 36 : Liste des sigles utilisés dans la thèse.	283
Tableau 37 : Liste des unités utilisées dans la thèse.	283
Tableau 38 : Caractéristiques des fermes enquêtées.	284
Tableau 39 : Evolution de la part des légumineuses dans les assolements des agri-méthaniseurs.....	285
Tableau 40 : Description des dynamiques de consommation de pesticides avec l'arrivée de la méthanisation chez 21 agri-méthaniseurs.	288
Tableau 41 : Liste des entretiens exploratoires menés durant la thèse. Les entretiens sont anonymisés pour des considérations éthiques.	290
Tableau 42 : Liste et caractéristiques des entretiens semi-directifs menés durant la thèse. Les entretiens sont anonymisés pour des considérations éthiques.....	294

3 Table des encadrés

Encadré 1 : Présentation de la technologie de méthanisation.	11
Encadré 2 : Présentation succincte du cadre théorique général des transitions sociotechniques.	20
Encadré 3 : Directive européenne 2009/28/CE du Parlement européen et du conseil du 23 avril 2009.	78
Encadré 4 : Soutien à l'investissement des projets de méthanisation via les fonds Chaleur et Déchets ADEME.	90
Encadré 5 : Les méthaniseurs sont des installations classées pour l'environnement (ICPE).	96
Encadré 6 : Dynamiques des territoires agricoles des Vosges et du Bas-Rhin (Source : Agreste, 2021a ; 2021b).	113
Encadré 7 : Précisions techniques sur le matériel d'épandage de digestat (chantier sans-tonne et pendillard).	141
Encadré 8 : Documents cadre de la politique du biogaz en Grand Est.	222
Encadré 9 : Arrêté fixant le mode d'instruction par la DREAL pour la délivrance de l'avis préalable du Préfet.	246

Encadré 10 : Présentation succincte du cadre théorique général des transitions sociotechniques (Reprise de l'Encadré 2)..... 257

Annexes

1 Liste des sigles

Sigle	Signification du sigle (traduction français-anglais si concerné)
AAMF	Association des agriculteurs méthaniseurs de France
AAP	Appel à projets
AB	Agriculture biologique
ACE	Agronomie conseil énergie
ACSE	Air climat sol énergie
AD	<i>Anaerobic digestion</i> (digestion anaérobie)
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (<i>Agency for ecological transition</i>)
AEE	Agence pour les économies d'énergie
AFG	Association française du gaz
AFME	Agence française pour la maîtrise de l'énergie
AFSSET	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (ancien ANSES)
AILE	Association d'initiatives locales pour l'énergie et l'environnement (<i>French local energy association</i>)
AMI	Appels à manifestation d'intérêt
AMORCE	Association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur
ANCRE	Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie
ANRED	Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets
ANSES	Conseil général de l'environnement et du développement durable
APCA	Assemblée permanente des Chambres d'agriculture
AQA	Agence pour la qualité de l'air
AREC	Agence régionale énergie-climat
ARVALIS	Institut du végétal
ASGE	Analyse stratégique de la gestion environnementale
ATEE	Association technique énergie environnement (ancienne Association technique pour les économies d'énergie)
BPI	Banque publique d'investissement
CGE	Conseil général de l'économie
CGEDD	
CIMS	Culture intermédiaire multi-services
CIVE	Culture intermédiaire à vocation énergétique
CNB	Comité national biogaz
CTI	Commission Thématique Inter-filières
COMES	Commissariat à l'énergie solaire
COMOP	Comité opérationnel
CPER	Contrats de plan État-région
CRAGE	Chambre régionale d'agriculture du Grand Est
CRE	Commission de régulation de l'énergie (<i>French energy regulatory commission</i>)
CSF	Comité stratégique de filière
DDPP	Direction départementale de la protection des populations

DDSCPP	Direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
DGPE	Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DNTE	Débat national sur la transition énergétique
DRAAF	Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DRIEE	Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie
ECC	<i>Energy cover crops</i> (CIVE : Culture intermédiaire à vocation énergétique)
EDF	Electricité de France
EGA	Etats généraux de l'alimentation
EMAA	Energie méthanisation autonomie azote
ENR	Energie renouvelable
FEADER	Fonds européen agricole pour le développement rural
FEDER	Fonds européen pour le développement rural
FEDEREC	Fédération professionnelle des entreprises du recyclage
FGR	France gaz renouvelable
FNADE	Fédération nationale des activités de la dépollution et de l'environnement
FNCCR	Fédération nationale des collectivités concédantes et régies
FNE	France nature environnement
FNSEA	Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles
FSR	<i>Farming system research</i> (Courant de recherche sur les systèmes agricoles)
GDF	Gaz de France (ancien GRDF)
GES / GHG	Gaz à effet de serre / <i>Greenhouse gas</i>
GRDF	Gaz réseau distribution France (<i>French gas distribution network</i>)
GT	Groupe de travail
ICCT	<i>International council on clean transportation</i> (ONG internationale)
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IDDRI	Institut du développement durable et des relations internationales
IDELE	Institut de l'élevage
INRAE	L'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (fusion de l'INRA et l'IRSTEA)
IRSTEA	L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
LTECV	Loi de transition énergétique pour la croissance verte
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
MLP	Perspective multi-niveaux (<i>Multi-level perspective</i>)
N	Azote
OFATE	Office franco-allemand pour la transition énergétique
ONG	Organisation non-gouvernementale
OTEX	Orientations technico-économiques des exploitations
PAC	Politique agricole commune
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
R-GDS	Réseau gaz de Strasbourg
SAU	Surface agricole utilisée

SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau
SDES	Service des données et études statistiques
SEBP	Service eau, biodiversité et paysages
SER	Syndicat des énergies renouvelables (<i>Renewable energy union</i>)
SGARE	Secrétaire Général pour les Affaires Régionales et Européennes
SNBC	Stratégie nationale bas-carbone
SNM	Gestion stratégique de niche
SNMB	Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse
SPEGNN	Syndicat professionnel des entreprises locales gazières (<i>Professional union of non-nationalized gas companies</i>)
SRADDET	Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires
SRB	Schéma régional biomasse
SRCAE	Schéma régional climat, air, énergie
TECCLA	Transition énergétique, climat, construction, logement et aménagement
UD	Unité départementale
UM	Unité de méthanisation
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>

Tableau 36 : Liste des sigles utilisés dans la thèse.

Notation	Unité
ha	Hectare
W	Watt
Wh	Watheure
Nm3	Normo mètre cube
t	Tonne

Tableau 37 : Liste des unités utilisées dans la thèse.

2 Données complémentaires

Agriculteur	OTEX	SAU (ha)	Terres labourables (ha)	STH (ha)
A	Polyculture-élevage mixte	335	155	180
B	Polyculture-élevage mixte	400	235	165
C	Polyculture-élevage lait	180	100	80
D	Céréalière	220	195	25
E	Polyculture-élevage lait et atelier monogastrique	200	110	90
F	Polyculture-élevage lait	300	110	190
G	Polyculture-élevage mixte	310	250	60
H	Élevage viande herbager	495	135	360
I	Polyculture-élevage mixte	80	32	48
J	Polyculture-élevage mixte	680	539	141
K	Polyculture-élevage mixte	427	297	130
L	Élevage monogastrique (avicole)	140	140	0

M	Polyculture-élevage mixte	370	260	110
N	Céréaliier	64	60	4
O	Polyculture-élevage lait	130	82	48
P	Elevage herbager ovin	40	0	40
Q	Elevage monogastrique (porcin)	85	85	0
R	Polyculture-élevage lait	260	140	120
S	Céréaliier	101	95	6
T	Polyculture-élevage mixte + atelier avicole	300	150	150
U	Polyculture-élevage mixte	100	50	50
V	Elevage monogastrique (porcin)	100	100	0
W	Polyculture-élevage mixte	64	29	35

Tableau 38 : Caractéristiques des fermes enquêtées.

Agriculteur	Pratiques	Impacts sur la production de légumineuses
A	Retournement de quelques ha de prairies	0
B	Introduction de CIVE d'été avec quelques légumineuses en mélange (vesce, pois) mais elles ne lèvent pas souvent	+
C	La méthanisation, en le poussant à faire évoluer sa rotation (arrêt de l'orge), et les productions pas toujours satisfaisantes des prairies naturelles, ont conduit l'agriculteur à commencer à réintroduire des prairies temporaires de trèfles ou de luzerne pour les bêtes. Il vise d'augmenter les surfaces jusque 20ha.	++
D	Pour gérer le salissement en bio, derrière le seigle l'agriculteur met une temporaire de 2 ans avec trèfle, et comme ça il peut déclarer en cultures intermédiaires le seigle. Il a essayé en CIVE du méteil avec légumineuse mais c'est moins intéressant du point de vue méthanogène que le seigle.	++
E	L'agriculteur a introduit 30ha de seigle pour la méthanisation. Pour faire passer en SIE le seigle, l'agriculteur a introduit du trèfle, qui reste sur la parcelle jusqu'à octobre, alors que le seigle est récolté en juin.	++
F	L'agriculteur est passé de 10ha de prairies temporaires à 40ha de prairies temporaires avec légumineuses, en passant au bio avec la méthanisation	++
G	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0
H	L'agriculteur a remplacé quelques ha de triticale-trèfle violet par du maïs pour la méthanisation.	--
I	L'agriculteur a remplacé des céréales par 4-5ha de triticale pois immature pour la méthanisation	++

	Il a également retourné des prairies	--
J	Pas de réintroduction de légumineuses (la CIVE seigle-trèfle n'avait pas été concluante car les trèfles ne poussaient pas)	0
K	La méthanisation a conduit au retournement de 25ha de prairies, remplacé par 10-15ha de luzerne et 10-15ha de céréales.	++ /--
L	L'agriculteur a fait évoluer ses CIVE d'été vers des espèces avec moins de légumineuses, et plus productrices d'énergie	-
M	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0
N	La conversion au bio a conduit à la réintroduction de légumineuses avec un trèfle sur un an dans la rotation de 3 ans. Il a par contre arrêté les couverts avec légumineuses en mélange qu'il faisait entre blé et betterave.	++
O	Le séchoir lié à la cogénération les avait poussés à faire de la luzerne, mais suite à plusieurs échecs d'implantation, ils ont arrêté d'en cultiver.	0
Q	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0
R	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0
S	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0
T	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0
U	La méthanisation a conduit à réintroduire 30ha de méteil fourrager avec légumineuses pour le bétail, il met aussi de la vesce et du trèfle en interculture. 10ha de prairies ont par contre été retournés.	++ --
V	Il a testé des CIVE avec légumineuses pour la méthanisation, sans que cela devienne stable	0
W	Pas de réintroduction/arrêt de légumineuses	0

Tableau 39 : Evolution de la part des légumineuses dans les assolements des agri-méthaniseurs.

Légende : ++ : réintroduction de cultures avec légumineuses dans la rotation en culture principale ou intermédiaire d'hiver ; + réintroduction de légumineuses dans la rotation en CIVE d'été ; 0 pas de changement significatif lié à la part de légumineuses dans la sole ; - diminution des légumineuses dans les CIVE d'été ; -- diminution des légumineuses dans les cultures principales ou liée au retournement de prairies).

Agri-culteur	Cultures arrêtées...	Introduction de ...	Evolution de la consommation directe en pesticides : même conduite que les cultures antérieures ou description de l'évolution	Consommation indirecte de pesticides
L	10-15 hectares de maïs grain	10-15 hectares de maïs ensilage	Même conduite	Achat de maïs par report

O	Cultures intermédiaires après céréales : moutarde	CIVE après céréales : mélanges moha/sorgho multi-coupe/niger CIVE d'hiver (raygrass ou seigle) entre deux maïs)	Même conduite	Achat récent exceptionnel d'un peu de maïs ensilage
Q	X	Quelques hectares de CIVE d'été	Même conduite	
R	X	Quelques hectares de CIVE d'été	Même conduite	
P	X	X	Même conduite	
B	15-20 hectares de colza	15-20 hectares de maïs + prairie temporaire de raygrass-CIVE	Arrêt des insecticides des colzas Augmentation des traitements sur maïs, pas de traitement sur raygrass	Achats extérieurs de maïs
E	30-40 hectares de céréales	Maïs + seigle//raygrass (3 ans)	Arrêt des herbicides sur céréales Augmentation des traitements sur maïs Pas de traitement sur seigle (hésitation initiale à faire un durcisseur mais abandon)	
H	Prairies permanentes + triticale//trèfle	25 hectares de maïs ou sorgho + prairies temporaires	Arrêt des herbicides, durcisseurs et fongicides du triticale Nouveaux traitements des maïs (herbicide post-levée) Effet nettoyant des prairies temporaires après maïs	Achats extérieurs de maïs
A	Retournement de 7-8 hectares de prairies + arrêt de 5-6 hectares de blé et orge	Cultures de 12-13 hectares de seigle non traité	Diminution des traitements car des cultures traitées sont remplacées par des seigles non traités Observation de plus de vulpin ces dernières années	Achat de quelques ha de maïs conventionnel certaines années
W	Arrêt de l'orge + moins de blé et 5 hectares de moins de maïs	Triticale-seigle (12 hectares) + maïs + sorgho	Diminution des traitements sur les maïs (3 herbicides à 1,5), car implantation plus tardive du maïs + arrêt des traitements de l'orge et du blé supprimés + pas de	0

			nouveaux traitements sur les triticales	
G	Arrêt de 15 hectares de colza	Introduction de 15 hectares de maïs	Substitution des traitements du colza par ceux du maïs	Achat d'une 15aine d'ha par an de maïs à des agriculteurs voisins pour faire du stock pour la méthanisation et l'élevage
K	Arrêt de quelques ha de maïs Retournement de 25 hectares de prairies	CIVE d'hiver-trèfle sur quelques anciens ha de maïs CIVE d'été : <i>méthanicouv</i> après orge, mélange avoine-pois-trèfle + CIVE d'été avoine/pois/trèfle après blé 10-15ha de luzerne + 10ha de cultures de vente sur les prairies retournées	Même conduite sur les cultures antérieures + traitement supplémentaire sur les 10 hectares de cultures de vente supplémentaire	0
J	Réintroduction de 40 hectares de prairies temporaires et de 80 hectares de seigle en double culture	-	Même conduite qu'avant ; habituellement pas de traitement sur seigle mais traitement en 2021 car les champs semés tôt étaient sales	Achat de maïs conventionnel
C	Arrêt de 20 hectares d'orge	20 hectares de maïs et de seigle	Substitution des traitements d'orge par ceux du maïs, désherbage et insecticide si besoin sur le seigle	0
T	x	30-35 hectares de raygrass-trèfle et 40-45 hectares de seigle en interculture	Même consommation en moyenne de pesticides sauf sur maïs, où le précédent seigle permet de supprimer des passages en herbicides car les parcelles sont moins sales	0

I	Orge sur 2 hectares Triticale sur 4 hectares Retournement de 10 hectares de prairies permanentes	Ajout de maïs sur 5-6 hectares CIVE de méteil (triticale-pois en immature) avant maïs (9 hectares) Ajout de prairies temporaires (5ans) sur 5-6 hectares	Arrêt des traitements sur céréales (5-6ha) Ajout de traitements sur 5-6 hectares de maïs (1 désherbage pré-levée + rattrapage si besoin). L'agriculteur estime économiser des traitements sur sa rotation	Achats de maïs pour la méthanisation
U	Retournement de 10 hectares de prairies permanentes 30 hectares de maïs 10 hectares de céréales	30 hectares de méteil avec légumineuses (sorgho, vesce, tournesol, trèfle, niger) pour les bêtes 20ha de méteil pour la méthanisation	Arrêt pour le moment des traitements (mais peu de recul)	0
N	60 hectares de maïs//blé//betterave	60 hectares de céréales//légumineuses	Arrêt des pesticides	0
F	Maïs//blé//orge	Blé//blé//prairies temporaires légumineuses-graminées (3 ans)	Arrêt des pesticides	Achat d'au moins une 15aine d'ha de maïs par an
D	Cultures céréalières conventionnelles	2 ans de temporaires // blé //orge de printemps ou avoine // tournesol	Arrêt des pesticides	Achat de maïs conventionnel pour le méthaniseur
V	Cultures céréalières et maraichères conventionnelles	Conversion de 75% de ses cultures en bio	Arrêt des pesticides sur 75% des cultures, pas de changement de conduites sur ses parcelles conventionnelles avec l'introduction du seigle	Achats ponctuels de cultures en extérieur

Tableau 40 : Description des dynamiques de consommation de pesticides avec l'arrivée de la méthanisation chez 21 agri-méthaniseurs.

Légende :

	Même traitements qu'avant méthanisation
	Evolution des traitements liés à l'évolution des cultures en place : tendance difficile à estimer mais a priori plutôt à la baisse
	Augmentation des traitements car augmentation des surfaces cultivées liées à un retournement de prairies permanentes
	Petite diminution des traitements car réduction du salissement des parcelles
	Suppression totale des consommations directes de pesticides

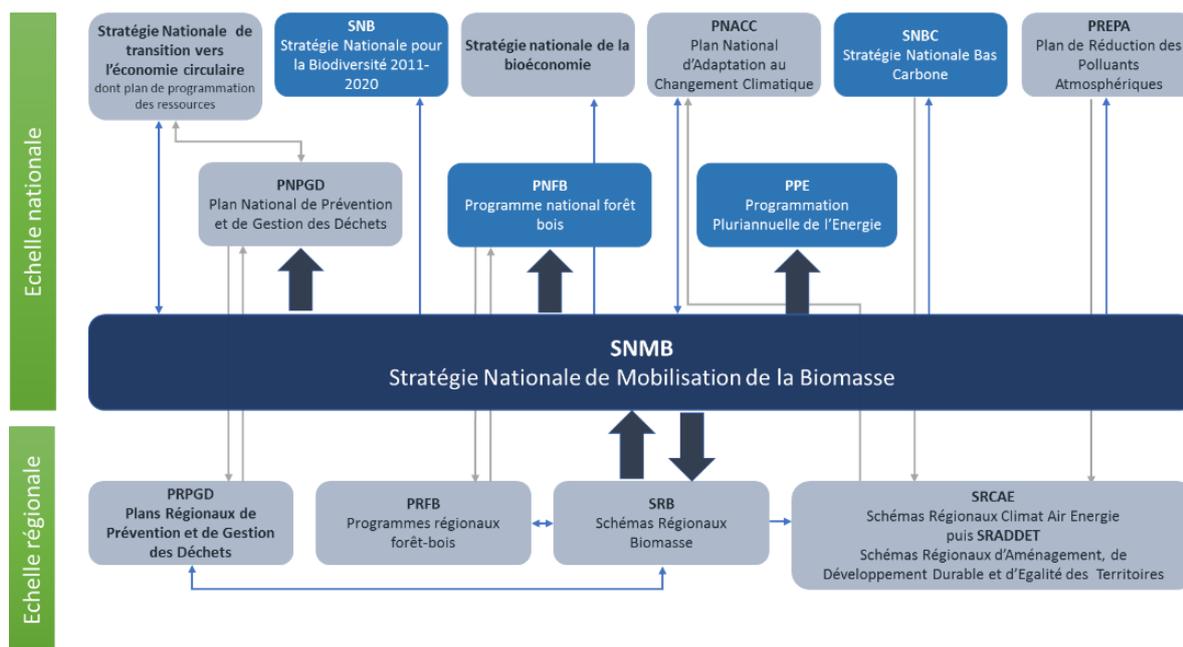
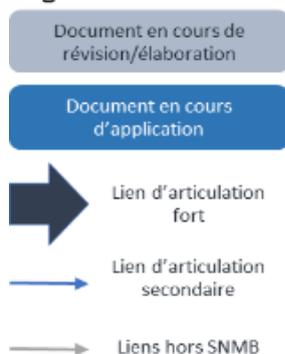


Figure 39: Articulation des différents plans et stratégies nationaux et régionaux. (Source : Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (French Government, 2018)).

Légende



3 Informations sur les entretiens semi-directifs menés durant la thèse

N°	Date	Type d'organisation/acteur	Modalité d'entretien
1	16/02/2019	LBE-INRA	Distanciel
2	18/02/2019	WWF	Présentiel
3	01/03/2019	GRDF	Présentiel
4	18/03/2019 et 2019/03/19	Solagro	Présentiel
5	22/03/2019	CerFrance	Distanciel
6	26/03/2019	INRAE	Distanciel
7	28/03/2019	CerFrance	Distanciel

8	16/05/2019	Solagro	Distanciel
9	17/05/2019	ESA Angers	Présentiel
10	11/06/2019	Energie Partagée	Présentiel
11	18/06/2019	European Climate Foundation	Distanciel
12	02/07/2019	FNE National	Présentiel
13	11/07/2019	IDDR	Présentiel
14	06/11/2019	DRIEE Ile-de-France	Présentiel
15	28/01/2020	Industriel de l'énergie	Présentiel
16	29/01/2020	Agriculteur méthaniseur	Présentiel
17	10/02/2020	AILE	Distanciel
18	21/02/2020	INRAE	Présentiel
19	20/03/2020	CNRS	Distanciel
20	20/03/2020	AScA	Distanciel
21	14/10/2020	AREC Ile-de-France	Distanciel
22	25/11/2020	Chambre d'agriculture départementale A	Distanciel
23	26/11/2020	INRAE	Distanciel
24	15/02/2021	EM Normandie	Distanciel
25	12/03/2021	ADEME Normandie	Distanciel
26	12/03/2021	CNRS	Distanciel
27	18/03/2021	FNE régional	Distanciel
28	20/03/2021	Chambre d'agriculture départementale A	Distanciel
29	01/04/2021	Chambre d'agriculture régionale	Distanciel
30	05/04/2021	Chambre d'agriculture départementale B	Distanciel
31	08/04/2021	GRDF	Distanciel
32	12/04/2021	Agrotransfert	Distanciel
33	27/04/2021	Syndicat des eaux	Distanciel
34	04/06/2021	Chambre d'agriculture départementale C	Distanciel
35	09/06/2021	Confédération paysanne	Distanciel

Tableau 41 : Liste des entretiens exploratoires menés durant la thèse. Les entretiens sont anonymisés pour des considérations éthiques.

N°	Date	Type d'organisation/acteur	Modalité d'entretien	Durée d'entretien	Retranscription
1	18/03/2019	Solagro	Présentiel	1h	Prestataire
2	19/03/2019	Solagro	Présentiel	1h45	Prestataire
3	26/03/2019	Ministères (2 acteurs)	Présentiel	1h	Notes exhaustives
4	07/06/2019	CTBM	Présentiel	1h	Prestataire
5	07/06/2019	ATEE	Présentiel	2h	Prestataire
6	16/07/2019	GRDF	Entretien mené et retranscrit par Pascal Grouiez	-	Autre chercheur

7	21/10/2019	BPIFrance	Présentiel	2h30	Prestataire
8	27/11/2019	Ministère	Présentiel	1h	Autrice
9	15/02/2021	CTBM	Distanciel	1h15	Autrice
10	23/02/2021	FNE	Distanciel	30min	Autrice
11	03/03/2021	ADEME Grand Est	Distanciel	45min	Autrice
12	04/03/2021	WWF	Distanciel	45min	Notes exhaustives
			Distanciel (assistance à l'entretien mené par Pascal Grouiez)		
13	16/03/2021	Coopérative A		1h30	Autrice
		Chambre d'agriculture départementale	Distanciel	1h	Autrice
		Association			
15	19/03/2021	environnementale	Distanciel	1h	Notes exhaustives
16	22/03/2021	Universitaire	Distanciel	2h10	Autrice
		Chambre d'agriculture régionale	Distanciel	1h	Notes exhaustives
17	07/04/2021	FNSEA	Distanciel	1h30	Autrice
18	07/04/2021	FNSEA	Distanciel	1h30	Autrice
19	08/04/2021	Solagro	Distanciel	30min	Notes exhaustives
20	15/04/2021	GRDF Grand Est	Distanciel	1h	Autrice
21	19/04/2021	Agence de l'eau	Distanciel	1h	Autrice
22	20/04/2021	Syndicat des eaux	Distanciel	35min	Notes exhaustives
23	26/04/2021	Agri-méthaniseur A	Présentiel	1h25	Autrice
24	27/04/2021	Agri-méthaniseur B	Présentiel	2h30	Autrice
25	28/04/2021	Agri-méthaniseur C	Présentiel	1h	Autrice
		Chambre d'agriculture départementale	Distanciel	20min	Notes exhaustives
26	06/05/2021	départementale	Distanciel	20min	Notes exhaustives
27	07/05/2021	Universitaire	Présentiel	2h	Autrice
28	10/05/2021	Agri-méthaniseur D	Présentiel	1h50	Autrice
29	11/05/2021	Agri-méthaniseur E	Présentiel	2h	Autrice
		Agriculteur élus de chambre d'agriculture	Distanciel	30min	Notes exhaustives
30	11/05/2021	Constructeur	Distanciel	1h10	Autrice
31	11/05/2021	Constructeur	Distanciel	1h10	Autrice
32	12/05/2021	Agri-méthaniseur F	Présentiel	2h20	Autrice
33	12/05/2021	Agri-méthaniseur G	Présentiel	2h10	Autrice
34	12/05/2021	ADEME Grand Est	Distanciel	50min	Prestataire
35	13/05/2021	Agri-méthaniseur H	Présentiel	1h00	Autrice
36	13/05/2021	Agri-méthaniseur I	Présentiel	1h30	Autrice
37	17/05/2021	Agri-méthaniseur K	Présentiel	1h45	Autrice
38	18/05/2021	Agri-apporteur	Présentiel	30min	Notes exhaustives
39	18/05/2021	Agri-repreneur	Présentiel	25min	Autrice
40	19/05/2021	Agri-méthaniseur J	Présentiel	1h25	Autrice
41	19/05/2021	Agri-repreneur	Présentiel	25min	Autrice
42	19/05/2021	Agri-apporteur	Présentiel	1h05	Autrice
43	20/05/2021	Coopérative B	Distanciel	1h	Autrice

44	25/05/2021	BTPL	Distanciel	1h10	Autrice
45	03/06/2021	SDEA	Distanciel	1h25	Notes exhaustives
46	08/06/2021	APAL	Distanciel	1h05	Notes exhaustives
47	09/06/2021	Agri-méthaniseur L	Présentiel	1h45	Autrice
48	09/06/2021	Agri-méthaniseur M	Présentiel	1h45	Autrice
49	10/06/2021	DDCSPP	Distanciel	30min	Notes exhaustives
50	10/06/2021	Agri-méthaniseur N	Présentiel	2h	Prestataire
			Distanciel (entretien depuis son tracteur) + visite de l'UM la semaine suivante		
51	11/06/2021	Agri-méthaniseur O		2h50	Autrice
52	14/06/2021	Agri-méthaniseur P	Présentiel	1h	Autrice
53	14/06/2021	Agri-méthaniseur Q	Présentiel	2h35	Autrice
			Distanciel (depuis son tracteur)		
54	15/06/2021	Agri-méthaniseur S		1h10	Autrice
	15/06/2021				
	et				
55	16/06/2021	Agri-méthaniseur R	Distanciel (en 2 fois)	1h40	Autrice
		Confédération paysanne			
56	17/06/2021		Distanciel	1h15	Prestataire
57	21/06/2021	Agri-méthaniseur T	Présentiel	2h15	Prestataire
		Entreprise de travaux agricoles			
58	21/06/2021		Présentiel	1h	Notes exhaustives
59	22/06/2021	IDELE	Distanciel	30min	Notes exhaustives
60	22/06/2021	UM industrielle	Présentiel	1h10	Autrice
61	22/06/2021	Agri-repreneur	Présentiel	25min	Autrice
62	22/06/2021	Agri-méthaniseur U	Présentiel	2h20	Prestataire
63	23/06/2021	Agri-méthaniseur V	Présentiel	1h25	Prestataire
64	23/06/2021	Agri-méthaniseur W	Présentiel	1h	Prestataire
		Agriculteur ayant renoncé à un projet d'UM			
65	23/06/2021		Présentiel	20min	Autrice
66	12/07/2021	Coopérative C	Distanciel	1h	Notes exhaustives
67	20/01/2022	Coopérative D	Distanciel	50min	Prestataire
		Confédération paysanne			
68	25/01/2022		Distanciel	1h15	Prestataire
		Agri-méthaniseur H (entretien complémentaire)			Autrice (retranscription partielle)
69	09/03/2022		Distanciel	30min	
		Agri-méthaniseur F (entretien complémentaire)			Autrice (retranscription partielle)
70	09/03/2022		Distanciel	10min	

71	11/03/2022	Agri-méthaniseur I (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
72	15/03/2022	Agri-méthaniseur M (entretien complémentaire)	Distanciel	40min	Autrice (retranscription partielle)
73	15/03/2022	Agri-méthaniseur L (entretien complémentaire)	Distanciel	50min	Autrice (retranscription partielle)
74	31/03/2022	Agri-méthaniseur O (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
75	01/04/2022	Agri-méthaniseur U (entretien complémentaire)	Distanciel	15min	Autrice (retranscription partielle)
76	01/04/2022	Agri-méthaniseur T (entretien complémentaire)	Distanciel	7min	Autrice (retranscription partielle)
77	07/04/2022	Agri-méthaniseur N (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
78	08/04/2022	Agri-méthaniseur W (entretien complémentaire)	Distanciel	10min	Autrice (retranscription partielle)
79	11/04/2022	Agri-méthaniseur B (entretien complémentaire)	Distanciel	40min	Autrice (retranscription partielle)
80	11/04/2022	Agri-méthaniseur E (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
81	12/04/2022	Agri-méthaniseur K (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
82	27/04/2022	Agri-méthaniseur V (entretien complémentaire)	Distanciel	30min	Autrice (retranscription partielle)
83	28/04/2022	Agri-méthaniseur J (entretien complémentaire)	Distanciel	30min	Autrice (retranscription partielle)
84	02/05/2022	Agri-méthaniseur C (entretien complémentaire)	Distanciel	25min	Autrice (retranscription partielle)

85	04/05/2022	Agri-méthaniseur Q (entretien complémentaire)	Distanciel	10min	Autrice (retranscription partielle)
86	23/05/2022	Agri-méthaniseur D (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
87	24/05/2022	Agri-méthaniseur P (entretien complémentaire)	Distanciel	2min	Autrice (retranscription partielle)
88	27/05/2022	Agri-méthaniseur G (entretien complémentaire)	Distanciel	45min	Autrice (retranscription partielle)
89	30/05/2022	Agri-méthaniseur R (entretien complémentaire)	Distanciel	1h	Autrice (retranscription partielle)
90	30/05/2022	Agri-méthaniseur S (entretien complémentaire)	Distanciel	20min	Autrice (retranscription partielle)
91	03/06/2022	Agri-méthaniseur A (entretien complémentaire)	Distanciel	35min	Autrice (retranscription partielle)
92	23/09/2022	Administration régionale	Distanciel	1h45	Prestataire
93	27/09/2022	Administration régionale	Distanciel	1h40	Prestataire
94	14/10/2022 25/11/2022	IDDR	Présentiel (en 2 fois)	2h15	Autrice
95	18/10/2022	ADEME Grand Est	Distanciel	1h	Notes exhaustives
96	17/11/2022	SOLAGRO	Distanciel	1h45	Autrice
97	28/11/2022	Ministère	Distanciel	1h	Notes exhaustives
98	05/12/2022 21/12/2022	GRDF	Distanciel (en 2 fois)	1h30	Prestataire + autrice
99	08/12/2022	Agence de l'eau	Distanciel	25min	Autrice

Tableau 42 : Liste et caractéristiques des entretiens semi-directifs menés durant la thèse. Les entretiens sont anonymisés pour des considérations éthiques.

Bibliographie

- Abu, R., Aziz, M. A. A., Hassan, C. H. C., & Noor, Z. Z. (2020). *Renewable biogas from anaerobic digestion of biomass: Influence factors in life cycle assessment*. 808(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/808/1/012011>
- Académie des technologies (Éd.). (2016). *Le biogaz*. EDP sciences. http://academie-technologies-prod.s3.amazonaws.com/2016/03/29/14/01/48/654/biogaz_internet.pdf
- Act4gaz, & GRDF. (s. d.). [Radio] « L'agriculture est en capacité aujourd'hui de produire de l'énergie », Jean Rottner. Consulté 30 novembre 2022, à l'adresse <https://act4gaz.grdf.fr/radio-lagriculture-est-en-capacite-aujourd'hui-de-produire-de-lenergie-jean-rottner>
- Actu-Environnement. (2020, septembre 15). *Méthanisation: Les agriculteurs craignent d'être supplantés par les industriels de l'énergie*. Actu-Environnement; Actu-environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/methanisation-agricole-aamf-critique-projet-reforme-tarifs-achat-biomethane-injecte-36097.php4>
- ADEME. (2017). *Méthanisation—Feuille de route stratégique*. <https://www.ademe.fr/feuille-route-strategique-methanisation>
- ADEME. (2022). *Attestation d'engagement à suivre les bonnes pratiques agro-environnementales pour les CIVE et les cultures énergétiques annuelles*. <https://agirpoulatransition.ademe.fr/entreprises/sites/default/files/Attestation%20respect%20bonnes%20pratiques%20agro-env%20CIVE%20et%20cultures%20%C3%A9nerg%C3%A9tiques%20-%20M%C3%A9thanisation%20GE.docx>
- ADEME, APESA, & Biomasse Normandie. (2014). *Suivi technique, économique, environnemental et social d'installations de méthanisation* (p. 67). https://librairie.ademe.fr/cadic/3114/suivi_installations_methanisation_201405_rapport.pdf
- ADEME, Deloitte développement durable, AILE, & Alterra Wanegingen. (2017). *Mobilisation de la biomasse agricole. Etat de l'art et Analyse prospective* (p. 186). <https://www.ademe.fr/mobilisation-biomasse-agricole-etat-lart-analyse-prospective>
- ADEME, GRDF, & GRTgaz. (2018). *A 100% renewable gas mix in 2050*. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/renewable-gas-mix-2050-010521.pdf>
- ADEME, I Care & Consult, Blézat consulting, CERFrance, & Céréopa. (2017). *Agriculture et énergies renouvelables: Contributions et opportunités pour les exploitations agricoles* (p. 205). <https://www.ademe.fr/agriculture-energies-renouvelables>
- ADEME, & Région Grand Est. (2022). *Observation régionale de la méthanisation en région Grand Est*. https://www.climaxion.fr/sites/climaxion/files/docutheque/synthese_ademe_regionale_finale_2206.pdf
- ADEME, & Solagro. (2013). *Gisements de substrats pour la méthanisation en 2030*. <https://docplayer.fr/18047744-Estimation-des-gisements-potentiels-de-substrats-utilisables-en-methanisation.html>
- ADEME, & Solagro. (2018). *La méthanisation, levier de l'agroécologie—Synthèse des résultats du programme MéthaLAE* (p. 17). www.ademe.fr/mediatheque
- AFSSET. (2008). *Risques sanitaires du biogaz (Saisine Afsset « 2006/010 »; p. 185)*. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2006et0010Ra.pdf>

- Aggarwal, R. K., Chandel, S. S., Yadav, P., & Khosla, A. (2021). Perspective of new innovative biogas technology policy implementation for sustainable development in India. *Energy Policy*, 159, 112666. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112666>
- Agreste. (2016). Filière végétale. https://grandest.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/049_Inst-Acal/RUBR-productions-agricoles/productions_vegetales/PV_atlas_DRAAF_2016.pdf
- Aissani, L., Collet, A., & Béline, F. (2013). Détermination de l'intérêt environnemental via l'analyse du cycle de vie du traitement des effluents organiques par méthanisation au regard des contraintes territoriales. *Sciences Eaux & Territoires*, Numéro 12(3), 78-85. <https://doi.org/10.3917/set.012.0078>
- Al Seadi, T. (2010, novembre). Utilisation of digestate as fertiliser—A common practice in Denmark. *Biogas workshop and Working Group Meeting*. https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/03/Teodorita_Al_Seadi_Digestate_in_Denmark.pdf
- Alcamo, J. (2008). Chapter Six The SAS Approach : Combining Qualitative and Quantitative Knowledge in Environmental Scenarios. In *Developments in Integrated Environmental Assessment (Vol. 2, p. 123-150)*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00406-7](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00406-7)
- Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54(1), 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>
- Altieri, M. A., Funes-Monzote, F. R., & Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers : Contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2003). Soil fertility management and insect pests : Harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 203-211. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00089-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00089-8)
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2017). Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads : An Agroecological Perspective. *Sustainability*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su9030349>
- Ampese, L. C., Sganzerla, W. G., Di Domenico Ziero, H., Mudhoo, A., Martins, G., & Forster-Carneiro, T. (2022). Research progress, trends, and updates on anaerobic digestion technology : A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 331, 130004. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130004>
- Appel, F., Ostermeyer-Wiethaup, A., & Balmann, A. (2016). Effects of the German Renewable Energy Act on structural change in agriculture – The case of biogas. *Utilities Policy*, 41, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.02.013>
- Archives nationales. (1994). Agence française pour la maîtrise de l'énergie (1971-1992). Archives nationales. https://www.siv.archives-nationales.culture.gouv.fr/siv/rechercheconsultation/consultation/ir/pdfIR.action?irId=FRAN_IR_013334
- Arnau, Á. S., Lamon, F., Dekker, H., Lorin, A., Giacomazzi, M., & Decorte, M. (2021). Activity Report 2021—European Biogas Association (p. 24). European biogas association. <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/01/EBA-Activity-Report-2021.pdf>
- Arrêté du 16 avril 2002 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par méthanisation, (2002). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000592012>

- Arrêté du 19 mai 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz, (2011). https://www.legifrance.gouv.fr/download/file/FaLi9310607OtMxo_4h-00FqeYXRLjkQNN2o6QYWj74=/JOE_TEXTE
- Association de recherche technique betteravière. (2021). Méthanisation—Règlementation de durabilité des intrants Conséquences pour la Pulpe de betterave. https://www.artb-france.com/images/actualite/fichier-actualite/2021JLSA231-_Mthanisation_-_Durabilit_intrants__pulpe.pdf
- ATEE. (2014). 15 ans du Club Biogaz—Histoire et implication dans le développement de la filière. https://atee.fr/sites/default/files/2014_15ans_cbiogaz_temoignages.pdf
- Aubert, P.-M., Schwoob, M.-H., & Poux, X. (2019). Agroecology and carbon neutrality in europe by 2050: What are the issues? Findings from the tyfa modelling exercise. https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Iddri/Etude/201904-ST0219-TYFA%20GHG_2.pdf
- Auer, A., Vande Burgt, N. H., Abram, F., Barry, G., Fenton, O., Markey, B. K., Nolan, S., Richards, K., Bolton, D., De Waal, T., Gordon, S. V., O'Flaherty, V., Whyte, P., & Zintl, A. (2017). Agricultural anaerobic digestion power plants in Ireland and Germany : Policy and practice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 719-723. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8005>
- Aulagnier, A. (2020). Réduire sans contraindre. Le gouvernement des pratiques agricoles à l'épreuve des pesticides. Sciences Po Paris.
- Bacenetti, J., Fusi, A., Negri, M., Guidetti, R., & Fiala, M. (2014). Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production. *Science of The Total Environment*, 466-467, 1066-1077. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.109>
- Bacenetti, J., Sala, C., Fusi, A., & Fiala, M. (2016). Agricultural anaerobic digestion plants : What LCA studies pointed out and what can be done to make them more environmentally sustainable. *Applied Energy*, 179, 669-686. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.029>
- Bailly, V. (2014). La méthanisation : D'une promesse technoscientifique à sa mise en filière. Mémoire de master en sociologie.
- Baldino, C. (2017). The potential for low-carbon renewable methane in heating, power, and transport in the European Union (p. 14). ICCT. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Renewable_Gas_EU-28_20181016.pdf
- Baldino, C. (2018). The potential for low-carbon renewable methane as a transport fuel in France, Italy, and Spain (p. 16). ICCT. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Biogas_potential_FR_IT_ES_20181109.pdf
- Baldino, C. (2019). A methodological comparison for estimating renewable gas potential in France (p. 14). ICCT. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Renewable_gas_potential_France_20191025.pdf
- Banja, M., Jégard, M., Motola, V., & Sikkema, R. (2019). Support for biogas in the EU electricity sector – A comparative analysis. *Biomass and Bioenergy*, 128, 105313. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105313>
- Banja, M., Sikkema, R., Jégard, M., Motola, V., & Dallemand, J.-F. (2019). Biomass for energy in the EU – The support framework. *Energy Policy*, 131, 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.038>

- Basosi, R., Spinelli, D., Fierro, A., & Jez, S. (2014). Mineral nitrogen fertilizers : Environmental impact of production and use. In *Fertilizers : Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts* (p. 3-43). Scopus.
- BDEW. (2015). *Bio- und Erdgas Brosch. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) - Association fédérale de l'industrie de l'énergie et de l'eau.* https://issuu.com/bdew_ev/docs/bio-erdgas-brosch__re_tt_final_es
- Beausang, C., McDonnell, K., & Murphy, F. (2021). Assessing the environmental sustainability of grass silage and cattle slurry for biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126838>
- Beillouin, D., Pelzer, E., Baranger, E., Carrouée, B., Cernay, C., de Chezelles, E., Schneider, A., & Jeuffroy, M.-H. (2021). Diversifying cropping sequence reduces nitrogen leaching risks. *Field Crops Research*, 272. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108268>
- Belna, K., Leménager, T., & Mermet, L. (2012). *Evaluer l'efficacité de politiques et programmes environnementaux : Quel cadrage méthodologique proposer ?*
- Bentz, N. (2021). *Guide pour le Financement de la Méthanisation—Recensement des solutions de financement pour les projets de méthanisation agricole* (p. 49). ADEME, GRDF. https://projet-methanisation.grdf.fr/cms-assets/2021/06/guide_financement_methanisation-ADEME-GRDF.pdf
- Berger, M. (2018). *Bilan de la filière. Conférence régionale de la méthanisation.* https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2_bilan-filiere-metha-dreal.pdf
- Berkhout, F. (2006). Normative expectations in systems innovation. *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), 299-311. <https://doi.org/10.1080/09537320600777010>
- Biernacki, P., & Waldorf, D. (1981). Snowball Sampling : Problems and Techniques of Chain Referral Sampling. *Sociological Methods & Research*, 10(2), 141-163. <https://doi.org/10.1177/004912418101000205>
- Biggs, S. D. (1995). Farming systems research and rural poverty : Relationships between context and content. *Agricultural Systems*, 47(2), 161-174. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)P4409-U](https://doi.org/10.1016/0308-521X(94)P4409-U)
- Bioeconomy for change.* (2020, juillet 13). *Projet Terrasolis. Portail officiel de la bioéconomie en Grand Est.* <https://www.bioeconomie-grandest.fr/projets/terrasolis/>
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., Elmore, R. W., Francis, C. A., & Hergert, G. W. (2015). Cover Crops and Ecosystem Services : Insights from Studies in Temperate Soils. *Agronomy Journal*, 107(6), 2449. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>
- Blokhina, Y. N., Prochnow, A., Plöchl, M., Luckhaus, C., & Heiermann, M. (2011). Concepts and profitability of biogas production from landscape management grass. *Bioresource Technology*, 102(2), 2086-2092. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.002>
- Blumenstein, B., Siegmeier, T., Bruckhaus, C., Anspach, V., & Möller, D. (2015). Integrated Bioenergy and Food Production—A German Survey on Structure and Developments of Anaerobic Digestion in Organic Farming Systems. *Sustainability*, 7(8), 10709-10732. <https://doi.org/10.3390/su70810709>
- Blumenstein, B., Siegmeier, T., Selsam, F., & Möller, D. (2018). A case of sustainable intensification : Stochastic farm budget optimization considering internal economic benefits of biogas production in organic agriculture. *Agricultural Systems*, 159, 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.016>

- Bodilis, A. M., Trochard, R., Lechat, G., Airiaud, A., Lambert, L., & Hruschka, S. (2015). Impacts of agricultural biogas plants on soil organic matter : An analysis of 10 farms in the Pays de la Loire region of France. *Fourrages*, No.223, 233-239.
- Boerema, A., Peeters, A., Swolfs, S., Vandevenne, F., Jacobs, S., Staes, J., & Meire, P. (2016). Soybean Trade : Balancing Environmental and Socio-Economic Impacts of an Intercontinental Market. *PLOS ONE*, 11(5), e0155222. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155222>
- Borup, M., Brown, N., Konrad, K., & Van Lente, H. (2006). The sociology of expectations in science and technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), 285-298. <https://doi.org/10.1080/09537320600777002>
- Boulamanti, A. K., Donida Maglio, S., Giuntoli, J., & Agostini, A. (2013). Influence of different practices on biogas sustainability. *Biomass and Bioenergy*, 53, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.020>
- Bourdin, S. (2020). Le NIMBY ne suffit plus ! Étude de l'acceptabilité sociale des projets de méthanisation. *L'Espace Politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, 38, Article 38. <https://doi.org/10.4000/espacepolitique.6619>
- Bourdin, S., Nadou, F., & Raulin, F. (2019). Les collectivités locales comme acteurs intermédiaires de la territorialisation de la transition énergétique : L'exemple de la méthanisation. *Géographie, économie, société*, 21(4), 273-293. <https://doi.org/10.3166/ges>
- Boy, D., Brugidou, M., Denord, F., Evrard, A., Gaultier-Voituriez, O., Halpern, C., Lascoumes, P., Pollard, J., & Sénit, C.-A. (2012). *Le Grenelle de l'environnement : Acteurs, discours, effets*. CEVIPOF.
- Brémond, U., Bertrandias, A., Steyer, J.-P., Bernet, N., & Carrere, H. (2020). A vision of European biogas sector development towards 2030 : Trends and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 125065. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125065>
- Britz, W., & Delzeit, R. (2013). The impact of German biogas production on European and global agricultural markets, land use and the environment. *Energy Policy*, 62, 1268-1275. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.123>
- Brown, N., Rappert, B., & Webster, A. (Éds.). (2000). *Contested futures : A sociology of prospective techno-science*. Ashgate.
- Bruno, I., Didier, E., & Prévieux, J. (2015). *Statactivism : Comment lutter avec des nombres*. La Découverte. https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=n22cBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Statactivism:+Comment+lutter+avec+des+nombres&ots=MFTAlqxPG0&sig=zjZOB2Z4FikVI_yBI8NZgNZIv6U#v=onepage&q=Statactivism%3A%20Comment%20lutter%20avec%20des%20nombres&f=false
- Busca, D. (2003). Agriculture et environnement. La mise en œuvre négociée des dispositifs agri-environnementaux. Effets d'organisation, enjeux de territoire et dynamique d'appropriation stratégique. *Ruralia. Sciences sociales et mondes ruraux contemporains*, 12/13, Article 12/13. <https://journals.openedition.org/ruralia/348>
- Callon, M. (1986). Élément pour une sociologie de la traduction : La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique (1940/1948-)*, 36, 169-208.
- Carrosio, G. (2013a). *Competizione tra energia e cibo. La produzione di energia da biogas nella Pianura Padana*. *Agriregionieuropa*, 1. Scopus.
- Carrosio, G. (2013b). Energy production from biogas in the Italian countryside : Policies and organizational models. *Energy Policy*, 63, 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.072>

- Carrosio, G. (2014). *Energy production from biogas in the Italian countryside : Modernization vs. repeasantization*. *Biomass and Bioenergy*, 70, 141-148. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.09.002>
- Carton, S., & Bulcke, Q. (2021). *L'utilisation des digestats en agriculture : Les bonnes pratiques à mettre en oeuvre*. http://www2.agroparistech.fr/IMG/pdf/utilisation_des_digestats_en_agriculture--video1.pdf
- Carton, S., & Levavasseur, F. (2022). *Performances agronomiques et environnementales de la méthanisation agricole dans un contexte de grandes cultures céréalières (sans élevage) et recommandations de bonnes pratiques*. 84.
- Cavicchi, B. (2016). *Sustainability that backfires : The case of biogas in Emilia Romagna*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 21, 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2016.02.001>
- Cerf, M., Omon, B., Chantre, E., Guillot, M., Bail, M. L., Lamine, C., & Olry, P. (2010). *Vers des systèmes économes en intrants : Quelles trajectoires et quel accompagnement pour les producteurs en grandes cultures*. *Innovations Agronomiques*, 8, 105-119.
- CerFrance. (2018, octobre 25). *Présentation de MethaLAE Impacts économiques et organisationnels*. Séminaire.
- Chambre d'agriculture Bretagne, & AILE. (2006). *Projet de programme Agriculture/Energie Bretagne*. [https://www.chambres-agriculture-bretagne.fr/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/05695/\\$File/%C3%A9nergie.pdf?OpenElement](https://www.chambres-agriculture-bretagne.fr/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/05695/$File/%C3%A9nergie.pdf?OpenElement)
- Chambre d'agriculture du Grand Est. (2019). *La méthanisation agricole dans le Grand Est—Les chambres d'agriculture répondent à vos questions*. https://grandest.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Grand-Est/44_Plaquette_methanisation_2019.pdf
- Chambre d'agriculture du Grand Est. (2021). *La méthanisation agricole en Grand Est*. https://grandest.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/049_Inst-Acal/RUBR-agro-environnement/ACSE_2020_2022/PLA_20221124_6p_metha_grand_public_ACSE_sans_forme_decoupe.pdf
- Chambre d'agriculture Grand Est. (2018, février). *La méthanisation : Un levier pour notre agriculture ? Suivi des unités de méthanisation*. Colloque ACSE, Laxou. https://operaconnaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=148431
- Chambre régionale d'agriculture Grand Est (Réalisateur). (2022, février 24). *PEI PARTAGE : Webinaire accompagnement agronomique des méthaniseurs avec MAELIA*. <https://www.youtube.com/watch?v=9xJxdp77o20>
- Chambres d'agriculture Grand Est. (2020). *Méthanisation : État des lieux et références technico-économiques en Grand Est—Programme ACSE*. https://grandest.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/049_Inst-Acal/RUBR-agro-environnement/Projet_ACSE/methanisation/44_Methanisation_etat_lieux_references_GE_2020.pdf
- Chantre, E., & Cardona, A. (2014). *Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices : Change, Learning, and Links with the Advisory Services*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(5), 573-602. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>
- Chateauraynaud, F., & Debaz, J. (2017). *Aux bords de l'irréversible : Sociologie pragmatique des transformations*. Éditions Pétra.

- Chávez-Fuentes, J. J., Capobianco, A., Barbušová, J., & Hutňan, M. (2017). *Manure from Our Agricultural Animals : A Quantitative and Qualitative Analysis Focused on Biogas Production*. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1749-1757. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9970-5>
- Chung, C., Liu, L., Zhang, Y., Wang, Y., & Wei, Z. (2022). *Evolution of biogas policies in China (2001–2019) : Dynamics of policy instruments towards energy transitions*. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134642. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134642>
- Clements, L. J., Salter, A. M., Banks, C. J., & Poppy, G. M. (2012). *The usability of digestate in organic farming*. *Water Science and Technology*, 66(9), 1864-1870. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.389>
- Clermont-Dauphin, C., Blanchart, E., Loranger-Merciris, G., & Meynard, J.-M. (2014). *Cropping Systems to Improve Soil Biodiversity and Ecosystem Services : The Outlook and Lines of Research* (H. Ozier-Lafontaine & M. Lesueur-Jannoyer, Éd.s.; Vol. 14, p. 117-158). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06016-3_5
- CLER-Réseau pour la transition énergétique, Solagro, & GRDF. (2021). *Les clefs d'une méthanisation durable*. https://solagro.org/images/imagesCK/files/publications/f110_cles-methanisation-durable.pdf
- Climaxion. (s. d.). *Méthanisation. Climaxion, anticiper, économiser, valoriser*. Consulté 9 février 2023, à l'adresse <https://www.climaxion.fr/thematiques/energies-renouvelables/methanisation>
- Climaxion, ADEME, & Région Grand Est. (2018, janvier 25). *Présentation du programme Climaxion. Climaxion, anticiper, économiser, valoriser*. <https://www.climaxion.fr/programme-climaxion>
- Climaxion, Région Grand Est, & ADEME. (2020). *Développement de la méthanisation—Stratégie territoriale en région Grand Est*. https://www.climaxion.fr/sites/climaxion/files/docutheque/climax_plaquette_methanisation_2020_8_pages_a4_web_pap.pdf
- Cochet, H., Devienne, S., & Dufumier, M. (2007). *L'agriculture comparée, une discipline de synthèse ? Économie rurale*, 297-298, 99-112. <https://doi.org/10.4000/economierurale.2043>
- Collinson, M., & Lightfoot, C. (2000). *The future of farming systems research*. In M. Collinson (Éd.), *A history of farming systems research*. (1^{re} éd., p. 391-419). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851994055.0391>
- Colombier, M. (2022). *Cours sur « Energy Transition / Planning »* (Sciences Po).
- Commission européenne. (1996). *Energies pour l'avenir, les sources d'énergies renouvelables—Livres vert—Pour une stratégie communautaire*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cc2c79e2-c8e6-4e60-a386-846580bf42fc/language-fr/format-PDF>
- Confédération paysanne. (2020). *La méthanisation est-elle compatible avec l'agriculture paysanne ? Supplément à Campagnes solidaires*. https://www.confederationpaysanne.fr/sites/1/mots_cles/documents/4_pages_META_BD.pdf
- Cordelier, M. (2019, avril 9). *MethaLAE : Comment la méthanisation peut être un levier de l'agroécologie*. <https://bourgogne-franche-comte.ademe.fr/sites/default/files/methanisation-agroecologie-solagro.pdf>
- Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources, Pub. L. No. Directive 2009/28/EC (2009). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>
- Cour des comptes. (2021). *L'encadrement et le contrôle des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) dans le domaine agricole (Observations définitives N° S2021-2244; p.*

- 107). <https://www.ccomptes.fr/system/files/2022-05/20220509-S2021-2244-encadrement-controle-ICPE.pdf>
- Couturier, C. (2014). *La méthanisation rurale, outil des transitions énergétique et agroécologique*. Solagro. <https://solagro.org/travaux-et-productions/publications/la-methanisation-rurale-outil-des-transitions-energetiques-et-agroecologiques>
- Couturier, C., Charru, M., Doublet, S., & Pointereau, P. (2016). *Scénario Afterres 2050*. Solagro. https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/Solagro_afterres2050-v2-web.pdf
- CRE. (2018). *Bilan technique et économique des installations de production de biométhane*. <https://www.cre.fr/Documents/Publications/Rapports-thematiques/bilan-technique-et-economique-des-installations-de-production-de-biomethane>
- CRE. (2019). *Le verdissement du gaz*. CRE. www.eclairerlavenir.fr/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-GT1-BD-INTERACTIF.pdf
- Crozier, M., & Friedberg, E. (1977). *L'acteur et le système : Les contraintes de l'action collective*. Éditions du Seuil.
- Cuypers, D., Lust, A., Geerken, T., Gorissen, L., Peters, G., Karstensen, J., Prieler, S., Fisher, G., Hizsnyik, E., Van Velthuizen, H., European Commission, Directorate-General for the Environment, Vito, & Centre for International Cooperation in Advanced Education and Research (Bonn), I. I. for A. S. A. (Laxenburg). (2013). *The impact of EU consumption on deforestation : Comprehensive analysis of the impact of EU consumption on deforestation : final report*. (Publications Office). Commission Européenne. <http://dx.publications.europa.eu/10.2779/82226>
- D'Adamo, I., Falcone, P. M., Gastaldi, M., & Morone, P. (2020). *RES-T trajectories and an integrated SWOT-AHP analysis for biomethane. Policy implications to support a green revolution in European transport*. *Energy Policy*, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111220>
- Dale, B. E., Bozzetto, S., Couturier, C., Fabbri, C., Hilbert, J. A., Ong, R., Richard, T., Rossi, L., Thelen, K. D., & Woods, J. (2020). *The potential for expanding sustainable biogas production and some possible impacts in specific countries*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14(6), 1335-1347. Scopus. <https://doi.org/10.1002/bbb.2134>
- Daniel, F.-J., & Bailly, V. (2015). *La structuration sociotechnique des mondes du biogaz en France*. <https://docplayer.fr/15181022-La-structuration-sociotechnique-des-mondes-du-biogaz-en-france.html>
- Darnhofer, I. (2015). *Socio-technical transitions in farming : Key concepts*. In L. Sutherland, I. Darnhofer, G. A. Wilson, & L. Zagata (Éds.), *Transition pathways towards sustainability in agriculture : Case studies from Europe* (p. 17-31). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780642192.0017>
- Darnhofer, I., Gibbon, D., & Dedieu, B. (Éds.). (2012). *Farming Systems Research into the 21st Century : The New Dynamic*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2>
- Daugbjerg, C., & Feindt, P. H. (2017). *Post-exceptionalism in public policy : Transforming food and agricultural policy*. *Journal of European Public Policy*, 24(11), 1565-1584. <https://doi.org/10.1080/13501763.2017.1334081>
- Décret n° 2016-929 du 7 juillet 2016 pris pour l'application de l'article L. 541-39 du code de l'environnement, Pub. L. No. NOR : DEVR1617121D, 2016-929 Code l'Environnement 79 (2016). https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=LvW1hW_lyRpAnvIOWmzbaVlrsra00QFujiQScSI_fAU=

- Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie, Pub. L. No. NOR : TRER2006667D, 2020-456 (2020). <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000041814432/2021-01-21/>
- Delecourt, E., Joannon, A., & Meynard, J.-M. (2019). Work-related information needed by farmers for changing to sustainable cropping practices. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(2), 28. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0571-5>
- Depouvent, C., Anzalone, G., Mazaud, C., & Boudes, P. (2020). Facteurs humains et sociaux de réussite des projets de méthanisation territoriale. 52ème journées de la recherche porcine, 233-234. hal-02795819. <https://institut-agro-rennes-angers.hal.science/hal-02795819v1/document>
- Deuten, J. J., & Rip, A. (2017). The narrative shaping of a product creation process. In *Contested Futures : A Sociology of Prospective Techno-Science* (p. 65-86). Routledge, Taylor and Francis. <https://research.utwente.nl/en/publications/the-narrative-shaping-of-a-product-creation-process>
- Direction régionale Grand Est de l'Ademe. (2017). Appel à projet 2017 Méthanisation.
- Direction régionale Grand Est de l'Ademe. (2020). Appel à projet 2020 Méthanisation.
- Direction régionale Grand Est de l'Ademe. (2022). Appel à projet 2022 Méthanisation. <https://agirpoulatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres/20220211/appel-a-projets-methanisation-grand-2022>
- Dobers, G. M. (2019). Acceptance of biogas plants taking into account space and place. *Energy Policy*, 135, 110987. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110987>
- DREAL Grand Est. (2019, janvier 18). Actualité de l'Etat—Conclusion GT méthanisation Lecornu 2018. Comité technique méthanisation Grand Est. <https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5-2019-01-18-actu-etat-3.pdf>
- DREAL Grand Est, & Région Grand Est. (2021, février 19). Plan d'actions du schéma régional biomasse et de la stratégie régionale portant sur le développement de la méthanisation en Grand Est. Comité régional méthanisation, Réunion virtuelle. <https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2021-02-19-comite-regional-metha.pdf>
- Drosg, B., Fuchs, W., Seadi, T. A., Madsen, M., & Linke, B. (2015). Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing. 40.
- Dubuisson-Quellier, S. (2016). *Gouverner les conduites*. Sciences Po Les Presses.
- Dumont, A. M., Gasselin, P., & Baret, P. V. (2020). Transitions in agriculture : Three frameworks highlighting coexistence between a new agroecological configuration and an old, organic and conventional configuration of vegetable production in Wallonia (Belgium). *Geoforum*, 108, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.11.018>
- Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural waste : Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, e00902. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>
- Durant, R. F., & Legge, J. S. (2006). "Wicked Problems," Public Policy, and Administrative Theory : Lessons From the GM Food Regulatory Arena. *Administration & Society*, 38(3), 309-334. <https://doi.org/10.1177/0095399706289713>
- El Bilali, H. (2019). The Multi-Level Perspective in Research on Sustainability Transitions in Agriculture and Food Systems : A Systematic Review. *Agriculture*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/agriculture9040074>

- Emmann, C. H., Guenther-Lübbbers, W., & Theuvsen, L. (2013). *Impacts of Biogas Production on the Production Factors Land and Labour – Current Effects, Possible Consequences and Further Research Needs*. 13. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.164768>
- ENEA Consulting. (2018). *Renforcer la compétitivité de la filière biométhane française : De nombreux leviers activables à court et moyen termes*. http://www.enea-consulting.com/wp-content/uploads/2018/10/ENEA_Feuille_de_route_biom%C3%A9thane.pdf
- Esnouf, A., Brockmann, D., & Cresson, R. (2021). *Analyse du Cycle de Vie du BIOMETHANE issu de ressources agricoles—Rapport d’ACV (p. 170)*. INRAE Transfert. https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Rapport%20ACV_Biomethane%20issu%20de%20ressources%20agricoles_INRAE%20Transfert_GRDF.pdf
- Etats généraux de l’alimentation. (2017). *Conclusions des Etats Généraux de l’alimentation—Atelier 11*. <https://www2.assemblee-nationale.fr/static/15/commissions/CAffEco/egalim-atelier11.pdf>
- European Commission. Joint Research Centre. (2017). *Renewables in the EU : An overview of support schemes and measures*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/521847>
- Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 establishing rules for direct payments to farmers under support schemes within the framework of the common agricultural policy and repealing Council Regulation (EC) No 637/2008 and Council Regulation (EC) No 73/2009, 63 (2013). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0608:0670:en:PDF>
- Directive (EU) 2018/ 2001 of 11 December 2018, 128 (2018). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- Evrard, A. (2013). *Contre vents et marées*. Presses de Sciences Po.
- Evrard, A. (2014). *Les énergies renouvelables et l’électricité*. *Ecologie politique*, N°49(2), 67-80.
- Expobiogaz. (2021, août). *Zoom sur la méthanisation Agricole | Expobiogaz 2022*. <https://www.expobiogaz.com/fr/zoom-sur-la-methanisation-agricole>
- Eyl-Mazzega, M.-A., Mathieu, C., & IFRI. (2019). *Biogas and Biomethane in Europe : Lessons from Denmark, Germany and Italy (p. 76)*. https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/mathieu_eyl-mazzega_biomethane_2019.pdf
- Fachverband Biogas (Association allemande du biogaz). (2021). *Biogas market data in Germany 2020/2021*. [https://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/EN-German-biogas-market-data/\\$file/21-10-14_Biogasindustryfigures_2020-2021_english.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/EN-German-biogas-market-data/$file/21-10-14_Biogasindustryfigures_2020-2021_english.pdf)
- Faure, A. (2006). *Les changements d’échelle en science politique : Objet classique, questions nouvelles*. pp 7. halshs-00079085. <https://shs.hal.science/halshs-00079085/document>
- Ferguson, J., & Gupta, A. (2002). *Spatializing States : Toward an Ethnography of Neoliberal Governmentality*. *American Ethnologist*, 29(4), 981-1002. <https://doi.org/10.1525/ae.2002.29.4.981>
- Fernández-González, J. M., Martín-Pascual, J., & Zamorano, M. (2020). *Biomethane injection into natural gas network vs composting and biogas production for electricity in Spain : An analysis of key decision factors*. *Sustainable Cities and Society*, 102242. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102242>
- FNSEA. (2020). *Ne condamnons pas la filière méthanisation agricole*. <https://www.fnsea.fr/communiqués-de-presse/ne-condamnons-pas-la-filiere-methanisation-agricole/>

- FNSEA. (2022). Accélérer le développement du biogaz pour réduire la dépendance énergétique de la France. *fnsea.fr*. <https://www.fnsea.fr/communiqués-de-presse/accélérer-le-développement-du-biogaz-pour-réduire-la-dépendance-énergétique-de-la-france/>
- Fouilleux. (2000). Entre production et institutionnalisation des idées. La réforme de la Politique agricole commune. *Revue française de science politique*, 50(2), 277-306. <https://doi.org/10.3406/rfsp.2000.395468>
- Fouilleux, E. (2003). La Politique Agricole Commune et ses réformes : Une politique à l'épreuve de la globalisation. *La Politique Agricole Commune et ses réformes*, 1-404.
- Fouilleux, E., & Jobert, B. (2017). Le cheminement des controverses dans la globalisation néo-libérale : Pour une approche agonistique des politiques publiques. *Gouvernement et action publique*, VOL. 6(3), 9-36. <https://doi.org/10.3917/gap.173.0009>
- FranceAgriMer. (2022). Ressources en biomasse et méthanisation agricole : Quelles disponibilités pour quels besoins ? <https://www.franceagrimer.fr/content/download/69402/document/RESSOURCES%20EN%20BIOMASSE%20ET%20METHANISATION%202022%20-%20Maquette%20VF.pdf>
- Frantál, B., & Prousek, A. (2016). It's not right, but we do it. Exploring why and how Czech farmers become renewable energy producers. *Biomass and Bioenergy*, 87, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.02.007>
- French Government. (2018). Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20de%20Mobilisation%20de%20la%20Biomasse.pdf>
- Frickel, S., & Moore, K. (2006). *The New Political Sociology of Science : Institutions, Networks, and Power*. Univ of Wisconsin Press.
- Friedberg, E. (1997). Les repositionnements induits par la décentralisation et le développement des partenariats : Approche par la sociologie de l'action organisée. In J. Affichard, *Décentralisation des organisations et problèmes de coordination : Les principaux cadres d'analyse* (p. 57-68). L'Harmattan. <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0036/Temis-0036851/13238.pdf#page=52>
- Friedberg, E. (1998). En lisant Hall et Taylor : Néo-institutionnalisme et ordres locaux. *Revue française de science politique*, 48(3), 507-514. <https://doi.org/10.3406/rfsp.1998.395290>
- Friedberg, E. (2011). Rationalité et analyse des organisations. *Idées économiques et sociales*, 165(3), 15-23. <https://doi.org/10.3917/idee.165.0015>
- Friedberg, E. (1994). L'analyse stratégique : Sa genèse, ses applications et ses problèmes actuels : Autour de Michel Crozier. *Colloque de Cerisy - L'analyse stratégique. Sa genèse, ses applications et ses problèmes actuels. Autour de Michel Crozier*.
- Gabriel, A. W., Ramonteu, S., Choisis, J.-P., & Ryschawy, J. (2019). Assolements en communs et méthaniseurs collectifs, médiateurs de systèmes plus durables? *Innovations Agronomiques*, 72, 121-135. <https://doi.org/10.15454/3TME9X>
- Garb, Y., Pulver, S., & VanDeveer, S. D. (2008). Scenarios in society, society in scenarios : Toward a social scientific analysis of storyline-driven environmental modeling. *Environmental Research Letters*, 3(4), 045015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/045015>
- Gassiat, C. (2015). Développer la filière méthanisation en France—Quelle stratégie de développement pour optimiser les bénéfices économiques, sociaux et environnementaux ? *Synthèse*. 6.

- Gaz tarifs réglementés. (s. d.). Définition de méthanation. Consulté 19 décembre 2022, à l'adresse <http://localhost:4503/content/engie-tr/particuliers/lexique-gaz/definition-methanation.html>
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes : A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions : Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24-40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>
- Geels, F. W., & Smith, A. (2000). Lessons and pitfalls from Failed Technology Futures : Potholes in the Road to the Future. In *Contested Futures : A sociology of prospective techno-science* (Ashgate Publishing, p. 129-155).
- Geels, & Raven, R. (2006). Non-linearity and Expectations in Niche Development Trajectories : Ups and Downs in Dutch Biogas Development (1973–2003). *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), 375-392. <https://doi.org/10.1080/09537320600777143>
- Godet, M. (2007). *Manuel de prospective stratégique—Tome 1—3ème édition—Une indisciplinisme intellectuelle*. Dunod.
- Gouvernement français. (2022). *Conclusions du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique*. <https://agriculture.gouv.fr/conclusions-du-varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement-climatique>
- Grant, C. A., Mahli, S. S., & Karamanos, R. E. (2012). Sulfur management for rapeseed. *Field Crops Research*, 128, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.018>
- Graß, R., Heuser, F., Stülpnagel, R., Piepho, H.-P., & Wachendorf, M. (2013). Energy crop production in double-cropping systems : Results from an experiment at seven sites. *European Journal of Agronomy*, 51, 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.004>
- GRDF, GRTgaz, SPEGNN, & Terega. (2018). *Perspectives gaz*. www.grtgaz.com/fileadmin/plaquettes/fr/2019/Perspectives-Gaz-2018.pdf
- Gregorie, E. F. J., Lamb, J. J., Lien, K. M., Pollet, B. G., & Burheim, O. S. (2020). Hydrogen and Biogas. In J. J. Lamb & B. G. Pollet (Éds.), *Micro-Optics and Energy : Sensors for Energy Devices* (p. 131-155). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43676-6_10
- Grillo, F., Piccoli, I., Furlanetto, I., Ragazzi, F., Obber, S., Bonato, T., Meneghetti, F., & Morari, F. (2021). Agro-environmental sustainability of anaerobic digestate fractions in intensive cropping systems : Insights regarding the nitrogen use efficiency and crop performance. *Agronomy*, 11(4). Scopus. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040745>
- Grouiez, P., Berthe, A., Fautras, M., & Issehnane, S. (2020). Déterminants et mesure des revenus agricoles de la méthanisation et positionnement des agriculteurs dans la chaîne de valeur « biomasse-énergie »—Scientific report. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02886217/document>
- Groupement interinstituts pour la valorisation des déjections animales. (1986). *La Méthanisation des fumiers : Guide pratique pour l'auto-construction*. Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME). <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k133132t>
- GT Injection. (2014). *Une vision pour le biométhane en France pour 2030*. ADEME, GRDF. https://expertises.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/d4.1_roadmap_france_french.pdf

- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., & Savini, I. (2017). *Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : Décryptage d'un échec et raisons d'espérer. Cahiers Agricultures*, 26(1), 14002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017004>
- Guilayn, F., Jimenez, J., Martel, J.-L., Rouez, M., Crest, M., & Patureau, D. (2019). *First fertilizing-value typology of digestates : A decision-making tool for regulation. Waste Management*, 86, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.032>
- Guinet, M., Nicolardot, B., Durey, V., Revellin, C., Lombard, F., Pinet, E., Bizouard, F., & Voisin, A.-S. (2019). *Fixation symbiotique de l'azote et effet précédent : Toutes les légumineuses à graines se valent-elles ? Innovations Agronomiques*, 74, 55-68.
- Gustafsson, M., & Anderberg, S. (2021a). *Dimensions and characteristics of biogas policies – Modelling the European policy landscape. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110200>
- Gustafsson, M., & Anderberg, S. (2021b). *Dimensions and characteristics of biogas policies – Modelling the European policy landscape. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110200>
- Gustafsson, M., & Anderberg, S. (2022). *Biogas policies and production development in Europe : A comparative analysis of eight countries. Biofuels*, 13(8), 931-944. <https://doi.org/10.1080/17597269.2022.2034380>
- Halpern, C., Lascoumes, P., & Le Galès, P. (2014). *L'Instrumentation de l'action publique : Controverses, résistance, effets (Presses de Sciences Po)*. <https://doi.org/10.3917/scpo.halpe.2014.01>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). *Soil compaction in cropping systems : A review of the nature, causes and possible solutions. Soil and Tillage Research*, 82(2), 121-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Handcock, M. S., & Gile, K. J. (2011). *COMMENT: ON THE CONCEPT OF SNOWBALL SAMPLING. Sociological Methodology*, 41, 367-371.
- Häußermann, U., Klement, L., Breuer, L., Ullrich, A., Wechsung, G., & Bach, M. (2020). *Nitrogen soil surface budgets for districts in Germany 1995 to 2017. Environmental Sciences Europe*, 32(1), 109. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00382-x>
- He, J., Zhu, R., & Lin, B. (2019). *Prospects, obstacles and solutions of biomass power industry in China. Journal of Cleaner Production*, 237, 117783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117783>
- Hedgecoe, A., & Martin, P. (2003). *The Drugs Don't Work : Expectations and the Shaping of Pharmacogenetics. Social Studies of Science*, 33(3), 327-364. <https://doi.org/10.1177/03063127030333002>
- Hénin, S., Gras, R., & Monnier, G. (1969). *Le profil cultural : L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson*.
- Herrmann, A. (2013). *Biogas Production from Maize : Current State, Challenges and Prospects. 2. Agronomic and Environmental Aspects. BioEnergy Research*, 6(1), 372-387. <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9227-x>
- Herrmann, A., Kage, H., Taube, F., & Sieling, K. (2017). *Effect of biogas digestate, animal manure and mineral fertilizer application on nitrogen flows in biogas feedstock production. European Journal of Agronomy*, 91, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.011>
- Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., & Effenberger, M. (2016). *Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1291-1300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.013>

- Hjalmarsson, L. (2015). *Biogas as a boundary object for policy integration – the case of Stockholm*. *Journal of Cleaner Production*, 98, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.042>
- Hoang, D. L., Davis, C., Moll, H. C., & Nonhebel, S. (2020). *Impacts of biogas production on nitrogen flows on Dutch dairy system : Multiple level assessment of nitrogen indicators within the biogas production chain*. *Journal of Industrial Ecology*, 24(3), 665-680. <https://doi.org/10.1111/jiec.12956>
- Hogommat, B. (2010). *Les enjeux de la prise en compte des biocarburants au regard des orientations de la politique agricole commune*. *Revue juridique de l'environnement*, 35(3), 427-443.
- Hoolohan, C., Larkin, A., McLachlan, C., Falconer, R., Soutar, I., Suckling, J., Varga, L., Haltas, I., Druckman, A., Lumbroso, D., Scott, M., Gilmour, D., Ledbetter, R., McGrane, S., Mitchell, C., & Yu, D. (2018). *Engaging stakeholders in research to address water–energy–food (WEF) nexus challenges*. *Sustainability Science*, 13(5), 1415-1426. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0552-7>
- Horschig, T., Adams, P. W. R., Röder, M., Thornley, P., & Thrän, D. (2016). *Reasonable potential for GHG savings by anaerobic biomethane in Germany and UK derived from economic and ecological analyses*. *Applied Energy*, 184, 840-852. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.098>
- Howes, M., Wortley, L., Potts, R., Dedekorkut-Howes, A., Serrao-Neumann, S., Davidson, J., Smith, T., & Nunn, P. (2017). *Environmental Sustainability : A Case of Policy Implementation Failure?* *Sustainability*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/su9020165>
- Huber, D. M., & Watson, R. D. (1974). *Nitrogen form and plant disease*. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 12. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.12.090174.001035>
- Hudson, B., Hunter, D., & Peckham, S. (2019). *Policy failure and the policy-implementation gap : Can policy support programs help?* *Policy Design and Practice*, 2(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/25741292.2018.1540378>
- Huttunen, S., Kivimaa, P., & Virkamäki, V. (2014). *The need for policy coherence to trigger a transition to biogas production*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 12, 14-30. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.04.002>
- I Care & Consult, F., & Solagro (Réalisateur). (2022, juillet 7). *Rendez-vous du gaz renouvelable : Méthanisation et fourrages*. <https://gazrenouvelables.fr/3-eme-edition-des-rendez-vous-du-gaz-renouvelable-methanisation-et-fourrages/>
- IDELE. (2022, mars 31). *Les coproduits ! Quoi de plus local ?* https://www.slideshare.net/idele_institut_de_l_elevage/les-coproduits-quoi-de-plus-local
- IEA. (2020). *Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/03aeb10c-c38c-4d10-bcec-de92e9ab815f/Outlook_for_biogas_and_biomethane.pdf
- Igos, E., Golkowska, K., Koster, D., Vervisch, B., & Benetto, E. (2016). *Using rye as cover crop for bioenergy production : An environmental and economic assessment*. *Biomass and Bioenergy*, 95, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.09.023>
- Inddigo, Solagro, & Biomasse Conseil. (2019, février). *Méthodologie pour l'élaboration du SRB et de l'EES. Lancement du SRB Grand Est*.
- Ingram, J. (2015). *Framing niche-regime linkage as adaptation : An analysis of learning and innovation networks for sustainable agriculture across Europe*. *Journal of Rural Studies*, 40, 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.06.003>
- Ingrao, C., Bacenetti, J., Ioppolo, G., & Messineo, A. (2019). *Energy and Environmental Assessments of Agro-biogas Supply Chains for Energy Generation : A Comprehensive Review*. In R. Basosi, M.

- Cellura, S. Longo, & M. L. Parisi (Éds.), *Life Cycle Assessment of Energy Systems and Sustainable Energy Technologies : The Italian Experience* (p. 99-117). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93740-3_7
- IPCC, [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, & J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. (2019). *Climate Change and Land : An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Jasanoff, S., & Kim, S.-H. (2013). *Sociotechnical Imaginaries and National Energy Policies*. *Science as Culture*, 22(2), 189-196. <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786990>
- Jaujay, J., Balny, P., Richard, D., & Roussel, F. (2011). *Analyse des projets de méthanisation en agriculture Suivi des projets financés par les appels à projets 2009 et 2010 (n° 11039)*. CGAER. https://medias.vie-publique.fr/data_storage_s3/rapport/pdf/134000630.pdf
- Jeuffroy, M. et al, Baranger, E., Carrouée, B., de Chezelles, E., Gosme, M., Hénault, C., Schneider, A., & Cellier, P. (2013). *Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas*. *Biogeosciences*, 10(3), 1787-1797.
- Jian, J., Du, X., Reiter, M. S., & Stewart, R. D. (2020). *A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping*. *Soil Biology and Biochemistry*, 143, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107735>
- Jiménez Cisneros, B. E., Oki, T., Arnell, N. W., Benito, G., Cogley, J. G., Döll, P., Jiang, T., Mwakalila, S. S., & Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. (2014). *Freshwater resources*. In : *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC* (Cambridge University Press, p. 229-269.). <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/freshwater-resources/>
- Jobert, B. (1992). *Représentations sociales, controverses et débats dans la conduite des politiques publiques*. *Revue française de science politique*, 42(2), 219-234. <https://doi.org/10.3406/rfsp.1992.404294>
- Joly, P.-B. (2010). *On the Economics of Techno-scientific Promises*. M. Akrich, Y. Barthe, F. Muniesa & P. Mustar (Eds.), *Débordements. Mélanges offerts à Michel Callon.*, 203-222.
- Joly, P.-B. (2015). *Le régime des promesses technoscientifique*. In *Sciences et technologies émergentes : Pourquoi tant de promesses?* Hermann, Editeurs des Sciences et des Arts. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01282561>
- Joly, P.-B., Rip, A., & Callon, M. (2011). *Réinventer l'innovation*. In D. RIEU, *Innovation connaissances et société : Vers une société de l'innovation*. L'Harmattan. <http://digital.casalini.it/9782296481916>
- Jørgensen, M. S., Andersen, M. M., Hansen, A., Wenzel, H., Thoning, T., Jørgensen, U., Falch, M., Olsen, S. I., & Willum, O. (2006). *Green Technology Foresight about environmentally friendly products and materials* (p. 264). <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2006/87-7052-216-2/pdf/87-7052-217-0.pdf>
- Jørgensen, M. S., Jørgensen, U., & Clausen, C. (2009). *The social shaping approach to technology foresight*. *Futures*, 41(2), 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2008.07.038>
- Justes, E. (2017). *Cover crops for sustainable farming* (Quae, p. 91). Scopus. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-0986-4>

- Justes, E., & Richard, G. (2017). Contexte, concepts et définition des cultures intermédiaires multi-services. <https://doi.org/10.15454/1.5174017785695195E12>
- Kanda, W., Zanatta, H., Magnusson, T., Hjelm, O., & Larsson, M. (2022). Policy coherence in a fragmented context : The case of biogas systems in Brazil. *Energy Research & Social Science*, 87, 102454. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102454>
- Keller, T., & Or, D. (2022). Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(21), e2117699119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2117699119>
- Kemausuor, F., Adaramola, M. S., & Morken, J. (2018). A Review of Commercial Biogas Systems and Lessons for Africa. *Energies*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/en11112984>
- Kemp, L. (2011). *Second Harvest : Bioenergy from Cover Crop Biomass*. https://www.nrdc.org/sites/default/files/covercrop_ip.pdf
- Khan, M. N., & Mohammad, F. (2014). Eutrophication : Challenges and Solutions. In A. A. Ansari & S. S. Gill (Éds.), *Eutrophication : Causes, Consequences and Control : Volume 2* (p. 1-15). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7814-6_1
- Király, G., Pataki, G., Köves, A., & Balázs, B. (2013). Models of (future) society : Bringing social theories back in backcasting. *Futures*, 51, 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.05.001>
- Kirsch, A. (2022, février 3). Méthanisation, beaucoup d'argent public pour des effets contestables ? Le point de vue d'Olivier Allain. *Agriculture Stratégies*. <https://www.agriculture-strategies.eu/2022/02/methanisation-beaucoup-dargent-public-des-effets-contestables-le-point-de-vue-dolivier-allain/>
- Kosow, H. (2016). *An exploratory study on forms and effects of new qualitative-quantitative scenario methodologies [Institut für Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart]*. https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/9032/1/Kosow_2016_The_best_of_both_worlds_Dissertation.pdf
- Köster, J. R., Cárdenas, L., Senbayram, M., Bol, R., Well, R., Butler, M., Mühling, K. H., & Dittert, K. (2011). Rapid shift from denitrification to nitrification in soil after biogas residue application as indicated by nitrous oxide isotopomers. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(8), 1671-1677. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.004>
- Koszel, M., & Lorencowicz, E. (2015). Agricultural Use of Biogas Digestate as a Replacement Fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.004>
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems : Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society*, 17(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Kumar, L., Mamun, M. A. A., & Hasanuzzaman, M. (2020). Chapter 7—Energy economics. In MD. Hasanuzzaman & N. A. Rahim (Éds.), *Energy for Sustainable Development* (p. 167-178). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814645-3.00007-9>
- La France Agricole. (2022, janvier). Méthanisation, les campagnes sous tension. *La France Agricole*. <https://www.lafranceagricole.fr/a-la-une/methanisationles-campagnes-sous-tension-1,1,4258502259.html>
- Lallouët-Geffroy, J. (2019, janvier). La méthanisation risque d'accélérer la concentration des fermes. *Reporterre*. <https://reporterre.net/La-methanisation-risque-d-acceler-la-concentration-des-fermes>

- Landais, É., Deffontaines, J.-P., & Benoit, M. (1988). *Les pratiques des agriculteurs Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique*. *Études rurales*, 109, 125-158. JSTOR.
- Lantz, M., & Börjesson, P. (2014). *Greenhouse gas and energy assessment of the biogas from co-digestion injected into the natural gas grid : A Swedish case-study including effects on soil properties*. *Renewable Energy*, 71, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.048>
- Lascombes, P., & Le Galès, P. (2005). *Introduction : L'action publique saisie par ses instruments*. In *Gouverner par les instruments* (Presses de Sciences Po).
- Launay, C., Houot, S., Frédéric, S., Girault, R., Levavasseur, F., Marsac, S., & Constantin, J. (2022). *Incorporating energy cover crops for biogas production into agricultural systems : Benefits and environmental impacts. A review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 57. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00790-8>
- Lazarevic, D., & Valve, H. (2020). *Niche politics : Biogas, technological flexibility and the economisation of resource recovery*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.01.016>
- Lazarus, W. F., & Rudstrom, M. (2007). *The Economics of Anaerobic Digester Operation on a Minnesota Dairy Farm*. *Review of Agricultural Economics*, 29(2), 349-364. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9353.2007.00347.x>
- Le service de l'observation et des statistiques. (2014). *Chiffres clés des énergies renouvelables—Édition 2014*. CGDD. <https://fr.slideshare.net/reseauxchaleur/chiffres-cls-des-nergies-renouvelables-edition-2014>
- Lecornu, S., & Ministère de la Transition écologique et solidaire. (2018). *Plan de libération des énergies renouvelables : Sébastien Lecornu installe le groupe de travail « méthanisation » en amont du Salon de l'Agriculture*. <https://www.ecologie.gouv.fr/en/node/2394>
- Leroy, M. (2004). *Gestion stratégique des écosystèmes dans un contexte d'aide internationale : Engagements environnementaux et dispositifs de gestion dans la vallée du fleuve Sénégal*. <https://hal.science/tel-01469402/document>
- Leroy, M., & Mermet, L. (2012). *Delivering on environmental commitments? Guidelines and evaluation framework for an "on-board" approach*. *Sécheresse*, 23(3), 185-195. <https://doi.org/10.1684/sec.2012.0352>
- Les clefs de la transition énergétique. (2020). *Méthanisation 100 % végétale | Les clés de la transition énergétique*. <https://www.clesdelatransition.org/acteurs-du-monde-rural/methanisation-100-vegetale>
- Liebman, M., & Schulte, L. A. (2015). *Enhancing agroecosystem performance and resilience through increased diversification of landscapes and cropping systems*. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 3, 000041. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000041>
- Lijó, L., González-García, S., Bacenetti, J., & Moreira, M. T. (2017). *The environmental effect of substituting energy crops for food waste as feedstock for biogas production*. *Energy*, 137, 1130-1143. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.137>
- Limaux, F., Recous, S., Meynard, J.-M., & Guckert, A. (1999). *Relationship between rate of crop growth at date of fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat*. *Plant and Soil*, 214(1), 49-59. <https://doi.org/10.1023/A:1004629511235>
- Lipsky, M. (1980). *Street Level Bureaucracy : Dilemmas of the Individual in Public Services*. Russell Sage Foundation. <https://www.jstor.org/stable/10.7758/9781610447713>
- LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, 2010-788 § Article 92 (2010). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFARTI000022471675>

- Lu, J., & Gao, X. (2021). *Biogas : Potential, challenges, and perspectives in a changing China*. *Biomass and Bioenergy*, 150, 106127. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106127>
- Lukehurst, C. T., Frost, P., & Seadi, T. A. (2010). *Utilization of digestate from biogas plants as biofertiliser* (p. 24). IEA Bioenergy. https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Digestate_Brochure_Revised_12-2010.pdf
- Lüker-Jans, N., Simmering, D., & Otte, A. (2017). *The impact of biogas plants on regional dynamics of permanent grassland and maize area—The example of Hesse, Germany (2005–2010)*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 241, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.023>
- Lumbroso, S. (2019). *Prospective et stratégies pour l'environnement : Entre fabrique des futurs et situation de gestion, quelles prises pour l'action ?* (p. 384 p.) [Phdthesis, Université Paris Saclay (COMUE)]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02128459>
- Lupp, G., Steinhäuser, R., Starick, A., Gies, M., Bastian, O., & Albrecht, J. (2014). *Forcing Germany's renewable energy targets by increased energy crop production : A challenge for regulation to secure sustainable land use practices*. *Land Use Policy*, 36, 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.012>
- Lyytimäki, J., Assmuth, T., Paloniemi, R., Pyysiäinen, J., Rantala, S., Rikkonen, P., Tapio, P., Vainio, A., & Winquist, E. (2021). *Two sides of biogas : Review of ten dichotomous argumentation lines of sustainable energy systems*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110769. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110769>
- Magrini, M.-B., Béfort, N., & Nieddu, M. (2019). *Technological Lock-In and Pathways for Crop Diversification in the Bio-Economy*. In *Agroecosystem Diversity* (p. 375-388). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00024-8>
- Majerus, S., Lauinger, D., & Van herle, J. (2017). *Taking Advantage of the Vastly Underused European Biogas Potential : Break-Even Conditions for a Fuel Cell and an Engine as Biogas Converters*. *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*, 15(3). <https://doi.org/10.1115/1.4039045>
- Mao, G., Zou, H., Chen, G., Du, H., & Zuo, J. (2015). *Past, current and future of biomass energy research : A bibliometric analysis*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1823-1833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.141>
- March, & Simon. (1958, 1993). *Organizations*. Blackwell Publishers, 162.
- Maris, S. C., Capra, F., Ardenti, F., Boselli, R., Pochintesta, D., Beone, G. M., Tabaglio, V., & Fiorini, A. (2021). *The interaction between types of cover crop residue and digestate application methods affects ammonia volatilization during maize cropping season*. *Journal of Environmental Quality*, 50(2), 504-512. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20205>
- Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). *Sustainability transitions : An emerging field of research and its prospects*. *Research Policy*, 41(6), 955-967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>
- Markard, J., Wirth, S., & Truffer, B. (2016). *Institutional dynamics and technology legitimacy – A framework and a case study on biogas technology*. *Research Policy*, 45(1), 330-344. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.10.009>
- Marsac, S., Heredia, M., Bazet, M., Delaye, N., Trochard, R., Lagrange, H., Quod, C., & Sanner, E.-A. (2019). *Optimisation de la mobilisation de CIVE pour la méthanisation dans les systèmes d'exploitation*. Nicolas Delaye, Robert Trochard, Hélène Lagrange, Caroline Quod, Eve-Anna Sanner.

https://librairie.ademe.fr/cadic/4557/opticive_optimisation_methanisation__cive_rapport.pdf

- Martin, B. R. (1995). Foresight in science and technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 7(2), 139-168. <https://doi.org/10.1080/09537329508524202>
- Martinát, S., Dvo, P., Kulla, M., Mintálová, T., & Navrátil, J. (2013). Spatial consequences of biogas production and agricultural changes in the Czech Republic after EU accession : Mutual symbiosis, coexistence or parasitism? *Naturalium Geographica*, 44(2), 75-92.
- Marty, P., Dermine-Brullot, S., Madelrieux, S., Fleuet, J., & Lescoat, P. (2022). Transformation of socioeconomic metabolism due to development of the bioeconomy : The case of northern Aube (France). *European Planning Studies*, 30(7), 1212-1229. <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1889475>
- Marx, I. (2020). Méthanisation agricole : Quelles conditions de durabilité de la filière en France ? WWF, GRDF. https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2020-03/20200317_Rapport_Methanisation-agricole_WWF_GRDF-min.pdf
- Mazoyer, M. (1987). *Dynamique des systèmes agraires [Rapport de synthèse du colloque sur la dynamique des systèmes agraires]*.
- Media Enerzine. (2015, avril 1). Ségolène Royal installe le Comité national biogaz. <https://www.enerzine.com/segolene-royal-installe-le-comite-national-biogaz/18431-2015-04>
- Mermet, L. (1998). L'analyse stratégique de la gestion environnementale. Groupe « Recherche en Gestion sur les Territoires et l'Environnement » (RGTE), 432.
- Mermet, L. (2009). Extending the perimeter of reflexive debate on futures research : An open framework. *Futures*, 41(2), 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2008.07.044>
- Mermet, L., Billé, R., & Leroy, M. (2010). Concern-Focused Evaluation for Ambiguous and Conflicting Policies : An Approach From the Environmental Field. *American Journal of Evaluation*, 31(2), 180-198. <https://doi.org/10.1177/1098214010366047>
- Mermet, L., Billé, R., Leroy, M., Narcy, J.-B., & Poux, X. (2005). L'analyse stratégique de la gestion environnementale : Un cadre théorique pour penser l'efficacité en matière d'environnement. *Natures Sciences Sociétés*, 13(2), 127-137. <https://doi.org/10.1051/nss:2005018>
- Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2018). Future European biogas : Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 111, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.05.013>
- Meynard, J.-M. (2014). Postface : Sociologie des grandes cultures, une lecture d'agronome. In *Sociologie des grandes cultures. Au cœur du modèle industriel agricole*. A. Bernard de Raymond et F. Goulet, 2014 (Editions QUAE, p. 187-204).
- Meynard, J.-M., Boiffin, J., Caneill, J., & Sebillotte, M. (1981). Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse II. - Types de réponse à la fumure azotée et application de la méthode du bilan prévisionnel. *Agronomie*, 1(9), 795-806. <https://doi.org/10.1051/agro:19810912>
- Meynard, J.-M., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.-B., Charlier, A., & Messéan, A. (2018). Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0535-1>
- Meynard, J.-M., Doré, T., & Habib, R. (2001). L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 87(4), 223-236.

- Meynard, J.-M., & Girardin, P. (1991). *Produire autrement*. *Courrier de la cellule environnement INRA*, 15(15), 1-19.
- Michau, J., Laurent, Q., Jordan-Meille, L., Salducci, X., Morel, C., Nesme, T., & Plat, B. (2019). *Modéliser le développement d'un système innovant de méthanisation collective et à hautes performances environnementales à l'échelle d'un micro-territoire*. *Innovations Agronomiques*, 71, 275-293.
- Miltner, M., Makaruk, A., & Harasek, M. (2017). *Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions*. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1329-1337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.045>
- Ministère de la transition écologique (DGEC, DGPR). (2018). *Bilan GT national Méthanisation*. <https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/10-bilan-gt-national-actu-dgec-dgpr.pdf>
- Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, & Ministère de la Transition énergétique. (2022). *Contrats de plan État-Région*. <https://www.ecologie.gouv.fr/contrats-plan-etat-region>
- Ministère de la Transition écologique et solidaire. (2018a). *Projet SNBC 2018*. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/en_SNBC-2_complete.pdf
- Ministère de la Transition écologique et solidaire. (2018b). *Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)*. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf
- Programmation pluriannuelle de l'énergie, 400 (2020) (testimony of Ministère de la Transition écologique et solidaire)*. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>
- Arrêté du 22 octobre 2020 approuvant un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation d'intrants agricoles et/ou agro-alimentaires en tant que matières fertilisantes—Légifrance, Code rural et de la pêche maritime (2020)*. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042506471>
- Ministère de l'agriculture. (2016). *Le projet agro-écologique en 12 clés*. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/le-projet-agro-ecologique-en-12-cles>
- Ministère de l'Agriculture. (2017). *4 pour 1000 : Et si la solution climat passait par les sols ?* Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/4-pour-1000-et-si-la-solution-climat-passait-par-les-sols>
- Ministère de l'agriculture. (2022). *Le plan Écophyto, qu'est-ce que c'est ?* Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest>
- Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. (2015). *Les surfaces d'intérêts écologiques*. https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/150209_fiche-sie_cle49c446.pdf
- Ministère de l'agriculture et de la pêche. (2009). *Plan performance énergétique des exploitations agricoles*. https://www.moselle.gouv.fr/contenu/telechargement/2240/15009/file/Plan_de_Performance_Energetique_2009-2013.pdf
- Ministère de l'Agriculture, & Ministère de l'écologie. (2020, septembre 8). *Programme d'actions national nitrates*. <https://programme-nitrate.gouv.fr/comprendre/reglementation-ancienne-reduire-pollutions-leau-sa-conception-a-sa-mise-oeuvre-ses-effets>

- Ministère de l'écologie, du développement durable. (2004). *Plan Climat*. https://unfccc.int/resource/country/plan_climat_fr.pdf
- Ministère de l'écologie, du développement durable. (2010). *Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables. Période 2009-2020*. <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0067/Temis-0067836/18854.pdf>
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, & Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. (2013). *Le plan Energie Méthanisation Autonomie Azote*. <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/89917?token=018a247230ac112abbd68747c016c36b>
- Mittal, S., Ahlgren, E. O., & Shukla, P. R. (2018). Barriers to biogas dissemination in India : A review. *Energy Policy*, 112, 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.027>
- Moinard, V. (2021). *Conséquences de l'introduction de la méthanisation dans une exploitation de polyculture-élevage sur les cycles du carbone et de l'azote. Combinaison de l'expérimentation et de la modélisation à l'échelle de la ferme*.
- Moletta, R. (2015). *La méthanisation (2e ed.)*. Lavoisier.
- Molinié, L. (2017, novembre 14). *Contribution des méthaniseurs agricoles à la transition énergétique. Automnales de l'ASTEE, Colmar*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiGwsnO67v9AhXqSaQEhXQjDd4QFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fprodasteapi.azurewebsites.net%2Fpublic%2FDocuments%3FserverRelativeUrl%3D%2Fsites%2FEvenements%2FShared%2520Documents%2F02_Lea%2520Molinie.pdf&usg=AOvVaw2XyQmIfuNy11c4naKlxIEF
- Möller, K. (2015). *Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 1021-1041. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0284-3>
- Möller, K., Schulz, R., & Müller, T. (2011). *Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89(2), 303-312. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9395-z>
- Morin, F. (2015). *La méthanisation : Technique de valorisation des déchets organiques*. ADEME Franche-Comté. <https://docplayer.fr/15181066-La-methanisation-technique-de-valorisation-des-dechets-organiques-florence-morin-ademe-franche-comte.html>
- Morris, W., & Bowen, R. (2020). *Renewable energy diversification : Considerations for farm business resilience*. *Journal of Rural Studies*, 80, 380-390. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.014>
- Muller, P. (2005). *Esquisse d'une théorie du changement dans l'action publique. Structures, acteurs et cadres cognitifs*. *Revue française de science politique*, 55, 155-187.
- Muscat, A., de Olde, E. M., Kovacic, Z., de Boer, I. J. M., & Ripoll-Bosch, R. (2021). *Food, energy or biomaterials? Policy coherence across agro-food and bioeconomy policy domains in the EU*. *Environmental Science & Policy*, 123, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.001>
- Nevzorova, T. (2022). *Functional analysis of technological innovation system with inclusion of sectoral and spatial perspectives : The case of the biogas industry in Russia*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42, 232-250. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.01.005>
- Nicholson, F., Bhogal, A., Cardenas, L., Chadwick, D., Misselbrook, T., Rollett, A., Taylor, M., Thorman, R., & Williams, J. (2017). *Nitrogen losses to the environment following food based digestate and compost applications to agricultural land*. *Environmental Pollution*, 228, 504-516. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.023>

- Nicholson, F., Bhogal, A., Rollett, A., Taylor, M., & Williams, J. R. (2018). Precision application techniques reduce ammonia emissions following food based digestate applications to grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), 151-159. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9884-4>
- Nielsen, H. Ø., & Pedersen, A. B. (2022). Biogas at the intersection of agricultural, environment and energy governance: (Potentially) conflicting interests and consistent policy framework? *Journal of Environmental Policy & Planning*, 24(5), 472-485. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2021.2009333>
- Niskanen, J., & Magnusson, D. (2021). Understanding upscaling and stagnation of farm-based biogas production in Sweden through transitional and farming logics. *Journal of Cleaner Production*, 279. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123235>
- Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473-492. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z>
- Norman, D. W. (2002). *The farming systems approach, a historical perspective*. 12.
- Norris, E., Kidson, M., Bouchal, P., & Rutter, J. (2014). Doing them Justice—Lessons from four cases of policy implementation. <https://www.instituteforgovernment.org.uk/sites/default/files/publications/Policy%20Implementation%20case%20studies%20report%20-%20final.pdf>
- 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>
- O’Keefe, S., & Thrän, D. (2020). Energy Crops in Regional Biogas Systems : An Integrative Spatial LCA to Assess the Influence of Crop Mix and Location on Cultivation GHG Emissions. *Sustainability*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su12010237>
- Olivier de Sardan, J.-P. (2003). *L’enquête socio-anthropologique de terrain : Synthèse méthodologique et recommandations à usage des étudiants*. 114.
- Osty, P.-L., Lardon, S., & de Sainte-Marie, C. (1998). Comment analyser les transformations de l’activité productrice des agriculteurs ? Propositions à partir des systèmes techniques de production. *Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 397-413.
- Ouest-France. (2020, août 26). *La méthanisation agricole à la française inquiète*. <https://www.ouest-france.fr/economie/agriculture/agriculture-la-methanisation-agricole-a-la-francaise-inquiete-6948650>
- Paolini, V., Petracchini, F., Segreto, M., Tomassetti, L., Naja, N., & Cecinato, A. (2018). Environmental impact of biogas : A short review of current knowledge. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53(10), 899-906. <https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1459076>
- Pärtel, Bruun, & Sammul. (2015). *Biodiversity in temperate European grasslands: Origin and conservation*. https://www.researchgate.net/profile/Hans-Bruun-2/publication/266456372_Biodiversity_in_temperate_European_grasslands_origin_and_conservation/links/55004c150cf204d683b3485e/Biodiversity-in-temperate-European-grasslands-origin-and-conservation.pdf
- Patinvoh, R. J., & Taherzadeh, M. J. (2019). Challenges of biogas implementation in developing countries. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 12, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.09.006>

- Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R., & Guwy, A. (2011). An evaluation of the policy and techno-economic factors affecting the potential for biogas upgrading for transport fuel use in the UK. *Energy Policy*, 39(3), 1806-1816. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.017>
- Pinson, G., & Sala Pala, V. (2007). Peut-on vraiment se passer de l'entretien en sociologie de l'action publique ? *Revue française de science politique*, 57(5), 555. <https://doi.org/10.3917/rfsp.575.0555>
- Piutti, S., Laflotte, A., Ravard, B., Roux, Y. L., & Pacaud, S. (2022). Effets à court terme des digestats bruts de méthanisation sur la productivité fourragère et le fonctionnement microbiens des prairies en région Grand Est.
- Plantureux, S., Peeters, A., & McCracken, D. (2005). Biodiversity in intensive grasslands : Effect of management, improvement and challenges. *Agronomy Research*, 3, 153-164.
- Poupeau, F.-M., & Schlosser, F. (2010). La régulation de la filière bois énergie dans les Ardennes françaises : Jeux et enjeux autour de la gestion de l'information. *Politique et Sociétés*, 29(2), 3-28. <https://doi.org/10.7202/045153ar>
- Pressman, J., & Wildavsky, A. (1973). Implementation : How Great Expectations in Washington are Dashed in Oakland; Or, Why It's Amazing that Federal Programs Work at All, This Being a Saga of the Economic Development Administration as Told by Two Sympathetic Observers Who Seek to Build Morals on a Foundation of Ruined Hopes. *American Political Science Review*, 68(3), 1336-1337. <https://doi.org/10.2307/1959201>
- Production d'énergies renouvelables—Terrasolis ENERGY, La filière énergies renouvelables. (s. d.). Terrasolis. Consulté 1 janvier 2023, à l'adresse <https://www.terrasolis.fr/terrasolis-energy/>
- Prost, L., Reau, R., Paravano, L., Cerf, M., & Jeuffroy, M.-H. (2018). Designing agricultural systems from invention to implementation : The contribution of agronomy. Lessons from a case study. *Agricultural Systems*, 164, 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.009>
- Pugesgaard, S., Olesen, J. E., Jørgensen, U., & Dalgaard, T. (2014). Biogas in organic agriculture— Effects on productivity, energy self-sufficiency and greenhouse gas emissions. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29(1), 28-41. <https://doi.org/10.1017/S1742170512000440>
- Purswani, J., & Llorente, C. P. (2021). Nitrification and Denitrification Processes : Environmental Impacts. In *Nitrogen Cycle*. CRC Press.
- Quakernack, R., Pacholski, A., Techow, A., Herrmann, A., Taube, F., & Kage, H. (2012). Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 160, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.030>
- Räbiger, T., Andres, M., Hegewald, H., Kesenheimer, K., Köbke, S., Quinones, T. S., Böttcher, U., & Kage, H. (2020). Indirect nitrous oxide emissions from oilseed rape cropping systems by NH₃ volatilization and nitrate leaching as affected by nitrogen source, N rate and site conditions. *European Journal of Agronomy*, 116, 126039. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126039>
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., Srivastav, A. L., & Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Raven, R. P. J. M., & Geels, F. W. (2010). Sociocognitive evolution in niche development : Comparative analysis of biogas development in Denmark and the Netherlands (1973–2004). *Technovation*, 30(2), 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.08.006>

- Raven, R. P. J. M., & Gregersen, K. H. (2007). *Biogas plants in Denmark : Successes and setbacks. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(1), 116-132. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.12.002>
- Rayner, J. (2009). *Understanding Policy Change as a Historical Problem. Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 11(1), 83-96. <https://doi.org/10.1080/13876980802648326>
- Région Grand Est. (2020). *La stratégie régionale bioéconomie.* <https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2020/04/1588-la-strategie-bioeconomie-web.pdf>
- Région Grand Est. (2021). *Schéma Régional Biomasse.* <https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2017/05/srb-gd-est-diagnostic-2021.pdf>
- Région Grand Est. (2019a, janvier 18). *Point sur l'élaboration du Schéma Régional Biomasse du Grand Est.* https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/8-2019_01_18_srb_comite_regional_methanisation-2.pdf
- Région Grand Est. (2019b, janvier 18). *Stratégie régionale pour le développement de la méthanisation en Grand Est. Comité régional Méthanisation Grand Est - Deuxième rencontre.* https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2-2019_01_18_-_comite_regional_methanisation_-_strategie_et_charte-2.pdf
- Reise, C., Musshoff, O., Granoszewski, K., & Spiller, A. (2012). *Which factors influence the expansion of bioenergy? An empirical study of the investment behaviours of German farmers. Ecological Economics*, 73, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.10.008>
- Rip, A. (1995). *Introduction of new technology : Making use of recent insights from sociology and economics of technology. Technology Analysis & Strategic Management*, 7(4), 417-432. <https://doi.org/10.1080/09537329508524223>
- Rip, A., & Kemp, R. P. M. (1998). *Technological change. In Rayner, S., Malone, E.L. (Eds.), Human Choice and Climate Change (Vol. 2, p. 327-399).* <https://kemp.unu-merit.nl/Rip%20and%20Kemp.pdf>
- Robinson, J. B. (1991). *The proof of the pudding : Making energy efficiency work. Energy Policy*, 19(7), 631-645. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(91\)90095-6](https://doi.org/10.1016/0301-4215(91)90095-6)
- Rodhe, L., Salomon, E., & Edstroem, M. (2006). *Handling of digestate on farm level. JTI Institutet for jordbruks.* <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20881748>
- Ruf, T., Gilcher, M., Udelhoven, T., & Emmerling, C. (2021). *Implications of Bioenergy Cropping for Soil : Remote Sensing Identification of Silage Maize Cultivation and Risk Assessment Concerning Soil Erosion and Compaction. Land*, 10(2), 128. <https://doi.org/10.3390/land10020128>
- Rupf, G. V., Bahri, P. A., de Boer, K., & McHenry, M. P. (2017). *Development of an optimal biogas system design model for Sub-Saharan Africa with case studies from Kenya and Cameroon. Renewable Energy*, 109, 586-601. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.048>
- Saathoff, W., von Haaren, C., & Rode, M. (2013). *Scale-Relevant Impacts of Biogas Crop Production : A Methodology to Assess Environmental Impacts and Farm Management Capacities. In H. Ruppert, M. Kappas, & J. Ibendorf (Éds.), Sustainable Bioenergy Production—An Integrated Approach (p. 181-216). Springer Netherlands.* https://doi.org/10.1007/978-94-007-6642-6_7
- Sadet-Bourgeteau, S., Maron, P.-A., & Dijon, A. (2020). *Que sait-on vraiment de l'impact des digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols agricoles ? Revue AE&S 10-1, Agronomie et méthanisation*, 4.
- Salembier, C., Elverdin, J. H., & Meynard, J.-M. (2016). *Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9>

- Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B., & Meynard, J.-M. (2018). *Genealogy of design reasoning in agronomy : Lessons for supporting the design of agricultural systems*. *Agricultural Systems*, 164, 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.05.005>
- Scarlat, N., Fahl, F., Dallemand, J.-F., Monforti, F., & Motola, V. (2018). *A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 915-930. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.035>
- Schmid, Horschig, Pfeiffer, Szarka, & Thrän. (2019). *Biogas Upgrading : A Review of National Biomethane Strategies and Support Policies in Selected Countries*. *Energies*, 12(19), 3803. <https://doi.org/10.3390/en12193803>
- Schott, C., Mignolet, C., & Meynard, J.-M. (2010). *Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : Évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine*. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17(5), 276-291. <https://doi.org/10.1051/ocl.2010.0334>
- Schumacher, K., Krones, F., McKenna, R., & Schultmann, F. (2019). *Public acceptance of renewable energies and energy autonomy : A comparative study in the French, German and Swiss Upper Rhine region*. *Energy Policy*, 126, 315-332. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.032>
- Sebillotte, M. (1974). *Agronomie et agriculture : Essai d'analyse des tâches de l'agronome*. *Série biologie* 24, 3-25.
- Sebillotte, M. (1990). *Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes*. In L. Combe & D. Picard, *Les Systèmes de culture*. Institut national de la recherche agronomique.
- Severin, M., Fuß, R., Well, R., Hähndel, R., & Van den Weghe, H. (2016). *Greenhouse gas emissions after application of digestate : Short-term effects of nitrification inhibitor and application technique effects*. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(7), 1007-1020. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1110575>
- Seyfang, G., & Smith, A. (2007). *Grassroots innovations for sustainable development : Towards a new research and policy agenda*. *Environmental Politics*, 16(4), 584-603. Scopus. <https://doi.org/10.1080/09644010701419121>
- Shove, E., & Walker, G. (2007). *Caution! Transitions Ahead : Politics, Practice, and Sustainable Transition Management*. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 39(4), 763-770. <https://doi.org/10.1068/a39310>
- Siegmeier, T., Blumenstein, B., & Möller, D. (2015). *Farm biogas production in organic agriculture : System implications*. *Agricultural Systems*, 139, 196-209. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2015.07.006>
- Sitaula, B. K., Hansen, S., Sitaula, J. I. B., & Bakken, L. R. (2000). *Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil*. *Chemosphere - Global Change Science*, 2(3), 367-371. [https://doi.org/10.1016/S1465-9972\(00\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S1465-9972(00)00040-4)
- Skenhall, S. A., Berndes, G., & Woods, J. (2013). *Integration of bioenergy systems into UK agriculture- New options for management of nitrogen flows*. *Biomass and Bioenergy*, 54, 219-226. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.04.002>
- Smith, A., & Stirling, A. (2008). *Social-ecological resilience and socio-technical transitions : Critical issues for sustainability governance*. STEPS Centre, 29.
- Solagro, Aile, Trame, & Cerfrance. (2018). *MethaLAE - Synthèse technique « Impacts sociologiques »*.
- SPlann! (2022). *Enquête. Méthanisation et agriculteurs : « On gagne plus d'argent à produire de l'énergie que de l'alimentation »*. France 3 Bretagne. [319](https://france3-</p>
</div>
<div data-bbox=)

regions.francetvinfo.fr/bretagne/enquete-methanisation-et-agriculteurs-on-gagne-plus-d-argent-a-produire-de-l-energie-que-de-l-alimentation-2612532.html

- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability : An overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Stinner, W., Möller, K., & Leithold, G. (2008). Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. *European Journal of Agronomy*, 29(2-3), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.006>
- Stone, D. (2013). *Capturing the Political Imagination* (0 éd.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203044292>
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries : Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846-859. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.015>
- Sutherland, L. A., Peter, S., & Zagata, L. (2015). Conceptualising multi-regime interactions : The role of the agriculture sector in renewable energy transitions. *Research Policy*, 44(8), 1543-1554. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.013>
- Svoboda, N., Taube, F., Kluß, C., Wienforth, B., Kage, H., Ohl, S., Hartung, E., & Herrmann, A. (2013). Crop production for biogas and water protection—A trade-off? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 177, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.024>
- Szerencsits, M., Weinberger, C., Kuderna, M., Feichtinger, F., Erhart, E., & Maier, S. (2015). Biogas from Cover Crops and Field Residues : Effects on Soil, Water, Climate and Ecological Footprint. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 9(4), 4.
- Tagne, R. F. T., Dong, X., Anagho, S. G., Kaiser, S., & Ulgiati, S. (2021). Technologies, challenges and perspectives of biogas production within an agricultural context. The case of China and Africa. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10), 14799-14826. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01272-9>
- Tang, Y., Luo, L., Carswell, A., Misselbrook, T., Shen, J., & Han, J. (2020). Changes in soil organic carbon status and microbial community structure following biogas slurry application in a wheat-rice rotation. *Science of the Total Environment*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143786>
- Taravella, R. (2007). *La frontière pionnière amazonienne aujourd’hui—Projet socio-environnemental de conservation forestière contre la dynamique pastorale de déforestation—Une analyse stratégique 2000-2006 de l’action collective en Terra do Meio*.
- Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Møller, H. B., Sørensen, P., & Christensen, B. T. (2013). Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.006>
- Tian, D., & Niu, S. (2015). A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. 10(2), 024019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024019>
- Tolessa, A., Zantsi, S., Louw, T. M., Greyling, J. C., & Goosen, N. J. (2020). Estimation of biomass feedstock availability for anaerobic digestion in smallholder farming systems in South Africa. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105798. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105798>
- Trehet. (2011). Bulletin N° 407—Biobase, base de données documentaire en AB. https://abiodoc.docressources.fr/index.php?lvl=bulletin_display&id=30649

- Treyer, S. (2006). *A quelle raréfaction de l'eau faut-il se préparer ? Construire une intervention prospective au service de la planification pour les ressources en eau en Tunisie [Phdthesis, ENGREF (AgroParisTech)]*. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002653>
- Treyer, S. (2009). *Changing perspectives on foresight and strategy: From foresight project management to the management of change in collective strategic elaboration processes. Technology Analysis & Strategic Management, 21(3), 353-362.* <https://doi.org/10.1080/09537320902750699>
- Treyer, S. (2020). *Laurent Mermet : Passeur de frontières négociées pied à pied. Natures Sciences Sociétés, 28(2), 169-177.* <https://doi.org/10.1051/nss/2020027>
- Tritz, P. Y. (2013). *Développement territorial et valorisation en circuit court des ressources énergétiques locales.* https://www.caissedesdepots.fr/sites/default/files/2020-05/These_Yvan_Tritz_2.pdf
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., & Smith, P. (2013). *The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. Environmental Research Letters, 8(1), 015009.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>
- Tuomisto, H. L., Hodge, I. D., Riordan, P., & Macdonald, D. W. (2012). *Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses. Agricultural Systems, 108, 42-49.* <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.01.004>
- UNFCCC. (1998). *Protocole de Kyoto.* <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>
- Van Bruggen, A. H. C. (1995). *Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. Plant Disease, 79, 976-984.*
- Van Lente, H. (2012). *Navigating foresight in a sea of expectations : Lessons from the sociology of expectations. Technology Analysis & Strategic Management, 24(8), 769-782.* <https://doi.org/10.1080/09537325.2012.715478>
- Vaneckhaute, C., Styles, D., Prade, T., Adams, P., Thelin, G., Rodhe, L., Gunnarsson, I., & D'Hertefeldt, T. (2018). *Closing nutrient loops through decentralized anaerobic digestion of organic residues in agricultural regions : A multi-dimensional sustainability assessment. Resources, Conservation and Recycling, 136, 110-117.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.027>
- van Sluisveld, M. A. E., Hof, A. F., Carrara, S., Geels, F. W., Nilsson, M., Rogge, K., Turnheim, B., & van Vuuren, D. P. (2020). *Aligning integrated assessment modelling with socio-technical transition insights : An application to low-carbon energy scenario analysis in Europe. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119177.* <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.10.024>
- Vasco-Correa, J., Khanal, S., Manandhar, A., & Shah, A. (2018). *Anaerobic digestion for bioenergy production : Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. Bioresource Technology, 247, 1015-1026.* <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.004>
- Vergara, F., & Lakes, T. (2019). *Maizification of the Landscape for Biogas Production? [WorkingPaper]. Humboldt-Universität zu Berlin.* <https://doi.org/10.18452/20977>
- Vogelpohl, T., Beer, K., Ewert, B., Perbandt, D., Töller, A. E., & Böcher, M. (2022). *Patterns of European bioeconomy policy. Insights from a cross-case study of three policy areas. Environmental Politics, 31(3), 386-406.* <https://doi.org/10.1080/09644016.2021.1917827>
- Voisin, A.-S., Guéguen, J., Huyghe, C., Jeuffroy, M.-H., Magrini, M.-B., Meynard, J.-M., Mougél, C., Pellerin, S., & Pelzer, E. (2014). *Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe :*

- A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 361-380. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0189-y>
- Von Cossel, M., Wagner, M., Lask, J., Magenau, E., Bauerle, A., Cossel, V. V., Warrach-Sagi, K., Elbersen, B., Staritsky, I., Fernando, A. L., Scordia, D., Cosentino, S. L., Wulfmeyer, V., Lewandowski, I., & Winkler, B. (2019). *Prospects of Bioenergy Cropping Systems for A More Social-Ecologically Sound Bioeconomy*. 32. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100605>
- Walling, E., & Vaneekhaute, C. (2020). *Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use : A review of emission factors and their variability*. *Journal of Environmental Management*, 276. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111211>
- Wangel, J. (2011). *Exploring social structures and agency in backcasting studies for sustainable development*. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), 872-882. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.007>
- Wentzel, S., & Joergensen, R. G. (2016). *Effects of biogas and raw slurries on grass growth and soil microbial indices*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(2), 215-222. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400544>
- Wiebe, K., Zurek, M., Lord, S., Brzezina, N., Gabrielyan, G., Libertini, J., Loch, A., Thapa-Parajuli, R., Vervoort, J., & Westhoek, H. (2018). *Scenario Development and Foresight Analysis : Exploring Options to Inform Choices*. *Annual Review of Environment and Resources*, 43(1), 545-570. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030109>
- Wittwer, R. A., Dorn, B., Jossi, W., & van der Heijden, M. G. A. (2017). *Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems*. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep41911>
- World bioenergy association. (2019). *Global bioenergy statistics 2019*. http://www.worldbioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf
- Xue, S., Song, J., Wang, X., Shang, Z., Sheng, C., Li, C., Zhu, Y., & Liu, J. (2020). *A systematic comparison of biogas development and related policies between China and Europe and corresponding insights*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109474. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109474>
- Yalçın-Riollet, M., Garabuau-Moussaoui, I., & Szuba, M. (2014). *Energy autonomy in Le Mené : A French case of grassroots innovation*. *Energy Policy*, 69, 347-355. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.016>
- Yang, G., Zhang, G., Zhuan, R., Yang, A., & Wang, Y. (2016). *Transformations, Inhibition and Inhibition Control Methods of Sulfur in Sludge Anaerobic Digestion : A Review*. *Current Organic Chemistry*, 20(26), 2780-2789.
- Zhu, T., Curtis, J., & Clancy, M. (2019). *Promoting agricultural biogas and biomethane production : Lessons from cross-country studies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109332. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109332>
- Zittoun, P. (2009). *Understanding Policy Change as a Discursive Problem*. *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 11(1), 65-82. <https://doi.org/10.1080/13876980802648235>