

Construire une chaîne d'approvisionnement en biogaz agricole en Europe : modèles organisationnels et défis sociaux.

Par Philippe Hamman et Aude Dziebowski :

Institut d'urbanisme et d'aménagement du territoire, Faculté des sciences sociales, Université de Strasbourg, 67000 Strasbourg, France

Unité de recherche Sociétés, Acteurs et Gouvernement en Europe, Faculté des Sciences Sociales, INRAE-UHA-ENGEEES-CNRS-Université de Strasbourg, 67000 Strasbourg, France

Résumé

L'Europe étant le premier producteur mondial de biogaz, cet article examine l'organisation et la gouvernance de la méthanisation (MA) agricole, et explore les enjeux sociaux liés à la structuration du secteur autour d'un éventuel « modèle européen ».

Dans une perspective de sciences sociales, il présente une revue systématique de 64 articles en français et en anglais issus de 16 bases de données académiques. Les résultats mettent en évidence cinq dynamiques clés.

Premièrement, on observe une transition des modèles de méthanisation dirigés par les agriculteurs vers des modèles de plus en plus industriels.

Deuxièmement, des modèles économiques diversifiés et hybrides émergent, impliquant de nouvelles formes de coordination multi-échelles.

Troisièmement, le secteur reste structurellement dépendant des subventions publiques et des cadres réglementaires.

Quatrièmement, la viabilité économique de la MA pour les agriculteurs reste incertaine, entraînant une transition de la cogénération vers l'injection de biométhane. Cinquièmement, des tensions se développent entre les imaginaires territoriaux ruraux et les réalités des réseaux énergétiques mondialisés.

Ces tendances soulignent la complexité de la construction du secteur du biogaz en Europe et les récits concurrents qui façonnent son évolution. Nous soutenons que la méthanisation agricole ne peut être réduite à une trajectoire unifiée, mais reflète les négociations en cours sur les modèles énergétiques, le développement territorial et la légitimité sociotechnique. Cet article conclut en analysant les implications de ces dynamiques pour la durabilité et l'équité des futures trajectoires de biogaz en Europe.

Mots-clés:

[digestion anaérobie](#) ; [agriculture](#) ; [énergie renouvelable](#) ; [biogaz](#) ; [transition écologique](#) ; [agriculture durable](#) ; [développement rural](#) ; [viabilité](#) ; [sciences sociales](#) ; [Europe](#)

1. Introduction

La digestion anaérobie est la décomposition techniquement contrôlée de matières organiques en l'absence d'oxygène [[1](#)]. Ce processus a des implications économiques, sociales, technologiques, énergétiques et environnementales [[2](#), [3](#)].

Dans cette perspective relationnelle, nous proposons une synthèse des enjeux organisationnels et sociaux liés au défi de la construction d'une chaîne d'approvisionnement en biogaz agricole en Europe.

1.1. Contexte et portée

Cette revue se concentre spécifiquement sur la digestion anaérobie agricole, sachant que plusieurs systèmes de production de biogaz coexistent de manière distincte, impliquant la digestion des boues d'épuration, des déchets solides des collectivités locales et des décharges, et des déchets industriels.

Ils ont leurs propres régimes et configurations d'acteurs (voir par exemple, sur le Pays de Galles : [4]) ; la coordination nationale et européenne entre ces systèmes est limitée [5] (p. 15).

Nous nous concentrons également ici sur le biogaz en raison de son importance croissante, en particulier dans la production de biométhane, c'est-à-dire de biogaz raffiné [6 , 7]. À l'intersection de ces deux configurations – résidus agricoles et méthodes de digestion – il est important d'examiner les processus par lesquels les secteurs se développent et s'organisent, en examinant à la fois les acteurs et les conditions de ce développement.

Ce sera notre préoccupation principale dans cette revue, qui s'appuie sur des approches en sciences sociales.

Concrètement, *en amont* , les digesteurs installés sur ou à proximité des exploitations agricoles sont alimentés par des résidus agricoles, un procédé valorisé économiquement et écologiquement, ainsi que par des cultures énergétiques ; le maïs, la betterave ou le sorgho, par exemple, peuvent être cultivés pour servir d'intrants à la digestion. Puis, *en aval* , le processus de dégradation produit du biogaz, valorisé comme énergie renouvelable pour la transition décarbonée, ainsi que du digestat, sous-produit de la digestion, qui peut être épandu sur les sols cultivés comme alternative aux engrais minéraux. Alors que les appels à agir face au changement climatique se font de plus en plus pressants, cette technologie a suscité un intérêt précisément comme moyen de valoriser les résidus de l'agriculture et de l'élevage et/ou des cultures dédiées en transformant ces résidus en ressources à valeur ajoutée environnementale et sociale grâce au biogaz [3].

En ce sens, l'exemple de la digestion anaérobie agricole nous donne un aperçu des liens – ou de leur absence – entre la transition énergétique et la transition écologique, et entre les différents niveaux d'action, de la ferme au marché mondialisé de l'énergie, avec leurs implications sur le développement de carrière des agriculteurs, la viabilité du marché et la mise en œuvre des politiques publiques.

La méthanisation occupe désormais une place importante dans le mix énergétique : elle n'est plus une niche et, selon de nombreuses prévisions, elle est appelée à se développer davantage. C'est notamment le cas en Europe, premier producteur mondial d'électricité à partir de biogaz

1.2. Objectifs de l'étude

Dans le contexte du leadership européen, cette revue examine précisément la dynamique et les implications du déploiement d'une filière autour d'un possible « modèle européen » de méthanisation agricole.

Les revues existantes ont tendance à tracer une distinction entre les pays dits développés et les pays en développement, avec une distinction également concernant les types d'installations et les utilisations du biogaz, qui peuvent être résumées en deux grandes catégories : agricole et industriel contre agricole et domestique [8] (p. 9) [9].

Ceci rend une approche globale au niveau européen à la fois cohérente et de grande portée, à une échelle entre les approches mondiales et les études de cas nationales.

À cette fin, nous avons construit des corpus parallèles d'études francophones et anglophones selon un protocole systématique, en nous appuyant sur seize bases de données. Au total, 64 articles de recherche ont été sélectionnés et synthétisés ([Section 2](#)).

Ceux-ci montrent que le développement dans ce domaine a été initialement porté par les agriculteurs et le soutien public.

Ce modèle a été remis en question par une série de tendances interconnectées : un passage de la cogénération à un recours croissant à l'injection (sur ces concepts, voir [le tableau S1 dans les documents supplémentaires](#)), avec des conséquences sur les interactions entre les acteurs agricoles et les acteurs industriels, ainsi qu'un changement dans les relations aux politiques publiques, se matérialisant par une dépendance aux subventions ([Section 3](#)).

De ce fait, la durabilité de la méthanisation est incertaine pour les adoptants agricoles et pour le développement rural local ([Section 4](#)).

Finalement, des lignes de fracture clés sont identifiées qui auront des implications structurelles sur les choix futurs et sur la manière d'élaborer des scénarios ([Section 5](#)), et des pistes de recherche possibles sont discutées dans la Conclusion ([Section 6](#)).

2. Matériels et méthodes

Deux corpus de publications, en français et en anglais, ont été constitués et discutés ; les articles ont été sélectionnés selon un protocole unique. L'objectif était d'obtenir des conclusions solides sur les thèmes généraux et de structurer les débats. Le processus a été divisé en trois étapes méthodologiques.

2.1. Recherche documentaire

La première étape a consisté à assembler les deux corpus francophone et anglophone. Entre le 23 février et le 6 mars 2024, nous avons utilisé le portail BibCNRS SHS (<https://bib.cnrs.fr/> , consulté le 6 mars 2024), qui donne accès à de nombreuses bases de données nationales et internationales.

Afin de réaliser une revue systématique de la littérature, nous avons choisi de ne pas nous limiter à une ou quelques bases de données sélectionnées, comme cela est généralement le cas dans les revues sur ce sujet.

Par exemple, Alan et Köker ont examiné les implications de la valorisation des déchets agricoles dans une économie circulaire en se basant sur une revue bibliométrique des vingt dernières années en utilisant la base de données Web of Science [[6](#)].

Pour les besoins de leur revue des barrières à l'adoption du biogaz dans 32 pays européens, américains, africains et asiatiques, Nevzorova et Kutcherov ont utilisé la base de données Scopus [[8](#)]. Mancini et Raggi ont examiné les facteurs socioculturels influençant l'acceptabilité des projets de biogaz au niveau mondial, en utilisant la méthode systématique PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), mais en s'appuyant sur deux bases de données : Scopus et Web of Science, et en se concentrant sur les analyses du cycle de vie, qui ne seront pas abordées ici [[9](#)]. Enfin, Brémond et al. ont élaboré leur scénario pour le développement du secteur européen du biogaz pour 2020-2030 et au-delà en se concentrant sur cinq pays européens et quatre bases de données : Google, Web of Science, Google Scholar et ScienceDirect [[7](#)].

Pour cette revue, nous avons consulté seize bases de données afin d'obtenir un aperçu général des approches en sciences sociales de la digestion anaérobie agricole en deux langues. Il s'agit respectivement de six bases de données francophones et de dix bases de données anglophones : Cairn, Érudit, Gallica, HAL, OpenEdition et Persée ; Jstor, Sage, ScienceDirect, SocIndex, SpringerLink, Web of Science, Wiley, Ebsco, Edp Science et Nature.

En termes de robustesse méthodologique, cela a permis de garantir un corpus diversifié, le contenu des bases de données dépendant de leur portée et de leur politique éditoriale.

Dans chacune de ces bases de données, nous avons effectué une recherche par mots-clés pour les termes associés à « méthanisation agricole » dans les bases de données francophones, et à « biogaz agricole » et « méthanisation anaérobie agricole » dans les bases de données anglophones.

Nous avons immédiatement introduit deux restrictions en recherchant spécifiquement (i) les articles (à l'exclusion des autres types de publications : livres, thèses de doctorat, rapports de recherche, etc.) ; et (ii) les articles disponibles en texte intégral via BibCNRS SHS, à l'exclusion des pages contenant uniquement des résumés (afin de pouvoir effectuer une analyse qualitative par lecture du texte intégral). Les résultats ont été triés par pertinence : nous avons sélectionné tous les résultats pour les bases de données proposant moins de 100 références, et les 100 premières dans les autres cas.

Malgré les deux filtres initiaux, les recherches ont généralement donné des résultats abondants, allant de centaines à des milliers d'articles. Pour remédier à ce problème, nous avons ajouté deux restrictions supplémentaires au protocole pour certaines bases de données étendues : les mots-clés devaient figurer dans le résumé et le texte intégral (dans Jstor, Sage et Wiley), et l'article devait être classé dans la catégorie des sciences humaines ou sociales (dans ScienceDirect, SpringerLink, Ebsco, Edp Sciences, Web of Science et Wiley). Ce processus de sélection nous a permis d'exclure automatiquement 27 905 résultats (phase « d'identification », voir [figure 1](#) ci-dessous).

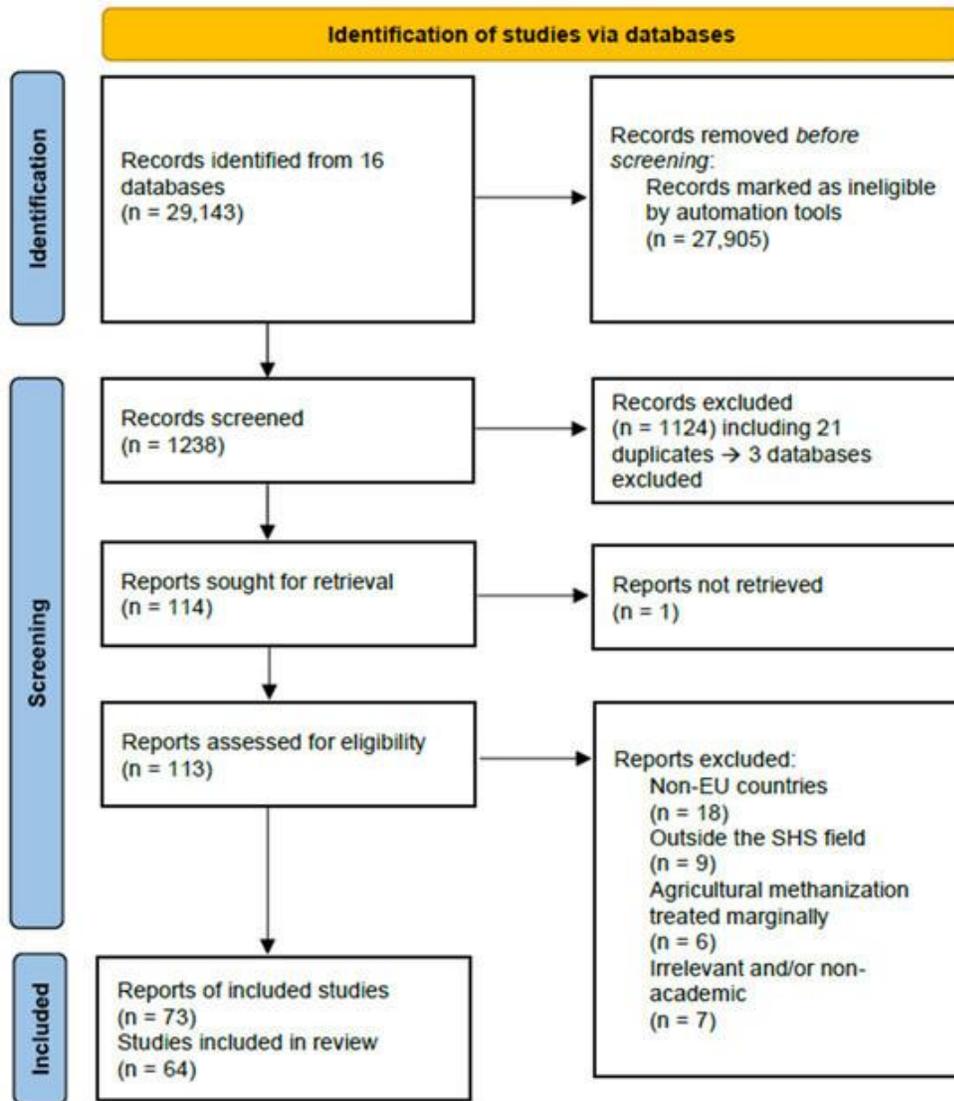


Figure 1. Organigramme PRISMA de l'étude de la littérature (© Philippe

Hamman et Aude Dziebowski. Source : organigramme PRISMA 2020 [10]. Ce travail est sous licence CC BY 4.0.).

2.2. Évaluation de la littérature

La deuxième phase du protocole (« phase de criblage », voir [Figure 1](#)) a consisté à déterminer et à appliquer des modalités de sélection supplémentaires pour les 1238 articles issus de la première recherche automatisée.

Chaque résultat a été examiné par étapes successives. Nous avons commencé par vérifier qu'il provenait bien d'une revue scientifique, puis avons lu le résumé afin d'évaluer la pertinence de l'article en termes (i) de sujet d'étude et (ii) d'appartenance disciplinaire.

Suite à ces étapes, nous avons exclu trois bases de données – Ebsco, Edp Science et Nature – pour lesquelles la recherche par mots-clés n'a pas donné de résultats pertinents après filtrage. Le travail approfondi a finalement porté sur treize bases de données. Nous n'avons comptabilisé qu'une seule fois les articles apparaissant dans plusieurs bases de données (excluant ainsi 21

doublons). Sur ces treize bases de données, nous avons conservé 114 articles, dont 64 en anglais et 50 en français.

Nous avons ensuite procédé à la sélection finale en lisant l'intégralité de ces 114 articles. Les choix suivants ont été retenus :

- Nous nous sommes concentrés sur les articles traitant principalement de contextes européens (par exemple, en supprimant les cas de comparaisons entre pays de différents continents et les revues de littérature mondiales), en supprimant dix-huit articles du corpus ;
- Quelques articles (neuf de plus) étaient trop éloignés des sciences sociales ;
- Certains (six de plus) n'ont abordé que brièvement la digestion anaérobie. D'autres (sept de plus) s'apparentaient davantage à des rapports d'acteurs extérieurs au monde universitaire.

Nous avons ainsi obtenu un total de 73 articles. Parmi ceux-ci, nous avons éliminé neuf articles qui n'abordaient pas directement le processus de développement sectoriel, objet de cette revue, ce qui nous laisse un total final de 64 articles (33 en anglais et 31 en français).

Toutes ces étapes sont résumées dans l'organigramme PRISMA (éléments de rapport préférés pour les revues systématiques et les méta-analyses) de [la figure 1](#) .

2.3. Synthèse de la littérature

Les années de publication des articles sélectionnés dans la deuxième phase montrent que la digestion anaérobie agricole est un processus énergétique renouvelable qui, jusqu'à récemment, est resté peu étudié dans les sciences sociales ([Figure 2](#)) ; d'où l'intérêt actuel de cette revue, alors que les articles se multiplient.

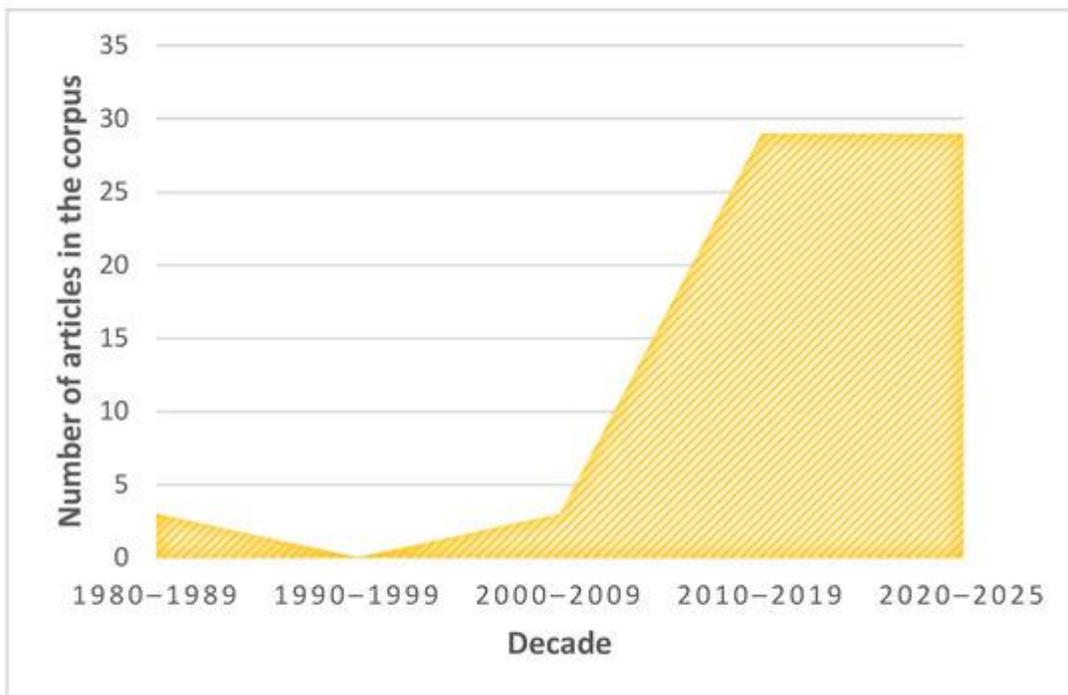


Figure 2. Répartition temporelle des articles sélectionnés dans le corpus par décennie de publication. La répartition au sein du corpus indique que les articles de recherche en sciences sociales sur la digestion anaérobie n'apparaissent que depuis 1980 (voir [[11](#)]), avec un nombre limité de publications avant 2010 (6, aucune dans les années 1990).

Une augmentation notable peut être observée à partir de 2010 (29 articles publiés dans les années 2010), une tendance qui se poursuit depuis 2020 (avec 29 articles déjà publiés entre 2020 et 2024).

Pour aller plus loin, dans la troisième phase, les articles ont été catégorisés à l'aide d'une matrice synthétisant les principaux résultats et débats, comme le montre le [tableau 2](#). Il en résulte une comparaison à l'échelle européenne, fondée sur un aperçu des situations locales et nationales et/ou des propositions de modélisation tirées des deux corpus. Ceux-ci se recoupent parfois en termes d'aires géographiques d'étude : 8 des 31 articles francophones traitent de pays autres que la France, et 3 des articles anglophones traitent de la France. À cet égard, et compte tenu de la diversité des pays étudiés notre approche est véritablement relationnelle plutôt que fondée sur des exemples monographiques.

Nous avons identifié six thèmes principaux reliant les conclusions des articles :

- Les positions initiales des agriculteurs et l'évolution industrielle ;
- Les typologies des modèles économiques des exploitations agricoles et des installations de biogaz ;
- Outils et barrières contextuelles et réglementaires, avec un focus sur le rôle des subventions publiques et leur évolution ;
- La viabilité économique du biogaz et le problème de ses rendements limités pour les agriculteurs ;
- Ses contributions au développement rural local ;
- Le scénario actuel et les études futures.

En combinant les thèmes identifiés précédemment, nous réfléchissons à l'existence possible d'un modèle européen de méthanisation agricole. Nous cherchons à caractériser ses principaux acteurs, processus et enjeux, ainsi que leurs niveaux d'intervention et leurs points communs, tout en identifiant des trajectoires divergentes et des différences nationales, qui révèlent néanmoins des cadrages communs dans le discours sur le biogaz.

2. Résultats : un modèle européen basé principalement sur les agriculteurs et les subventions publiques

3.

La méthanisation agricole se caractérise par deux caractéristiques principales qui ont influencé le processus de construction de la filière. Premièrement, les agriculteurs ont été les pionniers du biogaz, mais leurs positions au sein de la filière ont évolué. La littérature débat d'un glissement *du modèle* agricole vers un modèle industriel ([section 3.1](#)), correspondant à l'émergence de modèles économiques mixtes s'appuyant sur diverses configurations d'acteurs ([section 3.2](#)). Deuxièmement, analyser le développement des installations de méthanisation nécessite également d'évaluer les conditions de leur possibilité. La filière apparaît fortement dépendante des différents cadres de régulation et de subventions publiques en Europe. Cela

témoigne d'un modèle historiquement lié à l'existence de dispositifs de soutien, notamment au niveau national. L'évolution se fait à des rythmes différents selon la mise en œuvre de politiques plus ou moins favorables au biogaz, au point que la question d'un changement de paradigme se pose désormais ([section 3.3](#)).

3.1. D'un modèle agricole à un modèle industriel ?

3.1.1. Le rôle des contextes agricoles locaux dans le développement précoce du biogaz

Les agriculteurs et le secteur agricole ont fourni la principale impulsion initiale au développement de la digestion anaérobie en Europe, en particulier en Allemagne, pionnière dans les années 1990 [[50](#)]. La République tchèque est un cas limite intéressant : les agriculteurs et les entreprises agricoles soutiennent le biogaz parce qu'ils se sont retrouvés avec des terres sous-utilisées à la suite des profondes transformations de l'agriculture au cours des trois dernières décennies, après l'âge d'or des grandes fermes collectives [[58](#)].

En France, le développement du biogaz s'inscrit dans un contexte de transformation structurelle de l'agriculture, caractérisée par une spécialisation accrue et l'intensification des systèmes de production. Cette tendance a engendré des disparités régionales. Par exemple, en Bretagne, où l'élevage intensif domine, le biogaz est devenu un outil permettant aux agriculteurs de s'adapter aux exigences environnementales, comme l'élimination des effluents d'élevage excédentaires. Dans le Grand Est, au nord-est du pays, les dynamiques sont plus hétérogènes. Dans certaines régions, comme l'Aube en Champagne, où une majorité de grandes exploitations cultivent des grandes cultures, le biogaz a été utilisé principalement pour diversifier les débouchés et améliorer la sécurité des revenus en valorisant les coproduits agricoles. Ces exemples reflètent l'influence des contextes agricoles locaux sur le développement du biogaz depuis ses débuts [[29](#)].

C'est là une autre distinction par rapport aux autres sources d'énergie renouvelables : le biogaz est ancré dans les structures sociales et les pratiques des zones rurales. Les systèmes de production de biogaz dépendent largement d'intrants – fumier de bétail et résidus de culture – qui étaient auparavant rarement utilisés pour la production d'énergie et qui ont été intégrés aux systèmes agricoles (par l'épandage de fumier, l'enfouissement des résidus de culture pour enrichir les sols, leur utilisation comme aliment pour le bétail, etc.). En ce sens, le biogaz diffère de l'énergie éolienne, solaire et hydraulique, dont l'approvisionnement provient directement des éléments (eau, vent, soleil, etc.). « L'organisation sociale » de la production rurale de biogaz s'articule autour des agriculteurs, à l'intersection des systèmes environnementaux et sociaux [[44](#)] (pp. 11–13).

3.1.2. L'intégration de la digestion anaérobie dans le système agro-industriel

L'adoption de plus en plus claire du discours de transition énergétique dans la production de biogaz a modifié l'accent initial mis sur les agriculteurs et les liens locaux. Nous assistons désormais à des interactions plus étroites entre les agriculteurs et les autres parties prenantes, en particulier dans l'industrie, en commençant en amont du processus avec l'approvisionnement en biomasse.

Cela a déjà été souligné en 2006 dans le cas de l'Allemagne, où la digestion anaérobie s'est développée plus tôt et dans une plus grande mesure qu'ailleurs [[63](#)] (p. 126). Le rôle croissant

des investisseurs financiers a également été noté dans ce pays, en particulier dans les grandes installations [43] (p. 3).

Une comparaison entre l'Allemagne et la République tchèque est instructive à cet égard : alors que les agriculteurs étaient des innovateurs en matière de biogaz dans les deux pays, le biogaz était ancré dans le régime agricole en République tchèque, et dans les régimes agricole et électrique en Allemagne [2] (p. 1551).

En Finlande, le débat public sur le biogaz est principalement encadré par la perspective des producteurs d'énergie, ce qui reflète la domination du discours sur la transition énergétique [55]. En Pologne et au Danemark, les grandes installations centralisées ont également été privilégiées [51]. Les interactions multi-acteurs sont étendues, les exploitations agricoles fournissant de l'énergie aux industriels à des fins de production de biocarburants et le secteur agroalimentaire fournissant les exploitations agricoles pour la digestion anaérobie. La valorisation des déchets dans les économies circulaires étant devenue un mantra, la production de *biométhane* joue un rôle de plus en plus important dans les processus de traitement et de recyclage des déchets, à commencer par le secteur agro-industriel : la production d'énergie est présentée comme une opportunité économique [6] (pp. 14–15). Une analyse des chaînes de valeur des cultures industrielles cultivées sur des terres agricoles marginales, menée dans dix-huit pays européens, a abouti à des conclusions similaires : l'objectif principal est de cultiver de la biomasse pour soutenir la bioéconomie [60] (p. 1320).

L'intégration du biogaz au sein du système agro-industriel et la diversité de ses applications sont clairement démontrées.

Concernant le cas français, deux phases principales peuvent être distinguées : dans les années 2000, le biogaz était essentiellement l'apanage d'éleveurs pionniers qui ont adopté la technologie pour gagner en autonomie et valoriser localement les effluents ; après 2015, il a été caractérisé par une filière de plus en plus structurée et l'émergence de nouveaux intermédiaires. Cette dynamique s'est accélérée avec l'essor du biométhane, dont l'injection dans les réseaux de gaz a ouvert la voie à des modèles plus financiarisés.

En conséquence, la capacité des agriculteurs à capter une partie de la valeur ajoutée du biogaz devient plus incertaine : cette tendance pourrait remettre en cause leur rôle central dans la filière ; certains pourraient être requalifiés en simples fournisseurs d'installations mieux capitalisées plutôt qu'en véritables producteurs d'énergie [30] (pp. 45–47) [17].

3.1.3. Les « agriculteurs énergétiques » et la redéfinition de la profession agricole.

Dans ce contexte de changement, les agriculteurs sont amenés à renoncer à une partie de leur activité pour devenir des « agriculteurs énergétiques », c'est-à-dire à s'étendre au-delà de la production alimentaire pour s'engager sur la voie de la diversification énergétique [13].

Anzalone et Mazaud qualifient d'« énergiculteurs » ces agriculteurs qui ne se contentent pas de gérer une unité de méthanisation mais adoptent des approches entrepreneuriales et multipartenaires. Ils naviguent entre de multiples arènes sociales, combinant les exigences de l'agriculture et les contraintes de l'industrie. Leur rôle va bien au-delà de la fourniture d'intrants : ils ont des fonctions de gestion de projet, de négociation et de coordination, nécessitant des compétences en matière de financement, de bureaucratie et de communication territoriale [13].

Au contraire, pour faire face à cette technologie complexe, certains scientifiques, industriels et responsables publics suggèrent en Allemagne que les agriculteurs devraient se limiter à fournir

des matières premières et se retirer de l'exploitation de l'usine. Par exemple, le power-to-gas pourrait donc transformer la chaîne de valeur du secteur du biogaz en transférant la gestion de l'installation des agriculteurs aux industriels, en s'appuyant sur du personnel spécialisé [61] (pp. 9–12).

Des dynamiques concrètes de différenciation apparaissent entre les exploitations à fort capital et celles aux ressources plus limitées. Le biogaz tend ainsi à creuser les fractures entre agriculteurs, illustrant un processus d'actualisation du productivisme sous une nouvelle forme [12].

Au-delà des aspects technologiques et économiques, les modes d'appropriation de la méthanisation par les agriculteurs dépendent également de facteurs sociologiques et de différentes représentations du métier. L'acceptabilité professionnelle des projets d'énergies renouvelables « innovants » varie fortement selon les origines des agriculteurs, soulignant un clivage entre les conceptions de l'agriculture. Certains agriculteurs, ancrés dans une démarche entrepreneuriale, perçoivent la transition énergétique comme une opportunité économique, intégrant la méthanisation dans une stratégie plus large de modernisation et de sécurisation des revenus.

À l'inverse, d'autres agriculteurs attachés à la dimension patrimoniale locale de l'agriculture peuvent être plus réticents à poursuivre de tels changements, soulignant la nécessité de préserver l'identité agricole locale et la production alimentaire. Ce contraste montre que la problématique de la méthanisation reflète la variété des rapports du monde agricole à la transition énergétique, en fonction de sa perception du changement et des risques associés, de son degré d'adhésion aux dynamiques d'innovation et des discours qui y sont liés sur l'agriculture [28].

3.2. *Vers des modèles économiques mixtes ?*

Comme nous pouvons le voir, le monde des adoptants du biogaz n'est en aucun cas une entité monolithique. La réalité est plus complexe : Oosterveer et Spaargaren ont décrit des « mélanges modernisés » caractérisés par la combinaison de différentes échelles technologiques et de différentes formes d'organisation et de gouvernance, produisant une variété de systèmes socio-technologiques [67].

Ces modes d'« organisation sociale » du biogaz créent de multiples mélanges possibles, en fonction de plusieurs paramètres. Ceux-ci incluent la distinction entre le réseau d'approvisionnement en intrants (impliquant une ou plusieurs exploitations agricoles) et le réseau de distribution (soit limité à l'exploitation hôte, soit étendu aux consommateurs extérieurs) ; l'allocation des revenus ; les lignes de fracture sociale du système (à commencer par l'accessibilité pour les résidents locaux) ; et les questions d'échelle (nombre de digesteurs, capacité, degré d'intégration entre fournisseurs et consommateurs, etc.) [44] (pp. 12–13).

3.2.1. Comment les dynamiques organisationnelles et territoriales façonnent les modèles économiques

Les tentatives de classification des installations de biogaz faites par les chercheurs en sciences sociales ont souvent été fondées sur des critères technologiques, juridiques ou économiques, en insistant sur la taille des installations, la nature des intrants et les formes de valorisation du biogaz. En contrepoint, quelques études se sont attachées à analyser la diversité des modèles économiques sous l'angle des dynamiques sociales et organisationnelles, en s'intéressant plus spécifiquement aux formes d'entrepreneuriat collectif [26] et au positionnement stratégique des agriculteurs dans la filière [18].

Par exemple, Condor a mis l'accent sur les défis de gouvernance, tels que les intérêts divergents entre les membres, les coûts de coordination inhérents à la prise de décision en groupe ou le risque d'opportunisme, certains agriculteurs pouvant s'impliquer temporairement dans un projet collectif pour ensuite investir dans leur propre projet individuel. La méthanisation collective n'est pas seulement une question d'organisation ; elle s'inscrit dans une dynamique plus large de changement des relations de pouvoir dans le monde agricole et dans le secteur de l'énergie [26] (pp. 81, 88). De manière complémentaire, Berthe et al. identifient plusieurs configurations selon l'identité des actionnaires majoritaires et le degré d'autonomie des agriculteurs. Ils mettent en évidence l'hétérogénéité croissante des trajectoires des agriculteurs dans la filière biogaz, entre une autonomie continue dans des modèles coopératifs et une intégration progressive dans des systèmes plus financiarisés [17 , 18].

Plus précisément, une étude de 2015 sur les adoptants du biogaz en Toscane distingue deux principaux types d'acteurs : les personnes issues de la formation agricole et les entreprises du secteur de l'énergie. Elle distingue également trois modèles économiques. Le premier concerne les exploitations agricoles multifonctionnelles qui utilisent le biogaz pour gagner en autonomie commerciale tout en maintenant la production d'aliments pour animaux et de denrées alimentaires. Le deuxième comprend les exploitations agricoles entrepreneuriales qui adoptent le biogaz dans le cadre d'une stratégie de croissance et de maximisation des profits. Le troisième correspond aux entreprises du secteur de l'énergie gérant plusieurs installations d'énergie renouvelable – le modèle désormais le plus répandu.

Ce premier constat est nuancé par un second : si les constructeurs et les industriels opérant « en amont » du processus de digestion sont les parties prenantes les plus influentes et peuvent contribuer à la diffusion des connaissances parmi les adoptants, quel que soit leur environnement, les ressources accessibles en interne (par exemple, les visites d'installations exploitées par des agriculteurs voisins) restent les principales sources d'information au stade de la prise de décision [49].

Cela confirme que les projets de biogaz en Europe sont ancrés territorialement [12 , 19] plutôt que de suivre un modèle mondialisé unique, et cela montre la porosité des registres pratiques.

3.2.2. Défis de gouvernance et de coordination multi-échelles

Les dynamiques récentes montrent que le biogaz s'inscrit désormais dans des trajectoires diverses, façonnées par des choix technologiques, des modèles de gouvernance et des acteurs plus complexes.

Berthe et al. identifient cinq modèles économiques pour la production de biogaz agricole, selon quatre critères : les connaissances mobilisées ; les technologies utilisées ; les réseaux d'acteurs impliqués et leur environnement institutionnel.

1. Le « modèle d'internalisation et de symbiose » se caractérise par une logique d'autosuffisance et d'autosuffisance : les agriculteurs maîtrisent au maximum les coûts d'entretien en les internalisant, utilisent leurs propres effluents d'élevage comme intrants et limitent au maximum les interventions externes. L'innovation repose ici sur une approche empirique : les agriculteurs apprennent par la pratique et acquièrent une expertise au fur et à mesure de l'exploitation de leur installation. Ces unités, souvent installées par des membres de la première génération d'utilisateurs (avant 2015), ont

- bénéficié, au moins initialement, d'un important soutien des subventions publiques et privilégient la cogénération.
2. Le « modèle des groupements de petits agriculteurs » repose sur la coopération entre éleveurs et céréaliers, qui repensent collectivement leurs projets agricoles. Ces unités nécessitent des investissements plus importants et sont souvent suivies par des opérateurs spécialisés. Elles embauchent plus souvent des salariés et achètent la majorité de leurs intrants (souvent auprès de coopératives). La transmission des savoir-faire joue un rôle essentiel : les éleveurs partagent leur expertise en matière de conduite des installations, tandis que les céréaliers apportent leur savoir-faire en matière d'épandage du digestat.
 3. Le « modèle d'injection de biogaz par les producteurs céréaliers » désigne les projets gérés par des agriculteurs spécialisés dans la production céréalière, individuellement ou en petits groupes. Ces unités bénéficient d'investissements initiaux importants, souvent compensés par des contrats avec des coopératives et des entreprises agroalimentaires pour garantir l'approvisionnement et la vente de biogaz. Ce modèle se caractérise par l'embauche de salariés issus du secteur industriel, formés par les fabricants et les agriculteurs eux-mêmes, et par une spécialisation croissante dans la gestion administrative et commerciale des installations.
 4. Le modèle d'externalisation partielle et de technologie générique reflète une dépendance accrue envers les acteurs industriels. Il est principalement adopté par les agriculteurs qui ont investi dans la biogaz après 2015, individuellement ou en petits groupes, et qui exploitent des installations clés en main construites par des opérateurs privés. Ces unités se caractérisent par une forte dépendance à l'expertise des fabricants, une externalisation partielle de la gestion et des coûts d'investissement élevés en raison du grand nombre d'acteurs impliqués. Les chercheurs soulignent les défis auxquels ces agriculteurs sont confrontés, soulignant notamment la fréquence des problèmes techniques (défauts de conception, surdimensionnement, etc.), le taux élevé de faillites et l'exposition aux fluctuations des subventions publiques.
 5. Le modèle émergent des « projets communs entre coopératives agricoles et investisseurs » est moins répandu mais de plus en plus suivi. S'il permet de trouver un équilibre entre ancrage territorial et accès aux ressources financières, il pose également la question de la gouvernance et de la répartition de la valeur ajoutée entre les acteurs [19] (pp. 23–30).

Nous rejoignons ici les conclusions d'une étude menée sur un « cluster biogaz », impliquant la mise en réseau de divers acteurs locaux dans des projets dans lesquels différents groupes opèrent de manière semi-autonome. Les auteurs soulignent le rôle joué par les ressources de la « proximité organisée », soutenant la dynamique et créant un sentiment d'appartenance grâce à des interactions fréquentes entre les participants. La corrélation entre proximité géographique et proximité organisée est propice à la fois à l'émergence et à la stabilisation des projets ; en d'autres termes, la coordination entre les acteurs et l'implication de toutes les parties prenantes sont des facteurs cruciaux [59] (pp. 345–346).

La structuration d'un groupe d'intérêt national - l'Association française des agriculteurs producteurs de biogaz - illustre le passage des innovateurs techniques aux acteurs politiques et met en évidence les compétences nécessaires pour influencer l'élaboration des politiques : conviction, expertise technique et persévérance.

Elle souligne également l'importance de trois ressources clés pour que les agriculteurs obtiennent un avantage dans les négociations : l'information, qui leur permet d'anticiper et d'ajuster leur stratégie en réponse aux changements de réglementation ; les connexions, qui sont cruciales pour avoir de l'influence dans les discussions institutionnelles ; et la légitimité symbolique [14].

Les résultats précédents peuvent être étendus à une approche multi-échelle : la stabilisation et la viabilité des projets de biogaz agricole semblent dépendre de la convergence de l'ancrage territorial (proximité géographique) et d'un processus organisé de construction de filières associant une variété d'acteurs opérant à différents niveaux (proximité organisée), même s'ils poursuivent des objectifs différents.

Par exemple, une typologie des facteurs de succès en Suède mentionne les conditions économiques et stratégiques, à savoir une perspective à long terme sur les investissements et les activités et la possibilité de compter sur un prix fixe pour la production de biogaz sur plusieurs années.

Mais ce n'est pas tout : les autres facteurs mettent l'accent sur le fonctionnement pratique de configurations multi-acteurs.

Il y a d'abord une dimension organisationnelle, commençant par la coopération entre acteurs publics et privés et avec les décideurs politiques. Cette dimension interagit avec des facteurs liés à la dynamique territoriale et aux interactions entre les niveaux, tels que la possession de compétences et d'expérience entrepreneuriales, ainsi que le rôle des « enthousiastes influents », c'est-à-dire des initiateurs et des acteurs dotés de compétences diverses, de solides compétences en communication et d'un accès à des réseaux d'investisseurs, de décideurs politiques et d'industriels, qui persévéreront pour trouver des alternatives lorsque des défis se présenteront.

On peut parler dans de tels cas de modèles économiques mixtes, dans le sens où ils permettent des rendements inférieurs à ceux d'autres investissements, tant que la production et la distribution de biogaz restent rentables [52] (pp. 2929–2931).

3.2. La dépendance à la réglementation et aux subventions publiques

3.3.1. Un recours généralisé aux subventions

Le résultat le plus cohérent dans l'ensemble de la littérature étudiée, quel que soit le pays européen, est la corrélation entre l'essor du biogaz et la présence de cadres réglementaires publics et de systèmes de soutien économique.

En 1984, sur la base du cas expérimental d'une usine de biogaz en France, Carrière, il était déjà avancé que sans un soutien public massif, la rentabilité économique de la production de biogaz resterait limitée et ne pourrait concurrencer l'énergie fossile. Quarante ans plus tard, cela reste une question centrale pour l'évolution du secteur, en termes de rentabilité et de structuration institutionnelle [25] (p. 31).

Dans leur aperçu des obstacles à la mise en œuvre du biogaz dans le monde, Nevzorova et Kutcherov soulignent d'emblée le rôle des gouvernements à travers les politiques de soutien et la mise en place d'un cadre politique clair.

À l'inverse, des obstacles institutionnels sont cités, tels que l'absence de programmes destinés à promouvoir les technologies du biogaz, les changements de priorités (comme la réduction des tarifs de rachat garantis) ainsi que les problèmes bureaucratiques [8] (pp. 6–7). Si les cadres

réglementaires et les dispositifs de soutien public jouent un rôle clé dans le développement du biogaz, ils peuvent également constituer des obstacles lorsque les gestionnaires de projets sont confrontés à la complexité bureaucratique et à l'incertitude quant à la disponibilité des financements.

Par exemple, Bourdin a souligné un certain nombre d'obstacles institutionnels ralentissant, voire stoppant, la mise en œuvre de projets de biogaz en France, citant notamment le manque de subventions adéquates et la lourdeur des formalités administratives et du processus de consultation, qui allongent considérablement la mise en œuvre et favorisent les acteurs industriels plus expérimentés dans les processus réglementaires et bureaucratiques. De plus, les programmes de soutien, bien que nécessaires, ne sont pas toujours adaptés aux réalités des adoptants du biogaz. Les critères d'éligibilité aux subventions publiques sont souvent conçus selon des modèles standardisés et ne prennent pas toujours en compte les spécificités des exploitations productrices de biogaz, notamment lorsqu'elles privilégient les circuits courts ou l'autosuffisance énergétique. Cette inadéquation contribue à creuser les inégalités entre agriculteurs, certains bénéficiant d'un accès facile aux financements tandis que d'autres peinent à s'intégrer dans les programmes existants [22] (pp. 69–72) – un constat qui reste valable également au niveau européen .

On peut multiplier les exemples.

Une comparaison des réglementations sur le biogaz en Suisse, en Allemagne et en Autriche montre l'influence de ces cadres sur la structure du secteur et sur les indicateurs de performance technique des installations.

Si le développement ultérieur est bloqué pour des raisons juridiques, la production d'électricité diminuera à moyen terme, car les acteurs du secteur réagissent rapidement aux changements juridiques [66].

Une forte dépendance aux subventions publiques est également signalée en Finlande [54] ; en Italie également, l'importance des décisions politiques et la nécessité d'améliorer les politiques pour soutenir la croissance des énergies renouvelables sont largement citées parmi les acteurs du secteur [42].

3.3.2. L'institutionnalisation à long terme du soutien public dans les trajectoires nationales

Pour illustrer les disparités de développement du biogaz à travers l'Europe en fonction des stratégies de soutien public et des changements de cadre réglementaire dans chaque pays, Béline et al. ont proposé une analyse comparative des trajectoires nationales du secteur jusqu'au début des années 2010.

En résumé, alors que certains États ont choisi de structurer le secteur à un stade précoce et de l'intégrer rapidement dans les politiques énergétiques (Allemagne, Danemark, Italie), d'autres, comme la France, se sont adaptés plus progressivement, avec un développement ultérieur du secteur et une réglementation plus complexe [16].

À cet égard, le cas de l'Allemagne, souvent présenté comme le modèle de développement du biogaz agricole en Europe pour sa politique de soutien précoce et structurée, mérite d'être examiné.

L'entrée en vigueur de la loi sur les sources d'énergie renouvelables (*Erneuerbare Energien Gesetz* — EEG) en 2000 a marqué un tournant clé pour le secteur, garantissant une rémunération stable de l'électricité produite à partir du biogaz pendant vingt ans.

Cette incitation financière a conduit le secteur à une expansion rapide : en 2011, l'Allemagne comptait près de 7 100 installations, représentant 50 % de la production de biogaz en Europe et 3,1 % de la consommation d'électricité du pays.

Au fil des ans, la réglementation a évolué pour réduire certaines externalités négatives, notamment en diminuant progressivement la part du maïs dans les intrants végétaux afin de promouvoir la diversification des cultures énergétiques et d'empêcher une extension excessive de la monoculture pour le biogaz [41] (pp. 14–16).

Un modèle de simulation multi-agents appliqué en 2013 aux Länder allemands de Rhénanie-du-Nord-Westphalie et de Bavière montre comment les changements dans les régimes de soutien, y compris les tarifs de rachat garantis, peuvent avoir un impact sur la production d'électricité issue des centrales de cogénération au biogaz, initialement le principal type de production en Europe.

Selon le modèle, une réduction de 25 % des paiements de rachat garantis réduirait considérablement la capacité installée des nouvelles centrales, de 22 % dans les deux régions [65] (pp. 54–56).

L'Italie se distingue également par son développement rapide du biogaz, avec une forte expansion du secteur agricole largement propulsée par des dispositifs d'incitation financière. L'introduction d'un tarif de rachat garanti sur quinze ans, parmi les plus élevés d'Europe (0,28 EUR/kWh), a conduit à une augmentation significative du nombre d'unités de production agricole entre 2009 et 2011.

Cependant, ce régime de soutien a provoqué des effets de distorsion du marché en favorisant l'implantation de grandes installations de biogaz et en incitant à l'utilisation de cultures énergétiques (ensilage de maïs et de triticales) par rapport aux effluents d'élevage, intensifiant la concurrence avec les usages agricoles traditionnels et suscitant des préoccupations environnementales.

En réponse à ces déséquilibres, un décret de 2012 a introduit une réforme du système de subventions, visant à favoriser les installations de plus petite taille (< 500 kW) s'appuyant principalement sur les effluents d'élevage.

En ajustant son modèle réglementaire après une phase d'extension rapide, l'Italie a observé des tendances similaires dans les autres pays européens, comme l'Allemagne, qui ont révisé leurs politiques de soutien pour mieux prendre en compte les objectifs environnementaux et agricoles [21].

En Finlande, une étude de la couverture médiatique et de rapports sélectionnés sur le biogaz a souligné la coexistence de deux récits économiques partiellement contradictoires.

D'une part, le biogaz est présenté comme une opportunité d'améliorer la performance économique des exploitations agricoles, notamment grâce aux économies sur les coûts de l'énergie et des engrais.

D'autre part, en raison des coûts d'investissement relativement élevés et des faibles rendements de la production de biogaz, les subventions publiques ont été un facteur clé de mise en œuvre [55] (pp. 6–7).

Par exemple, les producteurs laitiers qui auraient pu se tourner vers le biogaz pour améliorer leurs rendements et optimiser l'utilisation des tourbières ont déclaré évaluer les risques comme étant trop élevés pour un agriculteur individuel en l'absence de soutien public [64] (pp. 108–110).

Les recherches sur le rôle des incitations montrent systématiquement que les revenus du biogaz dépendent fortement des subventions et des tarifs de rachat garantis, rendant les agriculteurs dépendants des politiques publiques.

Ceci soulève évidemment la question de la viabilité économique à long terme des installations de biogaz agricoles, alors que les régimes de soutien sont en cours de réajustement. La volatilité des politiques publiques est un facteur d'incertitude pour les agriculteurs, qui doivent envisager d'éventuels ajustements des subventions ou des réaffectations de financements à d'autres secteurs énergétiques dans leurs stratégies [29].

Il existe de nombreux exemples de cela.

Un aperçu du biogaz agricole en Pologne, quinze ans après la construction de la première usine en 2005, montre que le développement est entravé par un cadre juridique restrictif et en constante évolution.

Les investisseurs sont confrontés à la fois à des obstacles juridiques (tels que la classification du digestat) et à des défis économiques en l'absence de politiques de soutien et de tarifs de rachat garantis [51].

Cette situation persiste malgré le fort potentiel du pays : le secteur agricole émet des niveaux élevés de gaz à effet de serre, en particulier en raison de l'élevage, et 80 % de l'énergie provient encore de sources non renouvelables [62] (pp. 1–2).

Des raisons similaires ont été avancées pour expliquer le sous-développement du secteur du biogaz en Roumanie : en 2020, la capacité installée des projets de biogaz représentait environ 0,002 % de la capacité installée totale des projets basés sur les énergies renouvelables, malgré un potentiel élevé pour la biomasse et la place importante de l'agriculture dans l'économie. Les obstacles cités concernent d'abord l'instabilité du cadre juridique (et l'absence de législation spécifique pour le biogaz par opposition aux autres énergies renouvelables) et des systèmes de soutien, ce qui rend les banques d'autant plus réticentes à investir [57].

3.3.3. L'avenir du biogaz : vers un modèle de réseau énergétique mondial ?

Face à cette dépendance aux aides publiques, deux pistes d'avenir ont été tracées. Elles supposent toutes deux une diminution des subventions, que l'approche soit industrielle et mondiale ou agricole et locale.

Premièrement, l'harmonisation croissante des politiques de soutien à travers l'Europe peut être interprétée comme la preuve d'une évolution vers des réseaux de biogaz plus complexes et géographiquement étendus, illustrée par le développement de systèmes de cogénération connectés au réseau énergétique et par l'injection de biométhane dans le réseau de gaz (inter)national.

Moi émet l'hypothèse d'un « paradoxe de gouvernance » concernant la réduction attendue de la régulation étatique.

Dans le modèle territorialisé actuel, il est possible d'intervenir directement dans le secteur du biogaz, car les projets sont principalement développés au niveau étatique ou régional. Les choses seront plus complexes en cas d'évolution vers un modèle mondialisé avec le biométhane, même si le rôle croissant des grands acteurs industriels justifierait davantage de régulation, notamment en termes de durabilité [5] (pp. 11, 16).

Deuxièmement, les acteurs locaux reconnaissent qu'ils dépendent de réglementations publiques (cadres juridiques et subventions) qui sont susceptibles d'évoluer.

En Europe occidentale comme en Europe centrale, l'essor du biogaz observé dans certains États semble s'être atténué, parallèlement à la baisse des tarifs de rachat garantis.

En République tchèque, par exemple, le biogaz est redevenu une niche agricole une fois les subventions publiques supprimées [2].

Les agriculteurs sont alors confrontés à une transition d'un modèle basé sur des incitations publiques directes vers un modèle économique plus autosuffisant, (i) mettant l'accent sur la coopération et l'implication des acteurs locaux dans la prise de décision, et (ii) basé principalement sur la valorisation énergétique des résidus agricoles locaux et des déchets ménagers, en contradiction avec le modèle industriel de production d'intrants et de biométhane [47] (pp. 369, 377).

L'avenir de la filière biogaz en devenir est incertain.

L'évolution des cadres de soutien et la montée en puissance des grands acteurs industriels remettent en question la capacité des agriculteurs à conserver leur rôle central et à peser sur les orientations stratégiques.

La diversification des modèles économiques et l'industrialisation croissante du biogaz, même dans sa version agricole, ont entraîné une redistribution du pouvoir entre agriculteurs, industriels et investisseurs extérieurs.

Alors que la filière s'éloigne progressivement de ses racines agricoles pour s'intégrer à des réseaux énergétiques plus larges, la question de la captation de la valeur ajoutée est devenue centrale pour les agriculteurs [30] (p. 60).

4. Discussion : Dans quelle mesure les chaînes d'approvisionnement en biogaz sont-elles viables en Europe ?

Les résultats précédents soulèvent la question de savoir si les filières d'approvisionnement en biogaz et en biométhane sont viables en Europe pour les agriculteurs impliqués dans la digestion anaérobie ([Section 4.1](#)) et plus largement, si elles contribuent au développement local des zones rurales dans lesquelles sont implantées les unités de digestion anaérobie ([Section 4.2](#)).

4.1. Dans quelle mesure la digestion anaérobie est-elle viable pour les agriculteurs ?

4.1.1. Le biogaz initialement perçu comme une opportunité économique par les agriculteurs

Si la méthanisation est régulièrement présentée comme un levier de transition énergétique et de valorisation des ressources organiques (voir [33], par exemple), son principal attrait pour les agriculteurs repose sur une logique économique, c'est-à-dire le fait qu'elle constitue une source de revenus complémentaires ou qu'elle puisse sécuriser la rentabilité de leurs exploitations.

S'appuyant sur une enquête menée dans l'Ouest de la France, Amand et al. soutiennent que les agriculteurs considèrent principalement la production d'énergie renouvelable comme une opportunité d'augmenter ou de stabiliser leurs revenus grâce à la diversification de leurs sources de financement.

Selon eux, cette évolution s'inscrit dans le paradigme productiviste, puisque, plutôt que de rompre avec ce modèle, la méthanisation offre une nouvelle niche d'accumulation de capital, assurant une meilleure résilience économique face aux aléas du marché agricole [12].

Ces motivations sont confirmées par une enquête menée en Suisse en 2019, à une époque où les agriculteurs étaient encore relativement peu engagés dans la pratique, en utilisant une expérience de choix discret et une modélisation multi-agents.

Les résultats ont montré que les agriculteurs étaient principalement motivés par le revenu supplémentaire à tirer de l'énergie produite et privilégiaient les petits digesteurs de fumier à la ferme. Une augmentation de 0,10 CHF/kWh du revenu énergétique (par rapport au prix alors de 0,45 CHF/kWh) conduirait à la construction de 10 installations de biogaz supplémentaires (soit +10 %) en utilisant le fumier de 4285 unités de bétail supplémentaires, tandis que la disponibilité de co-substrats pour la digestion semblait avoir des effets moins visibles [45].

En Pologne, les développeurs de digesteurs ont également déclaré que leur principale motivation était la rentabilité économique de l'activité, en raison des programmes de soutien de l'Union européenne, des perspectives encourageantes de développement des énergies renouvelables en Pologne et des tendances mondiales favorables [51].

4.1.2. Obstacles à la rentabilité dans la pratique

Face à ces attentes, plusieurs obstacles à la rentabilité apparaissent. Premièrement, d'un point de vue économique, les installations de biogaz nécessitent des coûts d'investissement élevés, notamment le coût de construction du digesteur, l'achat des équipements nécessaires, le recrutement du personnel technique et le transport des intrants, auxquels peuvent s'ajouter les coûts de gestion et de maintenance des unités. Deuxièmement, le biogaz est plus cher que le gaz naturel, ce qui peut dissuader les utilisateurs finaux soucieux de payer plus cher [8] (pp. 5–6).

Les faibles profits à tirer des technologies de biogaz sont régulièrement pointés du doigt. Par exemple, en Finlande, l'une des conséquences est que la production de biogaz est restée très limitée par rapport aux autres énergies renouvelables. Alors qu'en 2016, 40 % de l'énergie consommée provenait de sources renouvelables, la part du biogaz est restée très faible, à environ 0,5 % de toute l'énergie renouvelable produite. De plus, seulement 0,6 % du biogaz provenait de digesteurs à la ferme [54] (pp. 4, 8). De même, en Suède, les unités de digestion anaérobie à la ferme sont confrontées à des problèmes de rentabilité, ce qui conduit les agriculteurs à redéfinir leurs modèles économiques : la rentabilité à long terme restant leur objectif principal, ils jugent parfois nécessaire de s'engager dans des partenariats public-privé [52] (p. 29-25).

Évaluer la viabilité économique d'un projet de méthanisation nécessite précisément de disposer d'un modèle économique clair. Couturier, expert au sein du cabinet de conseil Solagro, a fourni une analyse détaillée des structures de coûts et de revenus des projets de méthanisation. Bien qu'ancrés dans le contexte français, les composantes et typologies du modèle économique qu'il a identifiées sont utiles pour une réflexion plus large sur la viabilité des projets. Les revenus proviennent principalement de la vente d'énergie (électricité, chaleur ou biométhane), et peuvent être complétés par des redevances d'élimination des déchets ou des économies d'engrais.

D'autre part, les dépenses comprennent les « dépenses d'investissement » (construction et équipement) et les « dépenses d'exploitation » (coûts de fonctionnement, maintenance des installations, etc.). Les projets collectifs ont une structure encore plus complexe, car ils

impliquent une gestion collective des flux de matière organique et des plans d'épandage collectifs.

Ils doivent donc répondre à des contraintes logistiques et foncières plus importantes, nécessitant des coûts d'investissement importants, pouvant atteindre plusieurs millions d'euros. Ils nécessitent également des compétences spécifiques en ingénierie financière et en gestion de projet, ainsi que des sources de financement extérieures au secteur agricole [27].

4.1.3. Passage de la cogénération à l'injection

Par conséquent, les profits ne sont jamais garantis, compte tenu des dépenses d'investissement et d'exploitation élevées impliquées, ainsi que de la dépendance des agriculteurs aux programmes de soutien. Les chiffres sont éloquentes : en 2018, sur les 250 unités de méthanisation à la ferme en activité en France, un tiers n'aurait pas réalisé de bénéfices et aurait même généré des pertes financières, principalement en raison de coûts d'exploitation plus élevés que prévu et d'incertitudes sur l'utilisation possible de l'énergie produite.

À cela s'ajoutent des défauts techniques résultant de l'adaptation imparfaite des technologies importées : les technologies de méthanisation ont souvent été importées d'Allemagne alors qu'elles ne correspondent pas pleinement aux spécificités de l'agriculture d'un autre pays [24] (p. 165).

Ces préoccupations concernant la rentabilité économique peuvent expliquer le fait que les unités de cogénération perdent du terrain en Europe, tandis que l'injection dans le réseau de gaz devient la méthode privilégiée pour la valorisation énergétique. L'évolution de la digestion anaérobie depuis les années 1990 en Allemagne, où les systèmes de cogénération prédominaient initialement, fournit une illustration frappante de cette tendance. Pendant la période de forte croissance économique entre 2000 et 2012, les coûts de production d'électricité à partir de biogaz sont restés élevés par rapport à d'autres énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, tandis que la chaleur produite était souvent incomplètement utilisée, en particulier dans les zones rurales.

Des changements réglementaires ont été introduits à partir de 2012, ce qui a eu pour conséquence que la production d'électricité à partir de biogaz dans les unités de cogénération n'est plus rentable ; la valorisation du biogaz en biométhane a été identifiée comme une alternative [7] (pp. 3–4).

Des évolutions similaires peuvent être observées au Danemark, pays leader dans le développement du secteur du biométhane en Europe. L'Italie a également adopté un décret en mars 2018 prévoyant de nouvelles incitations à la production de biométhane et au développement de biocarburants utilisés dans les transports [7] (p. 5).

En France, on observe une transition comparable des systèmes de production de chaleur et d'électricité vers l'injection de biométhane. Cette transition a été encouragée par la révision des dispositifs de soutien : si la cogénération prévalait largement avant 2010, des incitations au passage à l'injection de biométhane ont été introduites en 2011 et 2014, avec des tarifs de rachat garantis du biométhane.

De 2016 à 2017, les tarifs de rachat de l'électricité produite par les unités de cogénération et de méthanisation ont été abaissés, tandis que les tarifs de rachat du biométhane sont restés attractifs, encourageant de nouveaux projets. Cette évolution a incité les agriculteurs impliqués dans des projets de méthanisation à redéfinir leurs modèles économiques, en particulier ceux

qui travaillent dans des unités de plus grande taille bénéficiant d'un accès plus facile aux infrastructures de gaz.

Depuis 2018, l'injection est progressivement devenue le modèle dominant, entraînant une professionnalisation accrue du secteur et un recours croissant à des prestataires externes pour la maintenance et l'exploitation des unités.

Néanmoins, cette transition technologique n'a pas résolu toutes les difficultés rencontrées par les agriculteurs : l'injection nécessite des coûts de raccordement élevés et dépend de la capacité des réseaux de gaz existants à accueillir l'injection de nouveaux volumes de biométhane, tandis que la concentration de la filière autour de grandes unités pose des questions d'accès équitable à ces nouvelles opportunités [30].

Comme le montre également l'Autriche, cette évolution générale est liée aux éléments suivants : (i) une perte de confiance dans le « récit des agriculteurs énergétiques » : il n'y a plus de réelle croyance dans l'idée qu'il est possible de créer un marché alternatif pour les produits agricoles en produisant de l'électricité à partir de cultures énergétiques ; (ii) l'évolution des prix agricoles et l'accent croissant mis sur la nécessité de réduire les émissions de carbone et (iii) la promotion de la production de biométhane par l'industrie gazière, qui est devenue un acteur clé [53] (pp. 7–14).

La filière biogaz a dû faire face à un véritable changement de paradigme : alors qu'elle reposait initialement sur des tarifs de rachat élevés et une production locale d'électricité par cogénération, elle adopte aujourd'hui un nouveau modèle, le biogaz étant davantage transformé en biométhane [7]. Ceci, à son tour, rend nécessaire de reconsidérer les bénéfices locaux à tirer de l'installation d'usines de digestion anaérobie.

4.2. La digestion anaérobie à la ferme contribue-t-elle au développement rural local ?

4.2.1. Racines territoriales vs. transition énergétique mondiale

Contrairement aux biocarburants liquides, les unités de biogaz sont fortement ancrées dans le territoire et indissociables des agriculteurs qui les exploitent.

Elles sont ancrées dans des territoires spécifiques et peuvent être très différentes d'un endroit à l'autre en termes de taille, d'organisation, de structure de coûts, de méthodes d'exploitation ou de normes.

On peut se demander si ces spécificités locales perdureront ou si les unités de biogaz se standardiseront grâce à la construction d'une chaîne d'approvisionnement en biogaz, comme cela a été le cas dans d'autres secteurs des énergies renouvelables. Mol estime que la seconde option est plus probable, avec une transition de systèmes locaux indépendants vers des réseaux intégrés plus complexes et plus étendus, comprenant des unités de production à plus grande échelle utilisant des méthodes industrielles et produisant du biogaz pour alimenter le système énergétique mondial [5] (p. 14).

Les préoccupations relatives à la rentabilité économique poussent donc le secteur à s'aligner sur les objectifs de transition énergétique plutôt qu'à privilégier le développement local.

Dans un modèle énergétique centralisé, les zones rurales fournissent des ressources naturelles pour les infrastructures énergétiques à grande échelle, tandis que, dans un modèle décentralisé, elles jouent un rôle clé dans la production énergétique locale, les exploitations agricoles s'impliquant dans une stratégie régionale de sobriété énergétique. Une étude menée en Allemagne a montré que les changements du paysage suscitent différents types de réactions : certains voient la méthanisation comme un levier de modernisation locale, tandis que d'autres

considèrent que les unités de biogaz introduisent des éléments artificiels dans l'espace rural et entraînent une perte d'identité [[23](#)].

Ces opinions divergentes montrent que la réception des installations énergétiques par les habitants est inextricablement liée à leurs perceptions du paysage local et de son évolution. On peut se référer à la notion de « biodiversité anthropisée », c'est-à-dire le fait que l'environnement local soit investi d'une valeur sentimentale et patrimoniale, souvent en contradiction avec la logique productiviste associée à la méthanisation et avec les reconfigurations territoriales induites par la transition énergétique [[37](#)].

4.2.2. Justice sociale et répartition inégale des bénéfices du biogaz

Le problème est que la recherche de rentabilité risque d'entraîner une préférence pour des projets centralisés et de grande envergure plutôt que pour ceux existants.

L'échec d'un tel projet dans la vallée de Trente, en Italie, suite aux protestations des petits agriculteurs et des résidents, montre que les projets de digestion anaérobie ne sont pas nécessairement perçus comme compatibles avec le développement rural local.

Les manifestants ont exprimé des inquiétudes quant à la perturbation potentielle de l'agriculture locale, à l'augmentation du trafic de poids lourds et à l'impact négatif que cela aurait sur le tourisme.

Ces perceptions négatives s'ajoutent à d'autres arguments concernant le manque de justice distributive [[56](#)].

La comparaison avec le cas étudié par Camguilhem en Midi-Pyrénées (France) suggère que ce type de contestation n'est pas spécifique à un contexte national particulier mais illustre plus généralement les débats publics qui se développent autour de la transition énergétique. Le projet étudié était porté par quatre chefs d'entreprise locaux extérieurs au secteur agricole, ce qui suffisait à rallier une opposition. Le rejet du projet ne s'expliquait pas seulement par des préoccupations technologiques ou environnementales (nuisances possibles, approvisionnement en intrants, etc.) mais aussi par des doutes exprimés quant à la légitimité des acteurs impliqués. Les habitants ont exprimé leur sentiment d'insatisfaction générale face à des projets qu'ils considéraient comme imposés de l'extérieur [[24](#)] (pp. 166–169).

Il est intéressant d'examiner le rôle que la digestion anaérobie peut jouer dans le développement des régions rurales reculées des États européens postcommunistes. En Pologne, en Slovaquie et en République tchèque, on s'attend à ce qu'elle apporte des ressources financières (impôts, nouvelles sources de revenus pour la commune où l'usine est située) mais aussi des effets positifs locaux plus larges, tels que la stimulation du dynamisme local, le développement des infrastructures, la création de nouveaux emplois, le soutien aux initiatives culturelles et sportives et la fourniture d'énergie, en particulier de chaleur produite par les unités de cogénération. À cet égard, la perception des résidents des fournisseurs d'énergie joue un rôle clé dans leur soutien ou non à un projet, en fonction de leur vision des coûts et des avantages à en tirer. Des différences significatives peuvent exister selon la situation locale. En Slovaquie, des critiques très négatives ont été adressées à un projet considéré comme ne bénéficiant qu'aux propriétaires [[47](#)] (pp. 374–377).

La question plus large est de savoir comment garantir que la transition énergétique soit « équitable ».

Une étude menée en Italie, portant sur 114 projets de biogaz, donne matière à réflexion sur la perception de l'équité.

Si des inquiétudes ont été soulevées concernant les impacts environnementaux (sur la qualité de l'air, de l'eau ou des sols), les risques sanitaires, l'incertitude politique, les perturbations économiques et le manque de connaissances technologiques et scientifiques, le problème le plus important était d'ordre social.

Ce qui a été considéré comme fondamentalement « injuste » était la participation marginale des petits et moyens agriculteurs, notamment par rapport aux acteurs privés.

En Italie, en effet, les politiques favorisant la production de biogaz ont principalement bénéficié aux grandes installations situées dans le nord du pays, provoquant d'importantes disparités régionales [42].

En France, Mazaud et Pierre étudient également les conditions dans lesquelles la transition énergétique peut offrir aux habitants des zones rurales des opportunités de développer des initiatives locales et de se réappropriier les ressources locales. Ils se concentrent sur une « zone à énergie positive », où agriculteurs, élus et habitants locaux sont engagés dans des projets collectifs d'énergie solaire, d'énergie éolienne et de méthanisation. L'étude révèle l'existence de luttes de pouvoir internes conditionnant l'accès des parties aux bénéfices. La majeure partie des revenus économiques tombe entre les mains d'un groupe restreint d'opérateurs, disposant de suffisamment de ressources pour investir et s'organiser. Ils occupent souvent des postes syndicaux ou politiques locaux, ce qui leur permet d'influencer les politiques énergétiques régionales et d'orienter les décisions dans leur intérêt.

Le cas local montre qu'il est nécessaire de prêter attention à la fois à la répartition des bénéfices et aux modes de gouvernance donnant accès aux ressources collectives et au pouvoir de décision [35].

4.2.3. Conflits d'utilisation des terres dans le contexte du développement du biogaz

Un point de discordance réside dans la nature nécessairement limitée des ressources : l'utilisation à grande échelle de la bioénergie a intensifié la concurrence pour l'utilisation des terres ainsi que pour la biomasse disponible.

Plusieurs études en sciences sociales ont été menées sur la question depuis les débuts de la digestion anaérobie. En 2005, une étude menée en Espagne s'est penchée sur le risque que les terres soient principalement consacrées à la production de cultures énergétiques plutôt qu'à la production alimentaire [39].

En Allemagne, la bioénergie semble aller de pair avec le développement rural et la création d'emplois : jusqu'à 29 000 personnes étaient employées dans le secteur en 2004. Pourtant, la croissance du secteur a été alimentée par une production intensive de cultures énergétiques, ou une « maïsification du paysage ». La production intensive de maïs, qui a couvert jusqu'à 2,1 millions d'hectares dans les années 2000, a eu des impacts négatifs importants, tels que la dégradation des sols, l'utilisation de pesticides, la perte de biodiversité, une consommation d'eau accrue, etc. [7] (p. 3).

Concrètement, Vue et Garambois ont observé dans le Bade-Wurtemberg une différenciation croissante entre les exploitations ayant conservé une activité laitière en combinant

méthanisation et élevage bovin, et celles ayant abandonné l'élevage laitier pour se spécialiser dans la production de cultures énergétiques. La structure territoriale s'est considérablement transformée au cours du processus, avec les observations suivantes :

1. Pression foncière accrue, accentuée par la concurrence entre production alimentaire et production de cultures énergétiques ;
2. Modifications dans la rotation des cultures, avec moins de cultures destinées à la consommation humaine et animale, et plus de maïs et de céréales récoltés pour la digestion anaérobie ;
3. Impacts sociaux, avec un fossé grandissant entre les agriculteurs qui ont pu investir dans la digestion anaérobie et d'autres qui n'ont pas eu accès à de telles opportunités économiques, provoquant de nouvelles formes de pauvreté rurale [40].

Dès 2006, Plieninger et al. insistaient sur la nécessité de différencier les installations de bioénergie en fonction de leur taille : les digesteurs à petite échelle créent plus de valeur ajoutée dans les zones agricoles et rurales que ceux à plus grande échelle [63]. En effet, les biocarburants sont raffinés dans des unités à grande échelle, connectées au marché mondial et la biomasse nécessaire peut être importée de sources éloignées, de sorte que peu de valeur ajoutée est créée pour les zones rurales elles-mêmes.

4.2.4. L'imaginaire rural face à la réalité urbaine et industrielle du biogaz

Parallèlement, les agriculteurs étant pionniers dans ce domaine, le biogaz a tendance à être associé aux zones rurales et au développement local. Pourtant, de telles perceptions sociales peuvent aujourd'hui s'avérer trompeuses.

La Finlande offre un cas limite, et d'autant plus significatif. En raison de son lien perçu avec l'agriculture et la vie rurale, l'opinion publique a tendance à considérer le biogaz comme une source d'énergie décentralisée. De même, le fait que la consommation de biogaz repose fortement sur des réseaux et des infrastructures centralisés et que la majeure partie du biogaz finlandais soit produite dans des installations de relativement grande taille a été occulté. La vision du biogaz comme une ressource énergétique décentralisée a été renforcée par la forte visibilité accordée à la production à petite échelle, à la ferme.

Les agriculteurs ont été surreprésentés comme acteurs clés, compte tenu de la part très limitée de biogaz effectivement produit dans les installations agricoles, soit 3 % de la quantité totale de biogaz produite.

En d'autres termes, alors que dans les médias ou sur les réseaux sociaux, le biogaz est resté associé au développement rural et à la gestion agroenvironnementale, la vérité est qu'en Finlande, la majeure partie du biogaz est produite dans un contexte urbain et industriel, à la suite d'activités de traitement des eaux usées et de gestion des déchets urbains [55].

4. Études de scénarios

L'analyse en sciences sociales que nous avons menée a révélé des éléments et des débats importants, présents dans différents contextes nationaux et régionaux.

Même si des réponses et des priorités différentes peuvent être apportées au fil du temps, il est possible d'identifier un modèle européen de méthanisation à la ferme, caractérisé par :

(i) la primauté accordée aux objectifs de transition énergétique sur les objectifs liés à la transition agricole et écologique ;

et (ii) une tension centrale entre la prééminence accordée aux agriculteurs et aux références locales, d'une part, et un processus de construction de chaînes d'approvisionnement industrielles et la montée en puissance d'un modèle plus mondialisé, d'autre part. Dans ce contexte, comme le résume la [figure 3](#), un nouveau champ d'étude a émergé pour explorer l'avenir de la filière biogaz et identifier des scénarios possibles. Ces études s'articulent autour de quatre axes principaux.

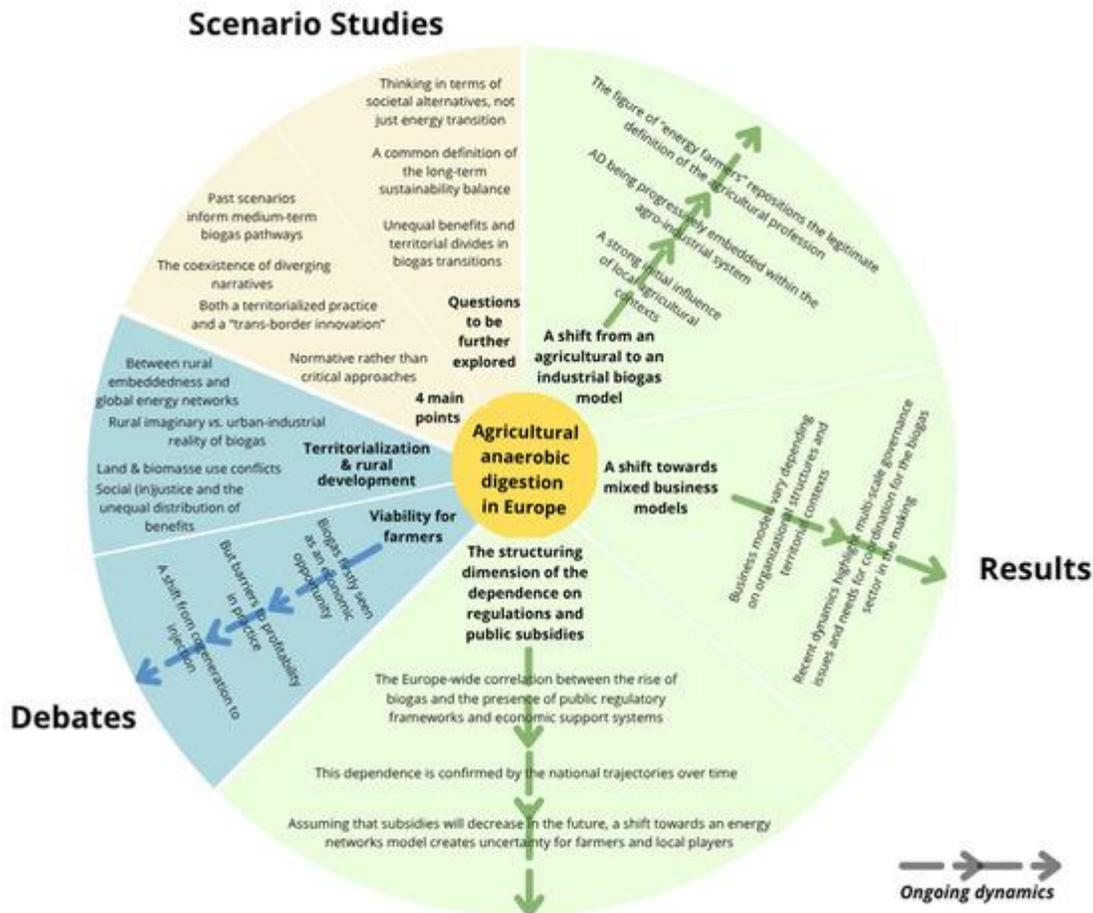


Figure 3. Aperçu : L'organisation et les défis sociaux de la construction d'une chaîne d'approvisionnement en biogaz agricole en Europe en tant que processus évolutifs (© Philippe Hamman et Aude Dziebowski).

5.1. Les scénarios comme recherche-action intégrée : une approche normative plutôt que critique

Avec le développement du secteur, de nombreuses études prospectives ont été consacrées à l'avenir de la méthanisation agricole.

Plutôt que de l'envisager d'un point de vue critique, la plupart d'entre elles se concentrent sur la question de la durabilité en adoptant une vision normative de l'évolution de l'agriculture. Par exemple, Cadiou et al. comparent 16 scénarios possibles de développement du biogaz en France, explorant l'influence de la méthanisation agricole à l'horizon 2030-2050.

Les études utilisent une approche principalement technico-économique, suggérant des solutions technologiques pour garantir des bénéfices agroenvironnementaux et éviter les risques (14 études sur 16) et préconisant de « meilleures pratiques de gestion » (12 études sur 16), basées

sur le revenu supplémentaire que la méthanisation apportera aux agriculteurs ou sur la réduction des coûts d'exploitation [46] (p. 9).

Signe de leur concentration sur les objectifs de transition énergétique, ils accordent une attention particulière aux émissions de gaz à effet de serre : 11 études considèrent la méthanisation comme un levier de réduction des émissions de carbone.

Ils affirment que cela réduira les émissions de biométhane provenant des effluents d'élevage (sept études), limitera les émissions de N₂O (quatre études) ou même diminuera les émissions indirectes liées à l'utilisation d'engrais chimiques puisque les agriculteurs épandront du digestat à la place (une étude).

Cinq autres études soulignent également qu'il y aura moins d'émissions de gaz à effet de serre puisque le biogaz remplacera les combustibles fossiles.

En outre, 12 études examinent également la séquestration du carbone dans le sol. Sept d'entre elles considèrent que la digestion anaérobie augmentera le stockage de carbone grâce à l'utilisation de cultures énergétiques et la séquestration du carbone dans le sol via le chaume, les racines et le digestat.

Les 13 études qui explorent l'impact de la digestion anaérobie sur le cycle de l'azote sont également majoritairement positives.

Huit d'entre elles soutiennent que le principal bénéfice proviendra de la réduction de l'utilisation d'engrais minéraux, en raison des propriétés fertilisantes du digestat.

À un niveau plus détaillé, certaines différences apparaissent néanmoins : alors que trois études indiquent spécifiquement que la digestion anaérobie est un moyen de réduire les émissions de N₂O grâce à l'utilisation de méthodes de fertilisation alternatives, trois autres suggèrent qu'il existe des risques d'augmentation des émissions de N₂O , en particulier si les cultures énergétiques utilisées comme intrants sont fertilisées.

Enfin, les problèmes de qualité de l'eau sont abordés de manière similaire.

Sept études prédisent une réduction de la pollution par les nitrates grâce à l'utilisation de cultures de couverture énergétiques et à la fertilisation du digestat ; deux études soutiennent que la fertilisation des cultures énergétiques avec du digestat présente des risques de pollution de l'eau similaires à la fertilisation avec de l'azote minéral et une étude souligne un risque plus élevé de contamination de l'eau lié à une utilisation croissante d'intrants pour la digestion anaérobie [46].

Le premier constat à tirer d'un point de vue des sciences sociales est donc qu'un grand nombre d'études semblent favorables au développement de la méthanisation.

Une analyse plus précise révèle un lien entre les priorités développées dans les études et les institutions dont elles sont issues.

Les sept études qui s'attardent le moins sur les questions de durabilité agricole proviennent d'institutions liées au secteur énergétique.

Les scénarios qu'elles proposent se concentrent principalement sur la contribution du biogaz à une économie bas carbone, avec des effets positifs attendus pour la transition agricole. En revanche, elles n'accordent que peu d'attention à la coévolution des conditions technologiques et sociales en agriculture, aux effets agro-environnementaux et aux décisions prises par les agriculteurs.

À l'inverse, les trois études les plus approfondies sur la durabilité agro-environnementale ont été rédigées par une entreprise à but non lucratif et une organisation non gouvernementale spécialisées dans les sujets agricoles [46] (p. 10).

5.2. La méthanisation agricole, pratique territorialisée et « innovation transfrontalière »

Alors que la transition énergétique dans le secteur agricole est souvent attendue comme source de bénéfices environnementaux et économiques, Garambois et al. soulignent qu'elle comporte en réalité des paradoxes et des limites qui ne sont pas suffisamment pris en compte. La méthanisation en est un bon exemple : elle est considérée comme faisant partie des stratégies possibles pour parvenir à une économie bas carbone, mais ses effets systémiques sur l'évolution des pratiques agricoles et l'organisation territoriale sont rarement sérieusement documentés.

Selon les auteurs, les études existantes sont biaisées dans la mesure où elles tendent à privilégier une approche technico-économique de la méthanisation principalement guidée par des schémas nationaux et des logiques industrielles, sans pleinement considérer son impact sur la durabilité des systèmes agricoles et alimentaires.

Garambois et al. appellent donc à une approche plus localisée, dans laquelle la méthanisation n'est pas seulement envisagée en termes de production d'énergie mais aussi comme un outil de résilience agricole et environnementale, pleinement lié aux dynamiques locales de gestion des sols, de la biodiversité et des ressources en eau [29].

De plus, de la même manière que les transitions écologique et énergétique nous invitent à reconsidérer notre société tant d'un point de vue politique et socio-économique qu'en termes de rapport à la nature, la digestion anaérobie doit être abordée comme une « innovation transfrontalière », située à la jonction entre les questions liées à la production d'énergie, à la gestion des déchets, à l'agriculture, aux transports et aux carburants [2] (p. 1545). Promouvoir les technologies de conversion des déchets agricoles en ressources nécessite une approche *holistique*, réunissant les questions technologiques et les enjeux économiques, sociaux et écologiques [3].

Lyytimäki et al. soulignent précisément ces intersections lorsqu'ils définissent dix paires de tensions qui caractérisent le développement du secteur du biogaz en Finlande : producteur vs. consommateur, urbain vs. rural, local vs. national, national vs. étranger, centralisé vs. distribué, alimentation vs. énergie, environnement vs. économie, tradition vs. innovation, long terme vs. court terme et privé vs. public.

En complément des études qui se sont jusqu'à présent concentrées sur le rôle des technologies, des institutions et de l'action/manque d'action des parties impliquées dans les transitions vers la durabilité, les auteurs attirent l'attention sur l'influence des dualités conflictuelles – y compris l'influence des perceptions sociales et des images diffusées par les médias – dans la manière dont les priorités sont fixées sur l'agenda énergétique et sur les possibilités de protestation et de négociation, ainsi que d'action ou de non-action [55] (p. 3).

5.3. Le rôle de l'incertitude dans la formation des trajectoires du biogaz

Ce n'est pas tout. Prédire l'évolution du projet reste difficile, en raison de la coexistence de plusieurs horizons temporels qui ne sont pas totalement cohérents. Premièrement, il existe un horizon temporel à long terme, s'étendant de la conception à la mise en œuvre et à la gestion quotidienne. Deuxièmement, un horizon politique plus court, façonné par les cycles électoraux. Troisièmement, un horizon temporel social non linéaire, fluctuant en fonction des acteurs

impliqués, des publics visés et des contextes locaux dans lesquels les usines de méthanisation sont implantées.

Dans ce sens, nous observons l'émergence de trois discours concurrents sur le biométhane en Autriche :

1. Le verdissement du gaz : Dans ce récit, le biométhane se voit attribuer un rôle clé dans la transition énergétique et, à ce titre, la production de biométhane doit être intensifiée dans des installations à grande échelle.
2. « Le champagne de la transition énergétique » : Ce discours exprime des doutes quant à la disponibilité de résidus utilisables en quantité suffisante et des inquiétudes quant aux coûts élevés qu'ils impliquent. La production de biométhane ne peut donc se justifier que s'il n'existe aucune autre stratégie alternative pour passer à une économie bas carbone, et que l'utilisation du maïs comme culture énergétique n'est pas encouragée compte tenu de la concurrence avec les productions alimentaires pour l'utilisation des terres.
3. Le « fermier énergétique 2.0 », associé à la création d'emplois et à l'activité économique locale.

La coexistence de ces récits divergents a rendu impossible l'adoption d'un cadre de réflexion stabilisé – ce qui devrait nous rappeler la nature en constante évolution des fondements socio-technologiques sur lesquels reposent la pensée et l'action [53].

L'étude de la digestion anaérobie nous oriente ainsi vers la profondeur du monde social, c'est pourquoi elle mérite d'être l'objet d'études plus comparatives et multiscalaires en sciences sociales et interdisciplinaires.

5.4. Revoir les scénarios passés pour éclairer les trajectoires de biogaz à moyen terme

Les projections futures ne doivent pas ignorer les leçons du passé : les incertitudes actuelles quant au rôle de la méthanisation dans la transition énergétique durable étaient déjà perceptibles au début des années 1980.

Alors que les chocs pétroliers avaient démontré la nécessité de trouver des sources d'énergie alternatives, Jayet et Sourie cherchaient déjà à évaluer le potentiel de la filière biomasse et de la méthanisation, en tenant compte des éventuels freins économiques et technologiques à son développement.

Ils soulignaient la difficulté d'intégrer ce type de bioénergie au mix énergétique en raison de la concurrence avec les combustibles fossiles, du coût des infrastructures et des défis logistiques liés à la collecte et au stockage des substrats.

Ils avaient suggéré deux scénarios possibles :

(i) un scénario « bas », dans lequel seules les ressources les plus facilement accessibles (bois, paille) seraient exploitées sous forme de biomasse et principalement utilisées pour la récupération de chaleur locale ; et

(ii) un scénario « haut », plus ambitieux, qui considérerait que les avancées technologiques et la hausse du prix des combustibles fossiles rendraient rentable la production à grande échelle de bioénergie, en particulier de biocarburants.

Leurs projections mettaient déjà en évidence les tensions entre la faisabilité technologique, la rentabilité économique et la structure du marché [31].

Une quarantaine d'années plus tard, les scénarios prospectifs d'évolution de la méthanisation s'articulent toujours autour des mêmes enjeux : si les avancées technologiques ont rendu

possible le développement du biométhane et son injection dans les réseaux gaziers, des défis structurels subsistent concernant la disponibilité des substrats et les effets sur les systèmes agricoles et territoriaux.

Ils doivent être reconsidérés aujourd'hui à la lumière des impératifs émergents, à savoir la conciliation des objectifs de transition énergétique, de sécurité alimentaire et de préservation des écosystèmes. L'évolution des cadres politiques et des stratégies industrielles jouera un rôle crucial dans la résolution de ces tensions au cours des prochaines décennies.

5. Perspectives

La littérature en sciences sociales a jusqu'à présent apporté des éclairages précieux sur l'essor de la digestion anaérobie agricole et son rôle dans la transition énergétique en Europe.

Cependant, certaines questions méritent encore d'être approfondies.

6.1. Prise en compte des inégalités de bénéfices et des clivages territoriaux dans la transition vers le biogaz

Premièrement, peu d'attention a été accordée à la répartition des bénéfices et aux inégalités territoriales. Si de nombreuses études ont souligné que les projets de méthanisation tendent à creuser les inégalités économiques entre les exploitations agricoles, peu ont exploré en détail la manière dont les bénéfices sont répartis au niveau local et les mécanismes de captation des profits en jeu. Le rôle des politiques publiques dans l'encouragement du développement de la méthanisation a été largement analysé, mais pas leurs effets différenciés sur les exploitations agricoles et les territoires.

Quels acteurs bénéficient réellement des dispositifs de soutien public et quels modèles agricoles ou énergétiques semblent privilégiés ? Les études existantes ne parviennent pas à mesurer dans quelle mesure les programmes de soutien public pourraient contribuer à rendre l'accès au secteur encore plus inégal et à accélérer la concentration des unités de méthanisation sur certains types d'exploitations ou dans certaines zones géographiques.

6.2. Quels sont les compromis environnementaux et agricoles à long terme ?

Deuxièmement, il pourrait être utile d'accorder une plus grande attention aux effets à long terme de la digestion anaérobie sur l'utilisation des terres et l'évolution des systèmes agricoles. Bien que la concurrence entre cultures vivrières et cultures énergétiques soit depuis longtemps identifiée comme un problème majeur, aucune étude n'a été menée sur l'impact à long terme de la digestion anaérobie sur la rotation des cultures ou sur la résilience des agriculteurs au changement climatique.

Seules quelques études établissent des projections prenant en compte conjointement l'évolution future possible de la digestion anaérobie et d'autres dynamiques d'utilisation des terres et d'agriculture.

Le lien entre la digestion anaérobie et la durabilité environnementale globale a également été trop peu exploré.

Si de nombreuses études soulignent le rôle de la digestion anaérobie dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la valorisation énergétique des effluents bovins, elles n'ont pas accordé la même attention à ses potentiels impacts négatifs : la pression accrue sur les ressources en eau, l'intensification du transport de biomasse et l'impact à long terme de l'épandage du digestat sur la qualité des sols.

6.3. De la transition énergétique aux alternatives sociétales : élargir la perspective

Enfin, les alternatives aux modèles dominants de digestion anaérobie n'ont pas été pleinement évaluées. La littérature s'est concentrée sur l'étude des améliorations possibles des modèles existants et sur la prévision des évolutions industrielles, mais n'a pas beaucoup réfléchi aux scénarios alternatifs susceptibles d'apporter des réponses à certaines des questions soulevées : comment trouver des sources de biomasse alternatives, développer des modèles plus décentralisés et autosuffisants, établir des collaborations avec d'autres secteurs énergétiques, etc.

Des recherches complémentaires en sciences sociales sont nécessaires pour analyser les changements induits par le développement de la filière biogaz/biométhane sur les systèmes agricoles, les territoires et les cadres réglementaires, tout en prenant en compte les tensions et les impacts différenciés sur les acteurs concernés.

Plus qu'une simple contribution à la production d'énergie, la méthanisation s'inscrit dans un processus plus large de redéfinition des systèmes agro-industriels et de la gouvernance environnementale.

Comprendre ses liens avec les transitions écologique, alimentaire et sociale est crucial pour anticiper ses effets à long terme et parvenir à un équilibre entre les objectifs de production d'énergie, de résilience des agriculteurs et de préservation des ressources naturelles.

Matériel supplémentaire

Les informations complémentaires suivantes peuvent être téléchargées à l'adresse suivante : <https://www.mdpi.com/article/10.3390/su17135806/s1> , Tableau S1 : Glossaire des concepts clés liés à la digestion anaérobie agricole et au développement du secteur.

Contributions des auteurs

Conceptualisation, PH et AD; méthodologie, PH et AD; enquête, PH et AD; ressources, PH et AD; rédaction — préparation de l'ébauche originale, PH et AD; rédaction — révision et édition, PH et AD; supervision, PH; administration du projet, PH; acquisition de financement, PH Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement

Cette recherche a été financée par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) dans le cadre des programmes interdisciplinaires soutenus par la Mission d'initiatives transversales et interdisciplinaires (MITI), dans le cadre du projet de recherche 80|Prime METHATIP « Implications socio-environnementales de la méthanisation agricole : Transition énergétique, identités professionnelles et « nouvelles ruralités » » (2022-2025) ; et par l'institut thématique interdisciplinaire Making European Society du programme ITI 2021-2028 (Université de Strasbourg, CNRS, INSERM) dans le cadre du projet MéthAEurope « Énergies renouvelables, territoires et risques : Acteurs et implications comparées de la méthanisation agricole en Europe ». ITI MAKErS a reçu un soutien financier de l'IdEx Unistra (ANR-10-IDEX-0002) et un financement du Programme d'investissements d'avenir dans le cadre des projets SFRI-STRAT'US (ANR-20-SFRI-0012). L'APC a été financée dans le cadre de la chaire industrielle sur les

digesteurs anaérobies en région Grand Est (MERGE) portée par Emmanuel Guillon à l'Université de Reims Champagne Ardenne.

Déclaration du comité d'examen institutionnel

Non applicable.

Déclaration de consentement éclairé

Non applicable.

Déclaration de disponibilité des données

Aucune donnée non publiée n'a été créée dans cette étude. Le partage des données ne s'applique pas à cet article de synthèse.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement Jean-Yves Bart (Maison interuniversitaire des sciences de l'homme — Alsace, France) et Stéphanie Alkofer pour la traduction de cet article.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts.

Références (voir ici)

<https://www.mdpi.com/2071-1050/17/13/5806>