

METHANISATION ET AGRICULTURE BIOLOGIQUE

*Analyse bibliographique et enquêtes auprès des
acteurs des filières*

Rapport final



Pour : GRDF



BORDEREAU DE DONNEES DOCUMENTAIRES

Titre	Méthanisation et Agriculture Biologique
Date de notification	Avril 2021
Commanditaire	GRDF - Vincent JEAN BAPTISTE – Responsable Affaires Agricoles
Adresse	6, rue Condorcet 75009 Paris
Date de réalisation	2022-2024

SUIVI QUALITE

	Rédacteur	Relecteur	Relecteur
Nom	LABOUBEE Céline	REYNAUD Clara	BERGER Sylvaine
Qualité	Cheffe de projet bioénergies	Chargée de projet Méthanisation	Responsable Activité Bioéconomie
Organisme	Solagro	Solagro	Solagro
Date	29/07/2022	01/08/2022	20/12/2024

SOMMAIRE

1	Introduction	7
1.1	Contexte	7
1.2	Méthode.....	7
2	Phase 1 : Analyse Bibliographique	8
2.1	Typologie des documents analysés	8
2.2	Etat des lieux des filières France et Europe.....	9
	2.2.1 L'Agriculture Biologique	9
	2.2.2 La filière méthanisation	13
2.3	Méthanisation et AB : la réglementation.....	19
	2.3.1 Principe.....	19
	2.3.2 Compatibilité des matières entrantes avec l'AB	19
	2.3.3 Procédures de certification des intrants valorisables en agriculture biologique	20
	2.3.4 Réglementation en Europe	20
2.4	Impact de la méthanisation.....	22
	2.4.1 Sur la fertilisation.....	22
	2.4.2 Sur les rendements	25
	2.4.3 Sur la qualité des productions.....	27
	2.4.4 Sur les adventices et germes pathogènes	28
	2.4.5 Sur les ravageurs	29
	2.4.6 Sur la concurrence fourragère	29
	2.4.7 Sur les GES.....	29
	2.4.8 Sur la MO du sol.....	31
	2.4.9 Sur l'économie des méthaniseurs et des fermes.....	33
2.5	Matrice des capacités de l'analyse bibliographique.....	34
3	Phase 2 : Enquête d'acteurs	36
3.1	Retour d'enquêtes des acteurs de la filière bio et méthanisation.....	38
	3.1.1 Université de Kassel en Allemagne	38
	3.1.2 L'INAO : Institut National de l'Origine et de la qualité	39
	3.1.3 Agrobio 35	39
	3.1.4 La FNAB	40
	3.1.5 ECOZEPT.....	41
	3.1.6 ACE Méthanisation.....	41
	3.1.7 CRPA (Centre de Recherche Italien de la production animale).....	42
3.2	Retour d'enquêtes des agriculteurs français bio et méthaniseurs	43
	3.2.1 Le panel enquêté.....	43
	3.2.2 Le contenu de l'enquête.....	45
	3.2.3 Les résultats de l'enquête	46
3.3	La matrice des capacités des retours terrains des acteurs français	48
4	Développement de l'agriculture biologique et de la méthanisation : quels freins ?	51
4.1	Freins liés à la filière méthanisation	52
4.2	Freins liés à la filière AB	53

5	Conclusion	54
6	Annexes	56
6.1	Annexe 1 : Base De Données bibliographiques	56
6.2	Annexe 2 : Réglementation Métha&AB : Cas particuliers des mélanges compostés ou fermentés de déchets ménagers	61
6.3	Annexe 3 : Informations sur l'enquête des agriculteurs allemands méthaniseurs en agriculture biologique	63
6.4	Annexe 4 : Quelles CIVE en AB en Allemagne ?	65
	6.4.1 Les espèces	65
	6.4.2 La place dans la rotation	66
	6.4.3 Du semis au stockage	66
	6.4.4 Méthanisation d'intercultures en système bio : atouts et menaces	68

FIGURES

Figure 1 : Classement des documents bibliographiques selon plusieurs items (Source : Solagro)	8
Figure 2: Superficies cultivées en bio et nombre d'exploitations bio dans l'Union Européenne en 2019/2020	9
Figure 3: Superficies cultivées en bio et part dans le territoire agricole dans chaque pays de l'UE en 2019	10
Figure 4: Part des surfaces cultivées en bio qui étaient en conversion en 2019	11
Figure 5 : Production combinée de biogaz et de biométhane par Pays, Top 15 des pays européens	13
<i>Figure 6 : Évolution de la puissance de cogénération des unités de méthanisation allemandes, portées par des fermes bio, entre 2000 et 2015 (Blumenstein B et al, 2015) - DOC 6</i>	14
Figure 7 : Approvisionnement type des unités de méthanisation allemandes, portées par des fermes bio, selon la puissance du moteur de cogénération (Blumenstein B et al, 2015) - DOC 6	16
Figure 8 : SAU moyenne des fermes bio allemandes avec unité de méthanisation, selon la puissance de cogénération installée (Blumenstein B et al, 2015) - DOC 6	16
Figure 9 : Impact de la méthanisation sur le cycle de l'azote, selon système de production (Source : Möller et al., [Doc 26])	23
Figure 10 : Description des 10 rotations analysées pour mesurer l'impact de la méthanisation sur le carbone du sol (Karin et al., 2021 - [Doc 39])	31
Figure 11 : Matrice des capacités de l'analyse bibliographique (source : SOLAGRO)	35
Figure 12 : liste des acteurs enquêtés (Source : Solagro)	36
Figure 13 : Matrice des capacités vierge (source : Solagro)	37
Figure 14 : liste des acteurs enquêtés (Source : Solagro)	38
Figure 15 : Liste des agriculteurs bio et méthaniseurs contactés dans le cadre de l'enquête (Source : Solagro)	43
Figure 16 : description du panel d'unités de méthanisation enquêtées (Source Solagro)	44
Figure 17 : Description des fermes bio enquêtées (Source : Solagro)	45
Figure 18 : Motivations des agriculteurs bio français à participer à un projet de méthanisation (Source : Solagro)	46
Figure 19 : Typologie des entretiens ayant permis l'élaboration de la matrice des capacités (Source : Solagro)	49
<i>Figure 20 : Matrice des capacités des retours d'acteurs bio et méthaniseurs français (Source : Solagro)</i>	49
Figure 21 : Principales raisons qui incitent les agriculteurs allemands à investir dans une unité de méthanisation (Blumenstein B et al – 2015)	64
Figure 22 : quantité de P ₂ O ₅ , k ₂ O et MgO exportée par une récolte à haut rendement selon différentes espèces	67

ACRONYMES

AB	Agriculture biologique
ACV	Analyse du cycle de vie
AFOM	Méthode "Atouts - Faiblesse - Opportunité - Menace"
BDD	Base de données
BIO	Agriculture biologique
CH4	Méthane
CIPAN	Culture intermédiaire piège à nitrate
CIVE	Culture intermédiaire à vocation énergétique
CNAB	Comité national d'agriculture biologique
COS	Carbone organique du sol
FNAB	Fédération nationale pour l'agriculture biologique
FRAB	Fédération régionale pour l'agriculture biologique
GAB	Groupements Agriculture Biologique
GES	Gaz à effet de serre
GRDF	Gaz réseau distribution france
Ha	Hectare
INAO	Institut national de l'origine et de la qualité
ITAB	Institut de l'agriculture et de l'alimentation biologique
K	Potassium
K20	Oxyde de Potassium
MgO	Oxyde de Magnésium
MO	Matière Organique
MS	Matière sèche
N	Azote
N2	Diazote
N2O	Monoxyde de diazote ou protoxyde d'azote
OTEX	Orientation technico économique des exploitations
P	Phosphore
P2O5	Pentoxyde de phosphore
PRO	Produit résiduaire organique
SAU	Surface agricole utile
TWh	Térawattheure
UAB	Utilisable en Agriculture Biologique
UE	Union européenne
UGB	Unité gros bétail
UN/ha	Unité d'azote par hectare
UTH	Unité de travail humain

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La méthanisation agricole connaît une dynamique de développement particulièrement soutenue en France ces dernières années, atteignant ainsi un nombre d'installations agricoles de plus de 1000 en 2022.

Parallèlement, le développement de l'agriculture biologique est en croissance malgré un ralentissement en 2022, avec +3,5% de producteurs supplémentaires et +2,7% des surfaces engagées cette année-là. Au total, 60 483 fermes sont engagées en bio fin 2022 pour une superficie de 2,88 millions d'hectares, soit 10,7 % de la SAU totale française (Agence Bio – Chiffres clés 2022).

Agriculture biologique et méthanisation ont des objectifs de développement ambitieux, toutes deux sont confrontées au défi du passage à l'échelle et de la massification.

Ces deux filières en croissance ont-elles des points communs ? Quelles sont leurs relations ? La présente étude a pour ambition d'objectiver les synergies, les verrous techniques éventuels et les leviers, en vue d'une association bénéfique à chacune.

1.2 Méthode

Le projet s'est déroulé en 4 phases consécutives entre 2021 et 2023.

- **Phase 1** : Analyse des données bibliographiques nationales et internationales :
 - o Objectif : Identifier dans la littérature disponible les synergies et les verrous potentiels au codéveloppement des deux filières ;
- **Phase 2** : 15 enquêtes auprès des acteurs des filières agriculture biologique et méthanisation, dont 9 agriculteurs méthaniseurs convertis en agriculture biologique avant, pendant ou après la mise en place du projet méthanisation :
 - o Objectif : Affirmer ou infirmer les résultats bibliographiques, par des retours d'expérience de méthaniseurs français par une matrice des capacités / Identifier de nouveaux axes de réflexion qui n'auraient pas été identifiés lors de l'analyse bibliographique ;
- **Phase 3** : Analyse des freins et de chacune des 2 filières :
 - o Objectif : Élaborer une vision partagée par l'ensemble des acteurs enquêtés afin d'identifier les perspectives de développement de la méthanisation en agriculture biologique ;
- **Phase 4** : Webinaire de diffusion des résultats ;
 - o Objectif : Partager l'information au plus grand nombre d'acteurs de la filière.

2 PHASE 1 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Typologie des documents analysés

L'analyse bibliographique s'est portée sur 65 documents, recensés dans une base de données (Annexe 1) et ayant fait l'objet d'une fiche de synthèse (Annexe 2).

L'analyse des documents porte sur :

- l'impact de la méthanisation sur l'environnement : émissions gaz à effet de serre (GES), cycle N, P et K, impact du digestat sur la MO et les adventices.
- l'impact du digestat sur les cultures principales, majoritairement sur le rendement de ces cultures,
- l'impact de la méthanisation sur l'économie des fermes bio.

Les documents analysés sont essentiellement (49/65) d'origine allemande ou française. Ils sont pour l'essentiel (49/65) des articles scientifiques ou des articles de presse. 26 ont été publiés avant 2015, et 38 après 2015.

Sur une échelle de 1 à 5, 41 documents présentent un intérêt supérieur ou égal à 3.

La robustesse des résultats mentionnés dans chaque document a été notée selon une échelle à 5 niveaux, allant de « panel faible avec résultats faibles » à « panel important avec résultats forts ».

23 documents sont concernés par « un panel fort avec résultats importants », cela concerne essentiellement des publications allemandes qui ont été publiées sur la base d'une enquête annuelle des unités de méthanisation en agriculture bio (panel de 100 à 120 répondants selon les années, sur un nombre total d'unités en fonctionnement de 160 à 180).

Date		Origine		Type	
2007 – 2009	11	Allemagne	35	Article de presse	12
2010 - 2014	15	Autriche	2	Article scientifique	37
2015 - 2019	27	Belgique	2	Rapport	5
2020 - 2021	11	Danemark	6	Site web	0
		France	14	Présentation	5
		Autre	5		

Intérêt du document		Robustesse des résultats		Thématiques abordées	
*	11	panel important résultats forts	23	Cultures Principales	19
**	12	panel important résultats faibles	0	Cultures intermédiaires	9
***	21	panel moyen résultats moyens	4	Digestat	17
****	16	Panel faible résultats forts	13	Environnement	46
*****	4	Panel faible résultats faibles	10	Bien-être Animal	3
				Economie de la ferme	20
				Impacts sociétaux	1

Figure 1 : Classement des documents bibliographiques selon plusieurs items (Source : Solagro)

2.2 Etat des lieux des filières France et Europe

2.2.1 L'Agriculture Biologique

2.2.1.1 Surfaces en AB par pays

Les surfaces cultivées en agriculture biologique dans l'UE ont progressé de 6,3 % en 2019, approchant 14,7 millions d'hectares. L'agriculture biologique représentait environ 8,1 % de la SAU européenne en 2019. Fin 2019, 343 605 exploitations agricoles en agriculture biologique étaient recensées dans l'UE, soit une hausse de 5,4 % par rapport à 2018.

En 2020, d'après les premières estimations, plus de 354 000 fermes en agriculture biologique cultivaient plus de 15,3 millions d'hectares dans l'UE.

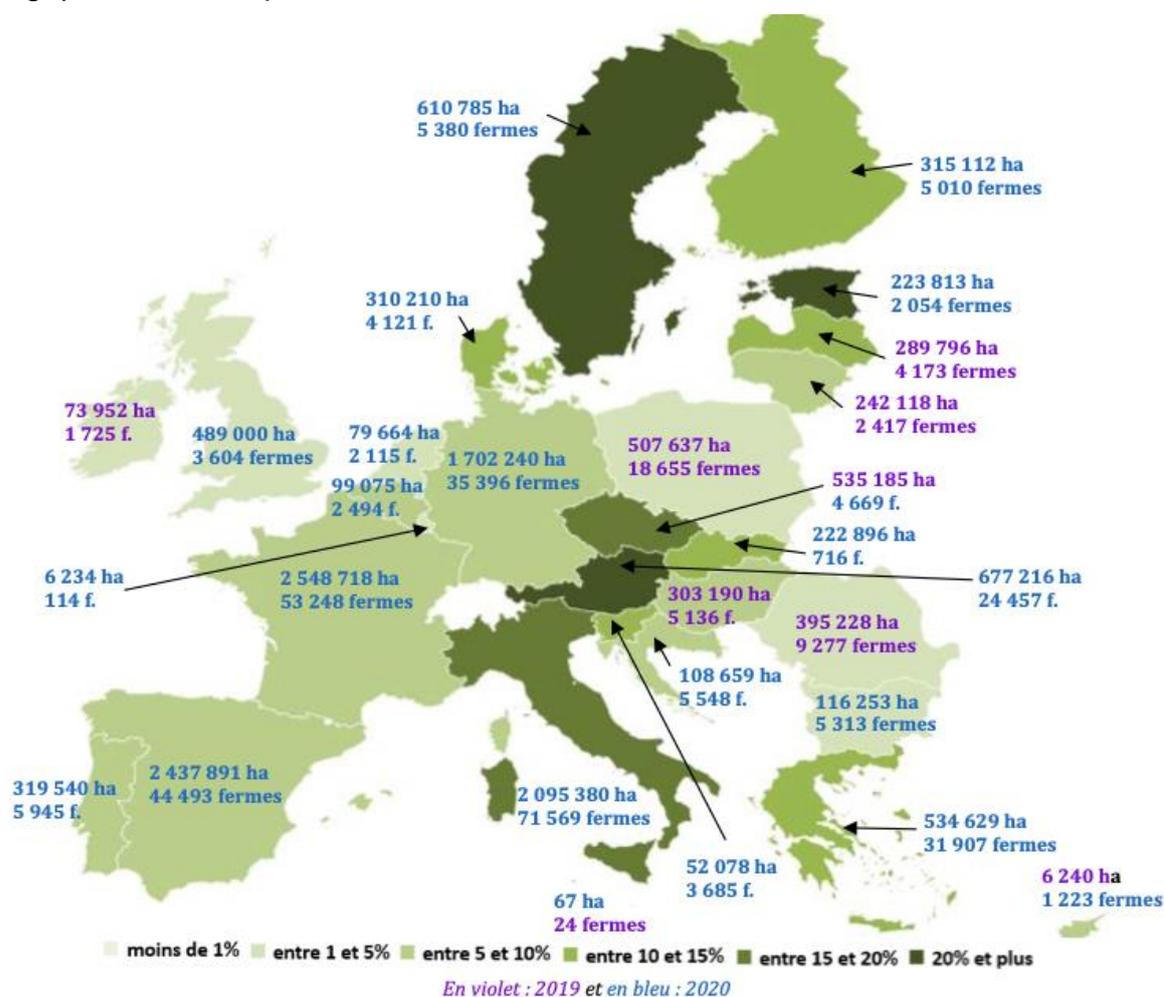


Figure 2: Superficies cultivées en bio et nombre d'exploitations bio dans l'Union Européenne en 2019/2020

(Source : Agence BIO, 2021)

En 2019, la France est le pays qui compte la plus grande surface en agriculture biologique avec 2,55 millions d'ha, devant l'Espagne (2,43 millions d'ha), l'Italie (2,1 millions d'ha) et l'Allemagne (1,7 millions d'ha). Ces 4 pays représentent 56 % des surfaces cultivées en agriculture biologique dans l'UE et également 56 % des fermes bio.

Le rapport SAU biologique sur SAU totale, la France, avec 9,5% des surfaces se trouve dans le deuxième quart des pays européens avec la répartition suivante :

- 20 % : Autriche, Estonie, Suède
- Entre 10% et 20% : Italie, Finlande, Danemark, Slovaquie, République tchèque, Grèce
- Entre 5% et 10% : Allemagne, Espagne, France, Belgique, Croatie Portugal
- < 5% : Pologne, Pays-Bas, Irlande, Roumanie, Bulgarie, Royaume-Uni

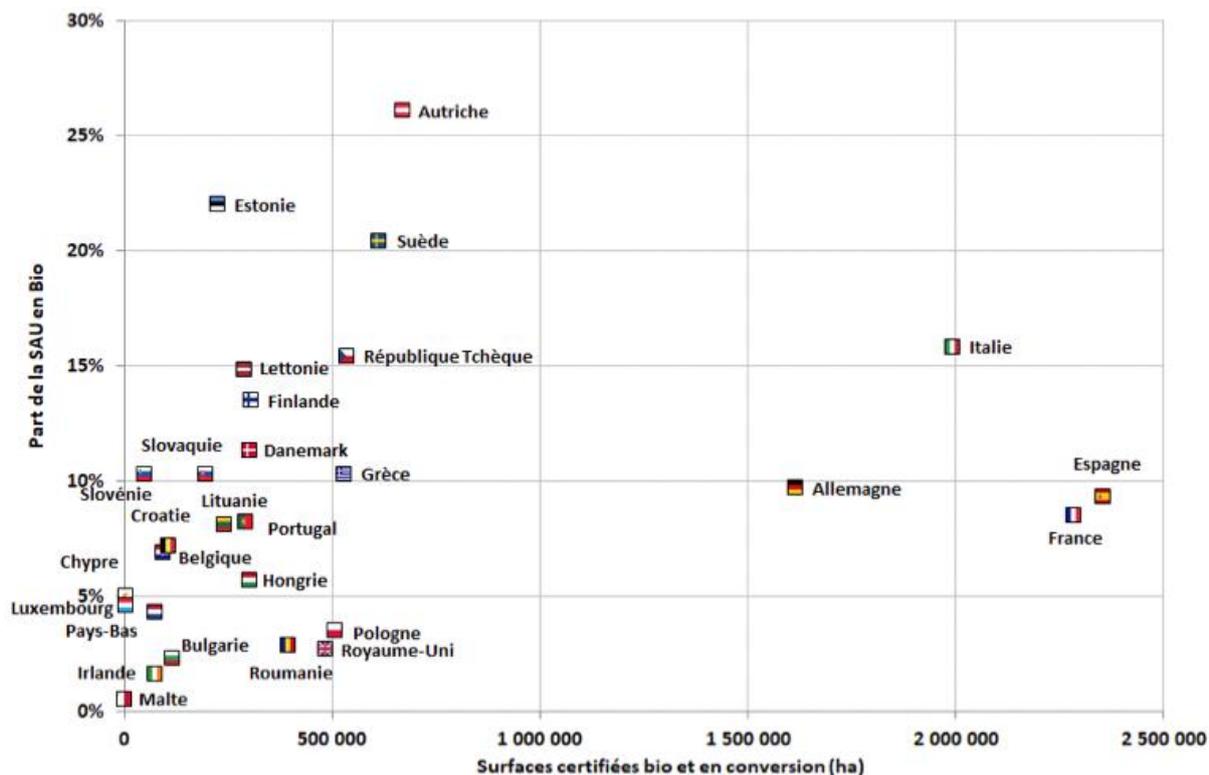


Figure 3: Superficies cultivées en bio et part dans le territoire agricole dans chaque pays de l'UE en 2019

(Source : Agence BIO, 2021)

2.2.1.2 Dynamique d'évolution de la bio en France et en Allemagne ces 20 dernières années

En vingt ans, les surfaces cultivées en agriculture biologique en France ont été multipliées par 7.

En 2019, 22 % des surfaces françaises cultivées en bio étaient localisés en Occitanie.

Les surfaces cultivées en agriculture biologique en Allemagne ont triplé en vingt ans. De 2000 à 2015, la progression des surfaces en agriculture biologique en Allemagne a été assez modeste, mais régulière. Elle s'est accélérée à partir de 2016.

La Bavière est la principale région de production en agriculture biologique en Allemagne (23 % des surfaces en bio en 2019).

Le taux de conversion en AB

La France continue d'avoir une dynamique forte sur l'évolution de la surface convertie en agriculture biologique entre 2019/2020 avec un taux de conversion de 12 %, contre 5 % pour l'Italie et l'Allemagne.

En 2019, ce taux de conversion est très variable selon les pays, pouvant atteindre jusqu'à 46 % en Roumanie, alors qu'elle était inférieure à 10 % en Irlande, en Lettonie, en Lituanie, aux Pays-Bas, au Portugal, au Royaume-Uni, en République Tchèque, en Slovaquie et en Suède.

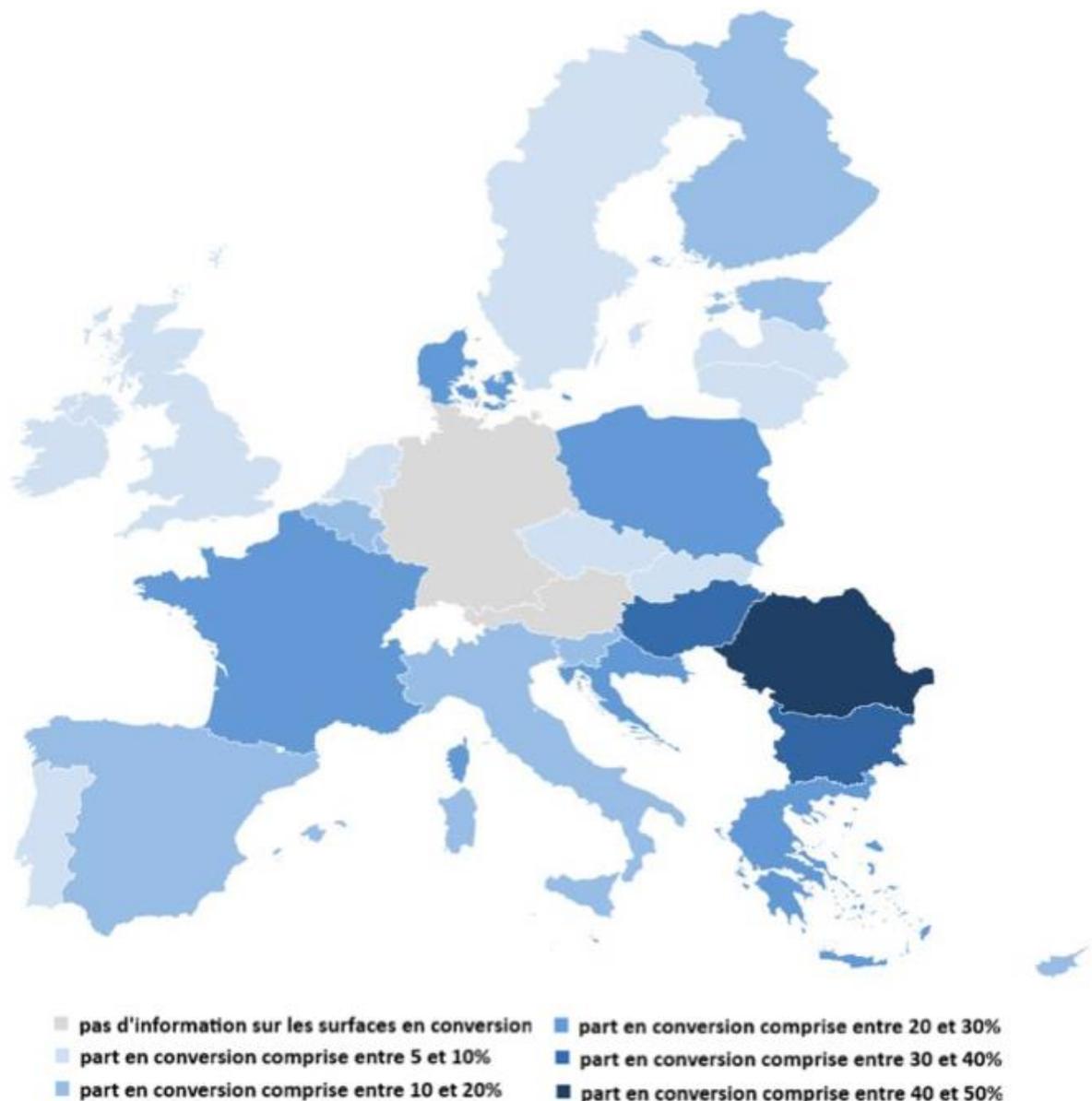


Figure 4: Part des surfaces cultivées en bio qui étaient en conversion en 2019

(Source : Agence BIO,2021)

Ce taux de conversion peut être très variable au sein d'un même pays.

Par exemple en France, le taux de conversion régional en 2019 est de :

- 30,1 % à 50 % en région Provence Alpes Côte d'Azur,
- 10,1 % à 20 % en Occitanie, Auvergne Rhône Alpes et Pays De Loire,
- de 5,1 % à 10% en Nouvelle Aquitaine, Bretagne, Normandie, Grand Est, Bourgogne Franche Comté et Ile De France,
- de 2,1 à 5 % en Centre Val De Loire et Hauts de France.

Les productions et consommations en France

La France est le premier pays producteur de blé tendre, de maïs grain, de tournesol, de soja, de lait de brebis et de vin bio.

La France est le second consommateur (en valeur) de produits bio derrière l'Allemagne. Ces 2 pays représentent à eux seuls, plus de 50 % des consommations en valeur de l'Union Européenne, loin devant l'Italie (10%) et l'Espagne (5 %).

En France, cette consommation ne représente cependant 6,5 % du marché alimentaire total, soit la 5ème position européenne, derrière le Danemark (13 %), l'Autriche, la Suède (environ 9 %) et le Luxembourg (8 %).

Synthèse des chiffres de la bio France, Allemagne et Italie :

	France	Allemagne	Italie
SAU bio en 2019	> 2,5 millions d'ha	1,7 millions d'ha	> 2 millions d'ha
Nombre de fermes biologiques en 2019	53 248	35 393	71 569
SAU moyenne des fermes biologiques	47 ha	47 ha	29 ha
Taux de croissance de la SAU bio 2019/2020	12 % de SAU	5% de SAU convertie	3% de SAU convertie
Taux de croissance de la SAU bio en 20 ans	Multipliée par 7	Multipliée par 3	Multipliée par 2
Principales productions bio	Blé tendre, maïs grain, tournesol, soja, lait de brebis et vin bio		Prairies, fourrages, céréales, olives et vin

2.2.2 La filière méthanisation

2.2.2.1 Europe

En 2020, l'Allemagne est le leader européen en termes de production d'énergie issu de la méthanisation agricole, industrielle, ou gaz issu de l'enfouissement des déchets.

Sa production s'élève à 82,5 TWh/an, devant le Royaume-Uni avec 26,9 TWh/an, l'Italie avec 25 TWh/an et la France avec 8 TWh/an.

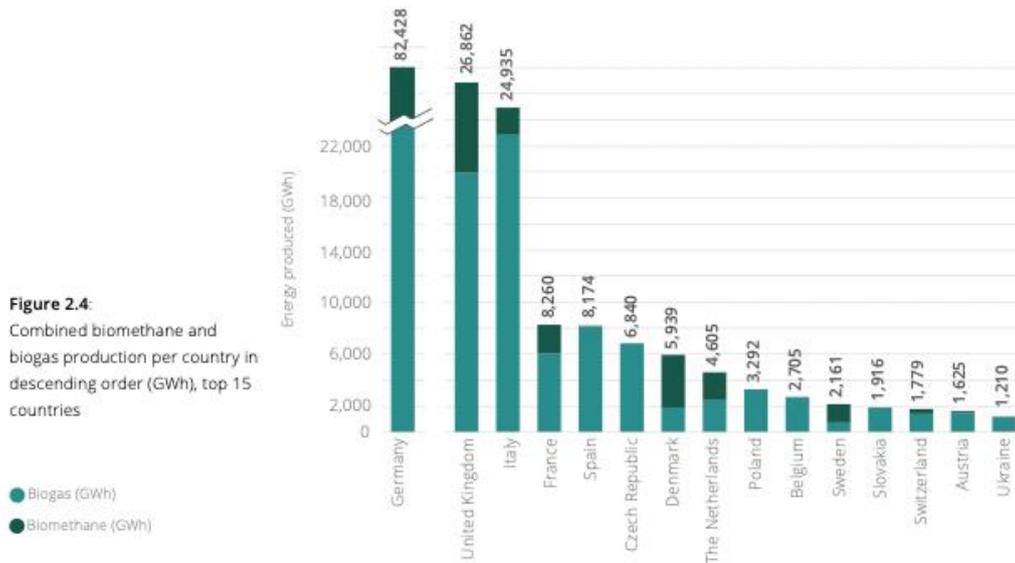


Figure 5 : Production combinée de biogaz et de biométhane par Pays, Top 15 des pays européens
(Source : EBA-Statistical-Report 2021)

De manière générale en Europe, bien que majoritaire en nombre d'unités en fonctionnement à l'heure actuelle, la cogénération connaît un vrai ralentissement de croissance ces 5 dernières années (2015-2020) avec un taux de croissance estimé à + 1,7 %, tandis que les projets en injection sont en plein essor, avec un taux de croissance de + 15,4 % sur la période 2015/2020, atteignant jusqu'à + 22 % en 2020 (et + 41 % en France en 2022).

2.2.2.2 Allemagne

Leader de la méthanisation agricole

Les premiers projets ont émergé dans les années 90 et n'ont jamais cessé de se développer pour dépasser les 11 000 installations en 2020.

La majorité de ces installations sont des unités de méthanisation agricoles, qui représentent 90 % du parc, dont 9 600 unités en cogénération et 200 unités en injection.

Les unités de méthanisation agricoles allemandes en cogénération ont été développées sur un format assez standardisé :

- Puissance de 250, 500 ou 1 000 kW_e,
- Matières méthanisées : lisiers et cultures énergétiques de maïs.

Les agricultures bio, pionniers de la méthanisation

En Allemagne, les agriculteurs bio ont été les pionniers du développement de la méthanisation au début des années 90, mais le développement de la méthanisation en agriculture biologique a rapidement stagné par la suite : le nombre d'installations de méthanisation en agriculture biologique est passé d'une trentaine en 1996 à 160-180 en 2014.

Depuis 2011, il n'y aurait pas eu de nouvelle unité de méthanisation en agriculture biologique. En 2013 et 2014, les installations des fermes pionnières arrivant en fin de vie (obsolescence technique), elles se sont arrêtées ou ont augmenté leur capacité de production (30,8 MWe en 2013).

Les pionniers du développement de la méthanisation sur des exploitations bio (années 90) sont généralement des exploitations converties de longue date à l'agriculture biologique : 80 % le sont depuis au moins 10 ans.

Pour les unités de méthanisation dans les fermes bio des années 2000, le constat suivant peut être fait :

- Développement de la méthanisation avant la conversion en AB : unité de méthanisation de petite taille,
- Développement de la méthanisation simultanée ou après la conversion en AB : unité de taille moyenne à grande.

En Allemagne, une enquête pluriannuelle¹ a été menée en 2013/2014 sur ces fermes bio engagées en méthanisation : elle a permis de recueillir des données déclaratives sur l'impact de la méthanisation sur le système agricole (échantillon moyen de 120 réponses sur une filière estimée à 160-180 unités).

Les unités de méthanisation allemandes en agriculture biologique sont beaucoup moins standardisées que celles en agriculture conventionnelle, dont les capacités de production d'énergie (cogénération) sont plus ajustées aux ressources méthanisables de la ferme.

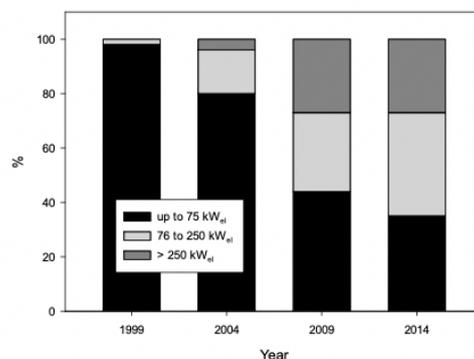


Figure 3. Share (%) of organic biogas plants grouped according to installed electrical

Figure 6 : Évolution de la puissance de cogénération des unités de méthanisation allemandes, portées par des fermes bio, entre 2000 et 2015 (Blumenstein B et al, 2015) - DOC 6

¹ Blumenstein B et al, 2015 (référence DOC 6)

L'augmentation des capacités est également observée en corrélation avec l'augmentation des tarifs d'achat de l'électricité des différentes loi allemande sur les énergies renouvelables (EEG 2004, EEG 2009², EEG 2014) : de 26 kWel en 1996 à 233 kWel en 2014.

La majorité des fermes bio allemandes avec unité de méthanisation est représentée par des exploitations mixtes d'élevage (bovins laitiers majoritairement) et de cultures de rente (47 %). Les fermes céréalières représentent 16 % des fermes bio avec méthanisation.

Les unités de méthanisation sur des exploitations en AB ont un approvisionnement plus diversifié que les fermes conventionnelles, qui varie sensiblement selon leur taille. En moyenne, il est constitué d'environ :

- 50 % d'effluents (fumiers, lisiers),
- 19 % d'ensilage de maïs (souvent conventionnel),
- 15 % d'ensilage de trèfle,
- 13 % d'ensilage de prairie.

Mais la proportion d'effluents d'élevage (lisier) diminue avec l'augmentation de taille des unités :

- 77% pour des installations de moins de 75 kWe
- 40% pour des installations de 75 à 250 kWe
- 26 % pour des installations de plus de 250 kWe.

La ressource végétale en ensilage d'herbe et de trèfle est le 2^{ème} intrant, souvent des légumineuses non valorisées en fourrages qui servent à la fixation symbiotique de N₂ particulièrement dans les exploitations céréalières.

Plus les unités de méthanisation ont une puissance élevée, plus la part d'effluents d'élevage diminue au profit de l'ensilage de trèfle ou d'herbe.

Par conséquent, les unités de méthanisation en agriculture biologique mobilisent moins de surface dédiée à la production d'énergie, qu'en agriculture conventionnelle. Néanmoins, l'augmentation de la taille de ces unités de méthanisation, liées à des exploitations bio, implique qu'elles soient adossées à des exploitations d'élevage de grande taille ou qu'elles mobilisent des cultures énergétiques supplémentaires avec des besoins étendus en terres (herbes).

De grosses augmentations de capacités peuvent impliquer un recours non négligeable à du maïs conventionnel (pour les installations de plus de 250 kWe, près de 50 % de l'approvisionnement est constitué de maïs conventionnel).

² La Loi EEG 2009 a instauré un bonus sur le tarif d'achat de l'électricité produite à partir de biogaz pour l'introduction de cultures énergétiques (maïs ensilage principalement) dans la ration du méthaniseur

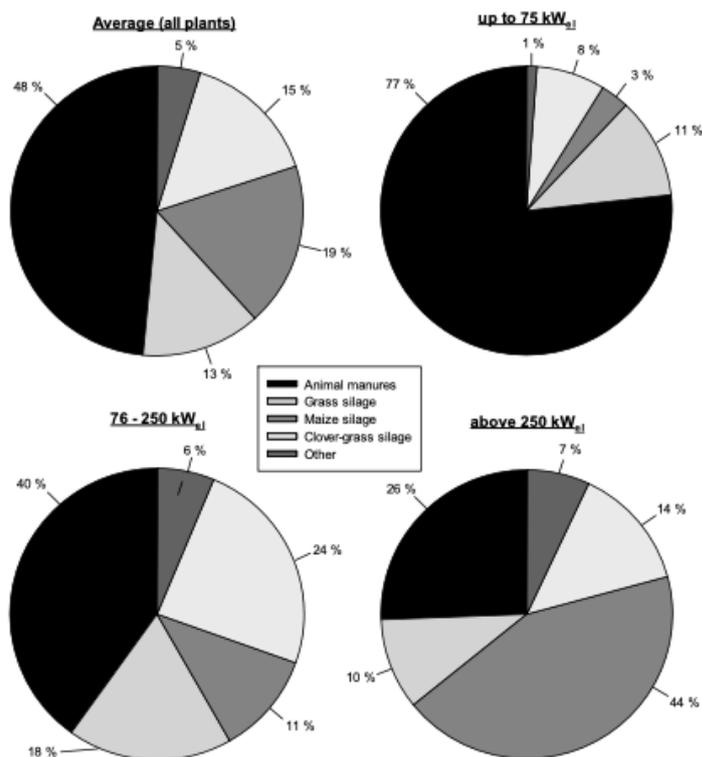


Figure 5. Average biomass input mixtures (based on fresh matter weight) for all organic biogas plants ($n = 105$) and plant sizes of ≤ 75 kW_{el} ($n = 17$), 76–250 kW_{el} ($n = 73$) and >250 kW_{el} ($n = 15$) in 2013/14.

Figure 7 : Approvisionnement type des unités de méthanisation allemandes, portées par des fermes bio, selon la puissance du moteur de cogénération (Blumenstein B et al, 2015) - DOC 6

Environ la moitié des exploitations bio en méthanisation ont une SAU inférieure à 100 ha, pour une puissance moyenne installée de 129 kW_e. La taille des unités de méthanisation augmente généralement avec la SAU de l'exploitation concernée, pour se situer entre 250 et 490 kW_e pour des SAU de 100 à 500 ha. Les quelques exploitations en bio de plus de 500 ha ont une capacité moyenne de moteur biogaz de 356 kW_e.

Table 1. Number, proportion and average installed electrical capacity of organic farms with biogas plant with regard to different farm size groups ($n = 118$).

Farm Size (ha)	Number of Farms (n)	Proportion of Farms (%)	Average Installed Electrical Capacity (kW _e)
≤ 100	54	45.8	129
101–250	43	36.4	252
251–500	14	11.9	486
>500	7	6.9	356
Total	118	100	230

Figure 8 : SAU moyenne des fermes bio allemandes avec unité de méthanisation, selon la puissance de cogénération installée (Blumenstein B et al, 2015) - DOC 6

2.2.2.3 France

Après un premier démarrage dans les années 70, stoppé rapidement avec le premier choc pétrolier, la filière française a redémarré timidement au début des années 2000, grâce aux premiers tarifs réglementés d'électricité sortis en 2001, puis révisés en 2006, 2011 et 2016. Depuis, son développement a connu une forte accélération avec l'essor de la filière injection lié à la sortie des tarifs d'achat du biométhane en 2011.

En France, fin 2023, environ 1700 unités de méthanisation sont en fonctionnement, dont 650 injectent le biométhane sur le réseau (12 TWh), 1050 unités produisent de l'électricité par cogénération (600 MW).

Ces unités sont principalement des unités de méthanisation agricole individuelle, collective et territoriale.

Contrairement à l'Allemagne, les unités de méthanisation agricoles françaises n'ont pas de modèle standardisé, et ont des capacités pouvant aller de 35 kWe jusqu'à 2,4 MWe, ou de 50 Nm³/h à 750 Nm³/h. Elles sont parfois portées par des exploitations agricoles seules, mais aussi par des groupements d'exploitations allant d'une petite dizaine jusqu'à la centaine de fermes.

L'approvisionnement des méthaniseurs est également très variable selon les bassins de production agricole ou selon le débouché retenu : de 100 % de lisier/fumier, dans les territoires d'élevage en cogénération, à 100 % de Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique dans les bassins de production céréalières avec un débouché en injection.

Il n'existe pas, à date, d'observatoire des fermes en agriculture biologique couplées à un projet de méthanisation. Cependant, dans le cadre de cette présente étude, 70 unités de méthanisation liées à une ou plusieurs fermes bio ont été identifiées.

2.2.2.4 Italie

En 2020, l'Italie compte :

- 1 700 unités de méthanisation en fonctionnement avec cogénération, pour une production de 23 TWh/an de biogaz, avec un démarrage de la filière dans les années 90.
- 23 unités de méthanisation en injection, pour une production de 2 TWh/an biométhane, avec un démarrage de la filière en 2018/2019.

La méthanisation agricole produit plus de 80 % du biogaz du pays.

En Italie, la méthanisation s'est développée dans les années 1980 sur des exploitations d'élevage de bovin et de porc de grande capacité³. Une deuxième génération de méthaniseurs s'est poursuivie dans les années 2000 avec l'intégration d'exploitations céréalières ou mixte élevage/céréales ainsi que chez sur des sites industriels, la capacité moyenne a de ce fait augmenté (500 kWe à 1MWe).

³ Entretien Paolo MANTOVI – CRPA (Centre de recherche de Production Animale)

La ration moyenne est majoritairement basée sur des cultures énergétiques de maïs et de triticale (pouvant atteindre 100 % de l'approvisionnement) et, en minorité, des déjections d'élevage (lisier, fumier).

Seulement 20 à 50 unités de méthanisation seraient portées, partiellement ou en totalité, par des fermes en agriculture biologique, mais il s'agit là d'une estimation, car aucune étude n'a été menée à ce sujet.

Les fermes en italiennes sont en majorité de petites exploitations (moyenne 29 ha/exploitation) et situées en altitude, généralement éloignées.

Elles n'ont généralement pas la capacité financière pour le portage d'une unité de méthanisation même si elles montrent un intérêt pour le digestat comme fertilisant dans un contexte de prix élevé des fertilisants, y compris organiques. Toutefois ces fermes sont généralement éloignées des unités de méthanisation existantes, situées dans les plaines.

Néanmoins, les acteurs agricoles et du biogaz portent le concept de « Biogas Done Right », qui a pour vocation de développer une agriculture durable, permettant d'optimiser la valorisation des terres agricoles pour les ressources alimentaires et la biomasse énergétique. Ce concept peut être un moyen d'amener les fermes conventionnelles à se tourner vers une agriculture biologique, grâce à l'accès au digestat pour la fertilisation et à la possibilité de produire des CIVE, le plus compliqué reste de changer les habitudes de production agricole.

2.2.2.5 Danemark

En 2020, le Danemark se situe en 7^{ème} position des pays européens les plus producteurs de biométhane, avec une production de 6 TWh, toutes productions confondues.

- 128 unités de méthanisation produisent du biogaz valorisé en cogénération pour une production de 1,8 TWh. Entre 2016 et 2020, le nombre d'installations en cogénération est passé de 196 unités à 128, résultant essentiellement de la fermeture de plusieurs petites stations d'épuration et de petites unités de méthanisation agricole.
- 52 unités produisent du biométhane, valorisé en injection sur les réseaux, pour une production de 4 TWh. La filière biométhane a émergé en 2015, avec sa 1^{ère} unité, et a dépassé la production de biogaz dès 2018. 48 des 52 unités produisant du biométhane sont des unités de méthanisation agricoles et elles produisent plus de 95 % du biométhane du pays.

La méthanisation agricole est majoritaire au Danemark, sous forme d'installations à la ferme ou d'unités centralisées, avec les déjections animales (lisier, fumier) comme principale ressource méthanisée.

Il n'y a pas de suivi particulier de la méthanisation en Agriculture Biologique, mais en 2016, l'objectif était d'atteindre au moins 25 fermes bio engagées dans une unité de méthanisation agricoles individuelles ou collectives.

2.3 Méthanisation et AB : la réglementation

2.3.1 Principe

Pour une utilisation des digestats sur des parcelles en AB, les règles en vigueur reposent sur les principes suivants :

- les matières entrantes dans le méthaniseur doivent être compatibles avec un épandage en AB (Voir annexe I du Règlement Européen 889/2008),
- les fermes bio doivent récupérer autant d'azote qu'apporté au méthaniseur,
- les digestats ne doivent pas être appliqués sur les parties comestibles de la plante.

A l'instar des digestats conventionnels, l'épandage des digestats sur des parcelles en agriculture biologique se fera dans le cadre d'un plan d'épandage, uniquement sur les grandes cultures (céréales, oléagineux, betteraves, maïs, etc.) et les prairies, avec des sols présentant un pH supérieur à 6.⁴

A noter que les installations répondant au cahier des charges DIG Agri ne peuvent pas non plus épandre le digestat sur des cultures maraîchères.

2.3.2 Compatibilité des matières entrantes avec l'AB

- Effluents agricoles : Fumiers, Fumiers séchés ou fientes de volaille déshydratées, Excréments d'animaux liquides (lisier) :

Compatible avec un épandage en AB, même si issus d'exploitations conventionnelles. Cependant, la provenance d'élevages industriels est interdite. Selon le guide INAO, les élevages industriels sont définis comme suit :

- Élevages en système caillebotis ou grilles intégral et dépassant les seuils définis en annexe I de la directive n°2011/92/UE
- Élevages en cages et dépassant les seuils définis en annexe I de la directive n°2011/92/UE.
- Et l'annexe I de la directive n°2011/92/UE précise les seuils suivants :
 - o Plus de 85 000 emplacements pour poulets,
 - o Plus de 60 000 emplacements pour poules,
 - o Plus de 3 000 emplacements pour porcs de production (de plus de 30 kg),
 - o Plus de 900 emplacements pour truies.

- Matières végétales non transformées :

Compatible avec un épandage en AB, même si issues de l'agriculture conventionnelle (sauf OGM) ou des industries agro-alimentaires (ex : épluchure de carotte).

- Biodéchets / Soupe de déconditionnement :

Les biodéchets (déchets alimentaires, déchets verts) issus du secteur tertiaire dont les hôpitaux, bureaux, EPHAD..., ainsi que les déchets issus des entreprises de transformation alimentaire et déchets issus des entreprises de grandes distribution sont considérés comme utilisables en agriculture biologique. Collectés, éventuellement

⁴ note du Club Biogaz sur « l'épandage du digestat en agriculture biologique », mars 2019

déconditionnés et hygiénisés selon la nature des déchets puis compostés ou fermentés, ils sont alors valorisables sur des terres en AB.

Aucune limite en terme de nombre de salariés n'est donc à prendre en compte.

Les biodéchets contenant des sous-produits animaux doivent se conformer aux réglementations européennes et nationales relatives aux sous-produits animaux. (Source : Note de lecture Version du 07/11/2023 Biodéchets compostés ou fermentés Annexe II du règlement (UE) n° 2021/1165 pris en application de l'article 24. 1.b) du règlement (UE) n° 2018/848)

- SPAn 2 ou 3 :

Autorisation conditionnée. Autorisé pour les intrants conforme à l'annexe 1 du règlement européen annexe I de la directive n°2011/92/UE ainsi que les sous-produits animaux de catégorie 3 et le contenu du tube digestif relevant de la catégorie 2 (catégories 2 et 3 telles que définies par le règlement (CE) °1069/2009) qui ne doivent pas provenir d'élevages industriels.

- Boues de station d'épuration et/ou issues des industries agro-alimentaires :
Pas compatible avec un épandage en AB.

2.3.3 Procédures de certification des intrants valorisables en agriculture biologique

Lors de l'audit annuel de l'organisme certificateur AB, les justificatifs concernant les intrants utilisés pour la production des produits à certifier sont demandés. Dans le cas d'une utilisation de digestat, il faut donc justifier de l'ensemble des matières entrées en méthanisation avec attestation de provenance. Ces justificatifs sont ensuite analysés par l'organisme certificateur pour valider le respect des règlements RE889/2008 et RE834/2007 :

- Si les intrants sont labellisés « Utilisable en Agriculture Biologique » ou « UAB »*, alors cette désignation est suffisante.
- Dans le cas contraire, l'exploitant doit fournir un dossier d'une quinzaine de pages justifiant la composition des intrants utilisés avec attestation de provenance.

*L'attestation « UAB » de chaque intrant est une prestation proposée par les organismes certificateurs sous différentes formes (mention Utilisable en AB, logo de l'organisme certificateur, étiquetage etc). Ces prestations correspondent à des stratégies marketing des organismes certificateurs lors d'une mise sur le marché de ces intrants.

2.3.4 Réglementation en Europe

Le règlement européen en AB n'impose pas de restrictions vis-à-vis de la méthanisation si ce n'est l'importation maximale de 170 kg d'azote/ha d'origine animale commune à tous les apports liés aux produits résidaires organiques.

Il n'y a pas de restrictions sur l'apport de biomasse conventionnelle ni sur l'exportation de nutriments.

En **Allemagne**, les règles et normes diffèrent selon les labels des associations bio d'agriculteurs (Blumestein et al, 2015).

Les principales différences portent essentiellement sur l'autorisation d'utiliser un digestat dont les intrants contiennent du maïs conventionnel, sur la quantité autorisée d'importation de nutriments via l'achat de biomasse, sur des intrants provenant d'exploitation en conventionnel.

Ainsi, de nombreux labels limitent l'importation de co-substrats conventionnels à un maximum de 30 % des intrants, un seuil max d'importations de nutriments de 40 kg N/ha. De plus, le retour des digestats n'est autorisé que si des biomasses ont été fournies à l'unité de méthanisation sans stockage intermédiaire, pour éviter les pertes de nutriments sur les exploitations agricoles.

En outre, les biodéchets provenant des ménages ne sont pas autorisés.

Depuis 2020, le maïs conventionnel n'est plus utilisable en méthanisation en agriculture biologique. En revanche, l'utilisation d'herbe de prairie et de trèfle conventionnel est encore possible si les cultures ne sont pas fertilisées par des engrais chimiques. L'épandage de digestat issu du traitement de plantes sauvages est également autorisé en agriculture biologique.

En **Suisse**, l'épandage du digestat est autorisé sur les cultures maraîchères, en serre (par fertigation après centrifugation si nécessaire) et en plein champ (2 à 3 passages sur la culture).

2.4 Impact de la méthanisation

2.4.1 Sur la fertilisation

- **Azote**

L'impact le plus documenté est l'amélioration des pratiques de fertilisation grâce à la méthanisation. Ce constat est unanime et homogène : il représente un effet très positif, à la fois sur la disponibilité de l'azote pour les plantes, mais aussi par la baisse des quantités apportées. Cette diminution est possible grâce aux nouvelles sources d'azote efficaces générées par le déploiement des cultures intermédiaires ou le traitement de biodéchets du territoire. **L'introduction de co-produits extérieurs à la ferme, dans le processus de méthanisation d'effluents agricoles, a augmenté la proportion d'azote dans le digestat de 68%, par rapport à la fertilisation à partir de fumier dans un système sans méthanisation** (Moller et al. 2011 - [Doc 26]).

De plus, la limitation de 170 kg/ha d'azote organique (Directive Nitrates) ne concerne que l'azote provenant des effluents d'élevage, l'azote contenu dans le digestat issu de matière végétale n'est donc pas comptabilisé et permet des niveaux de fumure plus élevés.

Grâce à la méthanisation de matières végétales et d'effluents agricoles, la forme d'azote est transformée, influençant ainsi les régimes de fertilisation et la dynamique de l'azote du système agricole en général. Les effluents digérés présentent des teneurs significativement plus élevées en N minéral assimilable (NH_4) par la plante, que les matières non digérées. **L'intégration de la méthanisation dans les fermes en agriculture biologique provoque une augmentation de l'azote facilement assimilable pour les plantes, de 10 à 20 % dans le digestat, par rapport aux proportions d'azote facilement assimilable des effluents agricoles épandus sans méthanisation** (Siegmeier T., 2015 – [Doc 55] ; Moller et al. 2011 - [Doc 26]).

Par ailleurs, la méthanisation des couverts végétaux et des résidus de culture (au lieu de les restituer au sol après broyage) permet également de mieux contrôler le cycle de l'azote, en limitant la part d'azote minérale qui serait mobilisée par les micro-organismes du sol pour leur dégradation (Möller, 2009 - [Doc 52]).

La gestion des prairies de légumineuses par méthanisation peut avoir un impact significatif sur les quantités de N_2 fixé. Leur broyage et restitution au sol est généralement pratiqué dans les exploitations sans élevage ou en cas d'excédent fourrager sur la ferme. Cette pratique diminue de 20 à 25% la fixation symbiotique de l'azote dans les prairies de trèfle par rapport à la récolte et à l'export (Stinner et al., 2008 ; Möller, 2009 - [Doc 52]). Plusieurs facteurs contribuent à cet effet :

- La composition des prairies broyées se déplace vers des espèces non légumineuses, réduisant ainsi la fixation de N_2 (Frøseth et al., 2014),
- Les légumineuses fréquemment coupées sont en croissance constante, ce qui génère une fixation de N_2 plus élevée (Cralle et Heichel, 1981 ; Shinano et al., 1994),
- L'apport d'azote par la décomposition des légumineuses broyées peut inhiber le pouvoir de fixation symbiotique de ces dernières (Pietsch et al., 2007).

Par conséquent, la méthanisation d'engrais vert (transition d'une pratique de destruction et retour au sol vers une pratique de récolte), et particulièrement de légumineuses, entraîne une plus grande accumulation globale de N dans le système agricole.

Les pertes d'azote dans les systèmes agricoles causent également des émissions de GES, avec un fort pouvoir réchauffant pour le N₂O, tandis que l'ammoniac et le nitrate sont des polluants pour les écosystèmes naturels et les ressources en eau douce. Les pertes d'azote dans le champ se produisent par lessivage des nitrates, les émissions de N₂O dans le sol ainsi que par la volatilisation de l'ammoniac pendant le stockage, la manipulation et l'épandage du fumier (Sommer et al., 2006). Vis-à-vis des effluents d'élevage, l'approvisionnement en nutriment via la méthanisation de cultures de couverture, le risque de pertes d'azote peut être réduit.

Par rapport au broyage et retour au sol direct des résidus de cultures et des légumineuses, une diminution de 38 % des émissions de N₂O, sur toute la rotation a été obtenue lorsque ceux-ci ont été récoltés, digérés et les digestats réaffectés au sein du système de culture (Möller et Stinner, 2009 - [Doc 52]). D'une façon générale, sans lien avec l'agriculture biologique, la méthanisation permet de réduire les émissions si les conditions de stockage et les bonnes pratiques sont respectées :

- le potentiel de lessivage des nitrates des engrais verts broyés et restitués pendant l'hiver peut être réduit par l'élimination et la digestion de la biomasse (Gunnarsson et al., 2011).
- la perte d'azote due à la volatilisation de l'ammoniac des bâtiments d'élevage et du stockage peut également être réduite par la méthanisation agricole (Amon et al., 2006 ; Hjorth et al., 2009).
- sur les unités de méthanisation à la ferme, les fumiers et les lisiers sont alimentés en continu vers l'unité de méthanisation. Par conséquent, le stockage dans des cuves ou des tas non couverts peut être évité et les émissions minimisées.

	Système sans élevage	Système avec élevage (Fumier)	Système avec élevage (Lisier)	Ajout de coproduits végétaux
Rendement légumineuses	+ 16 %			
Rendement céréales		+ 5 %	Pas d'effet	+ 12 %
Efficacité azotée		+ 8 %		+ 58 %
Fixation azotée des légumineuses	+ 19 %			
Teneur en protéines des grains	+ 0,6 %			
Perte de nitrates par lessivage	- 20 %	- 6%	Pas d'effet	- 8 %
Émission de N ₂ O par le sol	- 40 %	- 19%		

Figure 9 : Impact de la méthanisation sur le cycle de l'azote, selon système de production (Source : Möller et al., [Doc 26])

L'intégration d'un méthaniseur dans un système agricole en agriculture biologique est souvent signe d'optimisation du cycle des nutriments (Helbig et al., 2007 – [Doc 23].; Blumenstein et Al., 2015 – [Doc 6]). **La gestion de la fertilisation se voit profondément modifiée. Pour profiter pleinement des effets positifs de cet azote facilement disponible, les apports doivent être réalisés au plus près des besoins des cultures, avec des pratiques d'épandage adaptées, pour limiter les risques de lessivage ou de volatilisation.**

Un effet négatif de l'épandage de digestat a été signalé tel que le potentiel plus élevé de brûlures chimiques sur les feuilles des plantes, lorsqu'il n'est pas épandu au bon moment.

Enfin, la fertilisation à partir de digestat peut ou risque de générer des adaptations dans les rotations culturales, car certaines cultures sont plus adaptées au digestat que d'autres, en lien notamment avec cette grande disponibilité de l'azote.

Certaines cultures, moins gourmandes en azote, sont moins adaptées à une plus grande disponibilité d'azote dans le digestat. Ainsi, les cultures de seigle et d'épeautre par exemple, montrent une tendance à la verse plus forte, ainsi qu'une infestation de mauvaises herbes plus élevée dans les rotations de cultures fertilisées par le digestat, elles pourraient donc être remplacées par d'autres cultures mieux adaptées au digestat, ce qui pourrait conduire à une culture prolongée ou plus fréquente d'une seule espèce avec des besoins en azote plus élevés (par exemple, le blé d'hiver) en remplacement des autres espèces. Cela pourrait entraîner une diminution de la diversité végétale au sein des rotations.

En synthèse, la méthanisation, dans les systèmes agricoles en agriculture biologique, présente un intérêt d'un point de vue de la fertilisation azotée:

- **Des apports d'azote extérieur par la mise en place de CIVE ou le traitement des biodéchets,**
- **D'augmenter la quantité des apports d'azote à plus de 170 kg/ha, si elle provient de matière végétale,**
- **De rendre l'azote plus facilement assimilable pour les plantes, grâce à un processus de minéralisation de l'azote organique au sein du méthaniseur,**
- **De mobiliser moins d'azote du sol par les micro-organismes, quand les résidus de cultures et les couverts sont méthanisés et non retournés au sol après broyage,**
- **D'optimiser la fixation symbiotique des prairies de légumineuses, qui ne sont plus broyées et restituées au sol.**
- **De limiter les pertes par volatilisation, lors du stockage des effluents agricoles ou par lessivage, lors du broyage et le retour au sol des cultures.**

La disponibilité facilitée de l'azote entraîne nécessairement des modifications dans la conduite des cultures et de la fertilisation pour limiter les impacts potentiels négatifs (risque de verse, perte de biodiversité).

- **Autres éléments fertilisants :**

Les données sur les autres éléments fertilisants sont plus ponctuels/singuliers (Hülsbergen et Al., 2019 - [Doc 7]; Paulsen H., 2016 - [Doc 16]) :

- Pour le phosphore, une amélioration des flux est notée au sein de la ferme et du territoire, la méthanisation agricole peut même constituer une solution pour gérer les excédents phosphorés de certaines exploitations engagées dans des projets collectifs. En effet, la spécialisation croissante des exploitations agricoles et la ségrégation géographique entre zones d'élevage et zones de culture est un obstacle majeur à la valorisation optimale de la ressource en P que constituent les effluents d'élevage. Il en résulte des apports de P excédentaires en zone d'élevage intensif, avec des risques associés de transfert de P vers les eaux et d'eutrophisation, et une dépendance de la production végétale aux engrais minéraux de synthèse en zone de grandes cultures. Ainsi, les projets de méthanisation collectifs peuvent permettre de rééquilibrer ces flux, notamment lorsque le digestat subit une séparation de phase, le phosphore se trouvant alors principalement dans la phase solide.
Selon Paulsen H., dans les exploitations agricoles en bio, la balance du P est négative (entre -2 et 3 kg de P/ha). Cependant, par l'introduction de la méthanisation (avec apports extérieurs), la balance devient positive (+1,8 kg de P/ha pour les prairies et + 3,6 kg de P/ha sur les cultures)
- La teneur du digestat en éléments soufrés et autres oligo-éléments pourrait également avoir un effet positif sur certaines cultures.

2.4.2 Sur les rendements

Les rendements augmentent en moyenne de 20 à 25 % pour toutes les cultures, avec des variations allant de 5 à 50 % (Blumenstein et al, 2015 – [Doc 6]).

- 15 % des agriculteurs ont remarqué des hausses de rendement jusqu'à 10 %,
- 50 % des agriculteurs ont remarqué des hausses de rendement entre 10 % et 20 %,
- 35 % des agriculteurs ont remarqué des hausses de rendement de plus de 20 % (supérieur à 30% dans 13 % des cas).

Certains agriculteurs n'observent pas d'effet positif sur leur rendement, malgré une fertilisation avec du digestat (Anspach et Al, 2007 – [Doc 22]).

Les augmentations de rendement entre 20 % et 25 % ont principalement été constatées pour les céréales, le maïs et les prairies. De très fortes augmentations de rendement ont été également observées pour les cultures oléagineuses (mais le retour d'expérience est plus faible car la SAU en tournesol ou colza bio cultivé est faible en Allemagne).

Cette augmentation est le résultat de plusieurs facteurs :

- Une meilleure disponibilité de l'azote pour les plantes,
- Des apports plus ajustés,
- De nouvelles sources d'apports azotés,
- Des apports parfois plus élevés, avec une part des apports d'origine végétale.

Mais il est difficile de définir la part d'augmentation liée à une meilleure disponibilité de l'azote, de celle issue d'une quantité d'azote disponible supérieure grâce au traitement de matières extérieures (sur 99 agriculteurs qui ont rapporté des augmentations de rendement, 41 ont indiqué traiter des matières extérieures, 41 n'ont pas répondu et 17 n'ont pas introduit de matières extérieures) (Blumenstein et al, 2015 – [Doc 6]).

Par ailleurs, d'autres paramètres propres à chaque unité de méthanisation ont probablement un impact important sur l'augmentation des rendements : conditions pédoclimatiques et bonnes pratiques d'épandage du digestat.

Pour Siegmeier et al., 2015 – [Doc 55], les augmentations de rendements des cultures principales varient également selon l'état des systèmes de références.

Les quantités élevées de NH_4 dans les digestats sont facilement disponibles pour l'absorption par les plantes. En plus de cette forme d'azote plus disponible, les apports de digestat sont également plus flexibles que les sources « classiques » d'azote organique (lisier/fumier/compost) concernant l'allocation de l'azote au sein des rotations de cultures.

En effet, alors que les engrais solides ne peuvent pas être appliqués aux cultures en croissance au printemps et que les engrais verts (broyés) sont limités en termes de réallocation spatiale, les digestats liquides sont applicables à toutes les cultures dans la rotation au moment favorable en période de croissance (Möller et Stinner, 2009 - [Doc 52]). Par conséquent, la fertilisation par le digestat des cultures non légumineuses peut conduire à une augmentation des rendements (Johansen et al., 2013). Les rendements de biomasse totale (matière sèche) ainsi que les rendements de céréales et de tubercules augmentent lorsque les rotations de cultures biologiques sont fertilisées avec des digestats (Möller et al., 2008a - [Doc 59]). L'effet est le plus significatif lorsqu'on remplace l'épandage de fumier solide en automne, par des digestats liquides appliqués pendant la saison de croissance (Möller et Stinner, 2009 - [Doc 52]).

En comparaison à l'épandage printanier de lisier non méthanisé, celui de digestats de méthanisation (en codigestion de lisier et de biomasse végétale) permet d'augmenter considérablement la matière sèche ainsi que les rendements en grains.

Seule la méthanisation du lisier pur n'affecte pas significativement les rendements par rapport à la fertilisation avec du lisier non digéré. La codigestion des cultures secondaires et des résidus de culture, cependant, améliore les rendements des cultures principales non légumineuses (céréales, maïs et pommes de terre) (Stinner et al., 2008, Möller et al., 2008a [Doc 59]).

Les effets de l'augmentation des rendements dans les rotations de cultures fertilisées avec des digestats sont particulièrement prononcés dans les systèmes de culture biologique céréaliers, où les engrais verts sont généralement broyés au champ et qu'aucun effluent d'élevage n'est apporté. La méthanisation des engrais verts (tels que les mélanges trèfle-herbe), et la minéralisation de l'azote qu'ils contiennent, fournit un engrais efficace et flexible pour l'agriculture biologique sans bétail.

Outre les effets directs de la fertilisation du digestat, les rendements sont également influencés par les quantités totales d'azote apportées dans l'exploitation. La principale source d'apport d'azote en agriculture biologique est la fixation symbiotique par les cultures de légumineuses. La méthanisation des légumineuses, au lieu d'être broyées, est particulièrement pertinente pour augmenter les apports d'azote disponible au moment où les cultures en ont le plus besoin.

En synthèse, l'utilisation du digestat pour fertiliser les cultures en agriculture biologique, entraîne des augmentations de rendement de 20 à 25 % en moyenne sur toutes les cultures (céréales, maïs, prairie, mais également tournesol ou colza malgré des références moins nombreuses).

Cette augmentation de rendement varie de 0 à 50 % selon plusieurs facteurs :

- **Une meilleure disponibilité de l'azote pour les plantes, variable selon les types de matières traitées en méthanisation**
- **Des apports plus ajustés, la minéralisation de l'azote se fait dans le méthaniseur en conditions contrôlées et les apports sont réalisés au moment où les plantes en ont besoin, contrairement à une fertilisation classique à partir de fumier non digéré ou de compost, pour lesquels la minéralisation se fait dans le sol selon les conditions pédoclimatiques variables.**
- **De nouvelles sources d'apports azotés,**

Des apports parfois plus élevés, avec une part des apports d'origine végétale.

2.4.3 Sur la qualité des productions

La qualité des cultures en agriculture est souvent déterminée par leur teneur en azote ou en protéines. Dans les cultures céréalières (ex. blé d'hiver et orge de printemps), la teneur en azote minéral des engrais a donc une influence directe sur la teneur en protéine de la culture récoltée.

Les rotations de cultures fertilisées avec du digestat montrent des augmentations significatives de la teneur en N des grains par rapport aux rotations fertilisées avec des effluents non digérés, (Siegmeier et al., 2015 – [Doc 55]).

Les retours sont unanimes sur l'amélioration de la qualité des productions avec :

- Une augmentation des teneurs en protéines et en gluten des céréales de 0,6 à 1,1 point, soit 10 à 11% d'augmentation en moyenne.
Cette augmentation est constatée chez 50 % de répondants et aucun répondant n'a constaté d'effet négatif du digestat sur la teneur en protéines des cultures (CARMEN, 2019 - [Doc 10], Anspach et al., 2007 - [Doc 22]).
- Une augmentation des qualités fourragères des prairies. Avec le digestat, il est possible de réaliser un apport fertilisant après chaque coupe, pour favoriser la production, sans compromettre le pâturage, le digestat peu odorant voire inodore.

De plus, pour les prairies fertilisées avec du digestat, des proportions croissantes d'espèces de graminées souhaitées, avec des valeurs fourragères plus élevées, sont observées grâce à l'application de digestat, conduisant à des teneurs énergétiques plus élevées des aliments pour animaux (Blumenstein et al., 2015 – [Doc 6]).

En synthèse, la fertilisation à partir de digestat en agriculture biologique a également un impact positif sur la qualité des productions :

- **Augmentation de la teneur en protéine et en gluten des grains (+10% en moyenne),**
- **Augmentation de la qualité des prairies fourragères et de leur appétence par rapport à une fertilisation à partir d'effluents agricoles, car le digestat est inodore.**

2.4.4 Sur les adventices et germes pathogènes

Les herbicides de synthèse sont interdits en agriculture biologique, la gestion des mauvaises herbes doit être soigneusement étudiée lors de la conception et de la gestion des rotations de cultures.

Selon une partie des auteurs de la bibliographie, l'influence de la méthanisation sur la gestion des adventices en agriculture biologique est double et positive. D'une part, la méthanisation de matières végétales et des effluents destinés à la fertilisation des cultures, peut réduire la germination des graines qu'elles contiennent, évitant ou réduisant ainsi le retour au sol de graines non souhaitées (constat réalisé fréquemment chez des agriculteurs biologiques ou conventionnels – Siegmeier T., 2015 [Doc 55]).

D'autre part, la méthanisation de couverts, plutôt que leur broyage et retour au sol, permet de réduire le stock de graines d'adventices du sol.

A l'inverse, pour une partie des auteurs, il est relevé que certains agriculteurs constatent une pression accrue des mauvaises herbes qui pourrait être induite par une plus grande disponibilité de l'azote, entraînant une compétition plus forte sur les cultures principales (eau et rayonnement solaire) (Blumenstein et al, 2015 - [Doc 6]).

L'abondance et la virulence des agents pathogènes sont influencées par la séquence et la fréquence des cultures. Le spectre d'hôtes et la sensibilité aux agents pathogènes dans les précultures affectent considérablement la santé des plantes dans les cultures suivantes. En absence de possibilité de traitement fongicides en AB, une diversification des rotations de cultures par l'intégration de couverts intermédiaires et de cultures dérobées dans le cadre d'un approvisionnement d'unité de méthanisation peut contribuer positivement à la santé des plantes et à la lutte antiparasitaire (Blumentsein et al., 2015 - [Doc 6], Siegmeier T., 2015 - [Doc 55]).

2.4.5 Sur les ravageurs

La mise en culture de plus de surfaces en prairies à des fins énergétiques pourrait avoir un impact sur le développement des rongeurs en période hivernale, particulièrement si la hauteur de la culture dépasse les 10 cm, il faudra donc veiller à ce que la hauteur de la prairie soit maîtrisée à l'entrée de l'hiver (Hartmann S., 2016 – [Doc 12]).

La mise en place de CIVE en agriculture biologique, à la place d'une CIPAN, pourrait avoir un impact positif en limitant le développement des limaces favorisé par le broyage et l'enfouissement des CIPAN (Rivry-Fournier C., 2020 – [Doc 20]).

2.4.6 Sur la concurrence fourragère

L'augmentation notable des prairies et des cultures fourragères permise par la fertilisation à partir de digestat, permet généralement l'amélioration de l'autonomie fourragère des exploitations (Hartmann S., 2016 - [Doc 12]).

Plusieurs études compilant la modélisation de 12 cas types mettent en avant que la crainte d'une compétition entre la production de cultures alimentaires/fourragères et les cultures énergétiques n'est pas fondée, et que si l'intégration de la méthanisation est correctement conduite, elle est un exemple révélateur d'une intensification durable.

Par ailleurs, la fertilisation des prairies, après chaque coupe ou période de pâturage, permet d'augmenter la productivité de la parcelle en quantité, mais également dans le temps. Les cheptels pourraient donc dans certains cas rester plus longtemps au champ.

2.4.7 Sur les GES

L'impact sur le bilan GES des fermes en agriculture biologique avec méthanisation est variable, en fonction du système de référence, des matières méthanisées et des pratiques de stockage des matières mises en œuvre (Seigmeier T., 2015 - [Doc 55]).

Le potentiel de pertes d'azote peut être augmenté dans une ferme bio avec méthanisation. En effet, un stockage ou un épandage inapproprié de digestat peut annuler les avantages de l'intégration de la méthanisation. Le pH et la teneur en ammoniac (NH₃) des digestats sont plus élevés que les déjections brutes (Gericke et al., 2011). Il est donc indispensable que leur valorisation soit associée à des pratiques d'épandage adaptées et que le stockage amont et aval des matières le soit également (particulièrement couverture de la fosse à digestat).

Möller et al. , 2008a - [Doc 12] ont trouvé que les pertes de NH₃ dans une ferme bio étaient significativement plus élevées pendant le stockage (+ 300 %) pour le lisier non méthanisé par rapport au lisier méthanisé. Cependant, lors de l'épandage aux champs, les émissions de NH₃ des effluents digérés dépassent celles des non-digérés, ce qui conduit à des bilans d'émissions de NH₃ égaux pour les systèmes avec ou sans méthanisation.

Afin d'éviter les émissions de NH₃, les digestats doivent être incorporés au sol immédiatement après épandage au champ (Möller et al., 2008a - [Doc 12]). En général, les émissions sont les plus faibles lorsque les digestats sont injectés directement dans les sols. Des émissions plus élevées se produisent avec des techniques d'épandage près du sol, comme les rampes pendillards, et les plus élevées lorsque les digestats sont appliqués à travers un système de projection, type buse palette (Wulf et al., 2002 ; Nkoa, 2013).

Par ailleurs, le risque de lessivage des nitrates provenant de l'épandage d'effluents, particulièrement les fumiers, peut être réduit fortement. En effet, les apports en fumiers sont généralement gérés en amont des besoins des cultures, le temps que le processus de minéralisation de la matière organique dans le sol soit réalisé et devienne disponible pour les plantes. Ce phénomène est à la fois dépendant des caractéristiques physico-chimiques du sol, mais également des conditions météorologiques. Il est donc difficile de prendre tous ces paramètres en compte pour ajuster au mieux les apports.

En méthanisation, le processus de minéralisation étant réalisé pendant la phase de digestion, la meilleure synchronisation de la demande et de l'offre d'azote des cultures (Möller et al., 2008a - [Doc 12]; Möller et Stinner, 2009 [Doc 52]) permet de limiter le lessivage des nitrates. Cette limitation du lessivage est moins évidente si le système sans méthanisation fait déjà de l'épandage de lisier, matière dans lequel la proportion d'azote minéralisé est déjà importante.

En revanche, pour un système bio avec méthanisation de couverts, la situation est différente. En effet, dans un système où les couverts et intercultures sont broyés et restitués au sol, la minéralisation des couverts dans le sol génère des émissions en NH₃ et N₂O importantes (Michal et al., 2013 - [Doc 4], Blumenstein et al., 2015 - [Doc 6]). La méthanisation de ces matières peut être intéressante pour limiter les émissions gazeuses au champ.

Enfin, l'augmentation des rendements et de la qualité protéique des céréales génère une élimination accrue des stocks d'azote du sol dans les scénarios avec méthanisation, ce qui permet de limiter les pertes par lessivage. Cet effet peut également être renforcé par la mise en place de CIVE d'hiver qui vont puiser dans le sol l'azote encore disponible, avant l'hiver (Möller et al., 2011 - [Doc 26] ; Helbig et al., 2007 - [Doc 23]).

Ces tendances ont été confirmées dans le cadre d'une ACV (Michel et al., 2010 - [Doc 25]) qui a comparé deux systèmes de référence sans méthanisation, avec 3 systèmes avec méthanisation. Par ailleurs, il est montré dans cette étude que la construction et la démolition d'une unité de méthanisation ne causent quasiment aucun dommage pour l'environnement.

2.4.8 Sur la MO du sol

Une étude de longue durée sur l'effet de l'épandage du digestat sur le carbone du sol a été menée (Karin et al., 2021 - [Doc 39], Levin K.S., 2021 - [Doc 8]).

En agriculture biologique, les engrais de synthèse n'étant pas autorisés, les agriculteurs sont d'autant plus dépendants de la réserve en MO du sol, comme réservoir de nutriments. Il est donc important de s'assurer que la matière organique (MO) du sol soit maintenue avec une fertilisation par digestat, malgré la dégradation de la matière organique lors de la digestion anaérobie.

Cette étude, conduite **sur 8 ans**, a mesuré des effets, sur la teneur en C du sol, de la fertilisation du digestat et des rotations de cultures pour la production de biogaz avec du trèfle. Elle a porté sur 32 lots de rotations dont 16 fertilisées au digestat et 16 non fertilisées. 10 rotations de 4 ans différentes ont été mises en place. Une prise d'échantillons de sol a été réalisée en 2009 et en 2017 à 30 cm de profondeur.

Crop Rotation	Year 1	Year 2	Year 3 Cover Crop	Year 3	Year 4
CR1a	Lucerne-clover-grass	Wheat (40)	Rye (16)	Maize (55)	Triticale (38)
CR2	Lucerne-clover-grass	Wheat (30)	Rye (16)	Maize (53)	Wheat (31)
CR3	Lucerne-clover-grass	Wheat (28)	Legume/non-legume mixture	Field bean	Wheat (29)
CR4	Lucerne-clover-grass	Wheat (31)	Legume/non-legume mixture	Soybean	Wheat (29)
CR5	Lucerne-clover-grass	Wheat (45)	White clover (3)	Maize and white clover (45)	Triticale (40)
CR6	Clover-grass	Wheat (43)	White clover (3)	Maize and white clover (42)	Maize and white clover (44)
CR1b	Lucerne-clover-grass	Wheat (40)	Rye (16)	Maize (55)	Triticale (38)
CR7	Lucerne-clover-grass	Wheat (38)	Legume/non-legume mixture (8)	Maize (38)	Triticale (40)
CR8	Lucerne-clover-grass	Wheat (45)	Legume/non-legume mixture (8)	Maize (36)	Sunflower and undersown lucerne-clover-grass (34)
CR9	Lucerne-clover-grass (40)	Wheat (69)	Lucerne-clover-grass	Lucerne-clover-grass	Triticale (45)
CR10	Lucerne-clover-grass (50)	Wheat (77)	Lucerne-clover-grass	Lucerne-clover-grass	Lucerne-clover-grass (20)

Figure 10 : Description des 10 rotations analysées pour mesurer l'impact de la méthanisation sur le carbone du sol (Karin et al., 2021 - [Doc 39])

Le carbone du sol a augmenté de manière significative, passant de 1,10 % en 2010 à 1,31 % en 2017. Cette augmentation était significative à la fois dans les parcelles fertilisées et non fertilisées. L'augmentation est plus importante dans les parcelles fertilisées que dans les parcelles non fertilisées (23 % contre 15 % du Carbone Organique). En 2010, six ans après le début de l'expérimentation, le CO dans les parcelles fertilisées était 4 % plus élevé que dans les parcelles non fertilisées et, en 2017, 11 % plus élevé, indiquant que l'effet avait augmenté au fil du temps.

Cette expérience de long terme montre que la culture de trèfle a un effet remarquable sur le carbone du sol, l'augmentant de 0,004% par an, même si la biomasse aérienne est prélevée pour la méthanisation. Le retour des nutriments sous forme de digestat a augmenté la production de biomasse et le carbone du sol encore plus : 0,017% par an.

Cette tendance est confirmée par Hülsbergen K.J. et al, 2019 - [Doc 7].

De plus, en améliorant les rendements de biomasse grâce à une plus grande disponibilité de N due au processus de digestion, la biomasse souterraine - et donc l'approvisionnement en C - est également augmentée (Siegmeier T., 2015 - [Doc 55]). La biomasse racinaire ainsi que les exsudats racinaires contribuent dans une large mesure aux apports de C et sont importants pour la fourniture de matières organiques stables. Par conséquent, une croissance racinaire accrue peut (partiellement) compenser les pertes de C potentielles causées par la méthanisation de la biomasse aérienne. De plus, la réduction d'un travail du sol intensif pour la gestion des adventices dans le système agricole avec méthanisation profite également à la teneur en C du sol, car une perturbation réduite diminue la minéralisation de la matière organique stable et réduit le risque d'érosion du sol. Une réduction des perturbations mécaniques en combinaison avec des effets positifs de la fertilisation du digestat peut encore améliorer la stabilité des agrégats du sol et également bénéficier aux organismes du sol.

L'épandage de digestat peut avoir divers effets sur la micro et la mésofaune du sol. Alors que certains auteurs mentionnent une influence négative potentielle de la fertilisation du digestat sur les communautés microbiennes du sol et les populations de lombricidés endogés, la plupart des études ne trouvent pas de changements quantitatifs dans la vie du sol. En effet, des retours d'enquêtes terrain, sur différents paramètres (métabolisme du carbone du sol, teneur en carbone totale, carbone extractible à l'eau, carbone de la biomasse microbienne, test d'utilisation du substrat du carbone) ne montrent aucune différence significative, malgré de grandes différences d'apport de matières sèches au sol (Michel J et al, 2010 - [Doc 25]).

Cependant, des changements qualitatifs dans les communautés microbiennes peuvent résulter d'une modification de la disponibilité et de la qualité des substrats et peuvent être particulièrement prononcés lorsque l'on compare la fertilisation du digestat avec l'apport de matières organiques solides : fumier, compost (Siegmeier T., 2015 - [Doc 55]; Michel J et al, 2010 - [Doc 55]).

La majorité des retours terrain conclut à une présence accrue de vers de terre et à augmentation de l'activité des microorganismes du sol – sauf en cas d'apport de doses excessives (Brauckmann et al. 2009 ; Petz 2000 ; Sensel et al. 2009).

Ces conclusions méritent d'être étayées par des études complémentaires.

2.4.9 Sur l'économie des méthaniseurs et des fermes

2.4.9.1 *Des projets méthanisation*

En Allemagne, les agriculteurs bio sont les pionniers du développement de la méthanisation, mais ils sont structurellement moins compétitifs que les producteurs conventionnels (moins de production de biomasse, peu de cultures dédiées, biomasse moins méthanogène, investissements et coûts de production supérieurs).

L'étude, menée par Blumenstein B et al, 2016 – [Doc 3], se base sur des installations en cogénération. Elle a montré que les coûts d'investissement sont en moyenne de 12% plus importants en AB, principalement à cause des propriétés physico-chimiques des matières entrantes qui sont plus ligneuses que l'ensilage de maïs en agriculture conventionnelle, nécessitant un temps de digestion plus long et donc des cuves de digestion plus grande. Les charges d'exploitation sont aussi globalement plus élevées, avec des besoins d'agitation du mélange en digestion plus importants, conduisant à des consommations électriques supérieures.

Ce constat ne peut pas être appliqué au contexte de méthanisation en France, puisque l'approvisionnement des méthaniseurs français en système conventionnel est beaucoup plus diversifié qu'en Allemagne, incluant déjà dans la plupart des cas la digestion de matières ligneuses telles que les fumiers ou les CIVE d'hiver à base de seigle forestier par exemple.

L'interdiction du recours au maïs conventionnel, dans les méthaniseurs bio allemands, prévue à partir de 2020, pourrait devenir un défi économique important car la biomasse issue de l'agriculture biologique est plus chère à produire que la biomasse conventionnelle. Parmi les agriculteurs bio enquêtés en 2011 et 2013/14, 60 % estimaient que leur unité ne serait plus rentable s'ils devaient remplacer la digestion de maïs conventionnel par de la production d'intercultures bio. Ce qui pourrait aboutir à la déconversion d'exploitations agricoles bio et porteuses d'unités de méthanisation, pour pérenniser leur rentabilité (Blumenstein et al, 2015 - [Doc 6]).

En effet, en Allemagne le coût de transport de la biomasse en AB semble plus important, qu'en agriculture conventionnelle, du fait d'une situation géographique de l'unité de méthanisation moins centralisée et représente 50% du coût de production de la biomasse Bio. Le coût de production de la biomasse plus élevé et leur productivité moindre font augmenter le coût global de production par rapport aux conventionnels. L'analyse de sensibilité montre que le prix d'achat de biomasse est le facteur principal de la rentabilité de l'installation, avant l'investissement et la maintenance. Néanmoins, en prenant en compte l'effet système "intégré" de la méthanisation en AB, beaucoup de co-bénéfices agronomiques, et donc économiques, sont observés (Blumenstein et al, 2016 – [Doc 3]).

Mais l'unité de méthanisation bio doit être parfaitement intégrée au système agricole bio pour envisager une rentabilité acceptable, notamment concernant la valorisation de chaleur issue de la cogénération (taux de valorisation moyen de la chaleur de 54% pour du séchage ou du chauffage de maison), là où les fermes conventionnelles avec méthanisation se contentent généralement de ne vendre que l'électricité (Ansapch et al., 2007 - [Doc 22]).

En conclusion, pour atteindre un équilibre économique convenable, les fermes bio avec méthanisation doivent être plus vigilantes sur les matières entrantes, sur la valorisation thermique et sur la gestion optimisée du digestat, qu'en conventionnel : la méthanisation doit être parfaitement intégrée au système agricole.

2.4.9.2 Des exploitations agricoles

La méthanisation conduit les fermes en AB à une intensification écologique du système agricole : l'optimisation du cycle des nutriments, particulièrement de l'azote, génère des rendements de culture significativement plus élevés, et des qualités de production (teneur en protéine des grains et en gluten) également supérieures.

Cette optimisation des qualités et quantités de production conduit directement à une meilleure rentabilité des exploitations. En effet, par exemple, ces propriétés de boulangerie améliorées se traduisent par des prix de vente plus élevés pour les céréales et donc par une augmentation du revenu agricole global (Blumenstein et al, 2015 - [Doc 6] ; Helbig et al., 2007 - [Doc 23]).

Une comparaison de deux systèmes agricoles identiques bio avec ou sans valorisation des CIPAN (mélange graminée/légumineuse) en méthanisation, montre que le système avec méthanisation et son impact sur les rendements des cultures de rente permet d'augmenter de 300 €/ha le bénéfice par rapport au système de référence (Serdjuk M.,2017 -[Doc 9]).

2.5 Matrice des capacités de l'analyse bibliographique

Les principales conclusions de l'analyse de la bibliographie disponible sur le sujet, ont été retranscrites dans la matrice des capacités suivante :

- Effet très positif et consensuel de la méthanisation sur les systèmes agricoles de production AB:
 - o Sur les pratiques de fertilisation azotée (permettant une intensification optimisée et durable du cycle de l'azote),
 - o Sur l'augmentation des rendements des cultures principales, essentiellement céréales d'hiver, maïs et prairies, avec une hausse moyenne de 20 à 25 % des rendements par rapport à une exploitation bio sans méthanisation,
 - o Sur l'amélioration de la qualité des productions de céréales et des prairies (hausse de 10 à 11 % de la teneur protéique de grains),
 - o Sur la rentabilité des fermes.

- Effet positif plus modéré ou qui présentent des résultats plus hétérogènes:
 - o Les ravageurs et les adventices : avec des situations contrastées observées sur le terrain et pour lesquelles des investigations complémentaires sont nécessaires,
 - o Les GES, pour lesquels les résultats dépendent beaucoup des pratiques du système de référence, et des bonnes pratiques de stockage et d'épandage associées à la méthanisation.
 - o Les rendements sur les cultures oléagineuses semblent également impactés positivement, mais les retours terrains sont beaucoup moins nombreux que sur céréales, maïs et prairies.
 - o Enfin l'impact de la méthanisation sur les cycles des autres nutriments, comme pour le Phosphore et le Souffre semblent également positifs, mais sur la base d'un faible nombre d'observations.

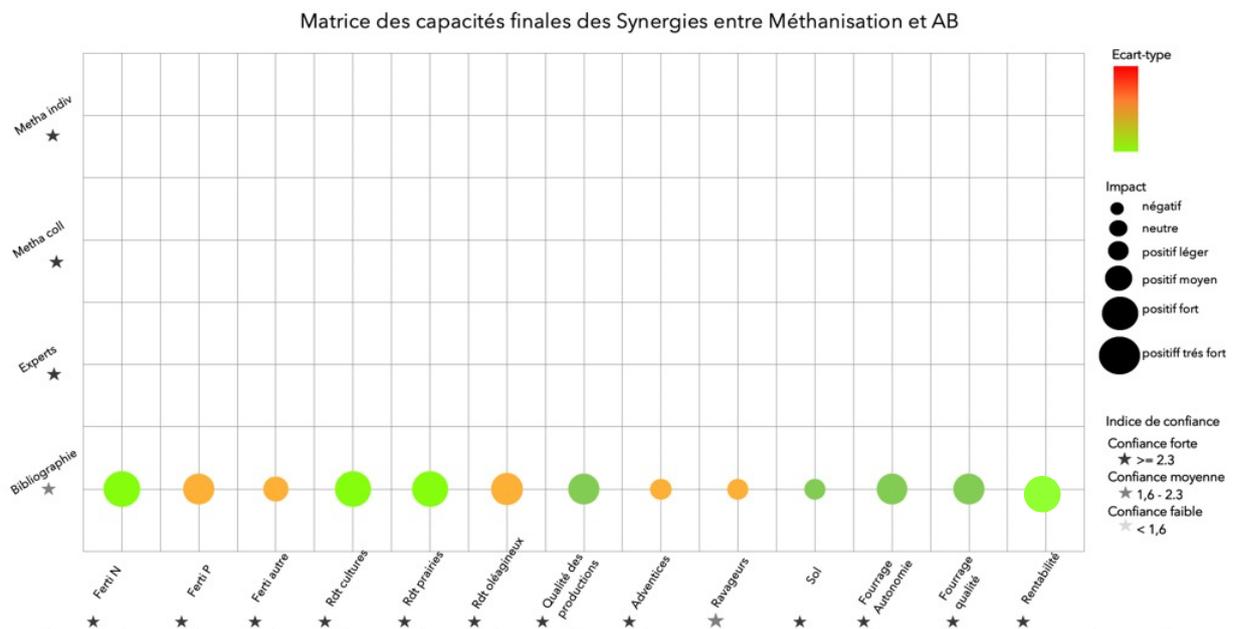


Figure 11 : Matrice des capacités de l'analyse bibliographique (source : SOLAGRO)

3 PHASE 2 : ENQUETE D'ACTEURS

L'analyse bibliographique a permis d'identifier une liste de synergies et de verrous :

- Sur la fertilisation,
- Sur les rendements des cultures principales,
- Sur la qualité des cultures principales,
- Sur le risque de concurrence fourragère pour les cheptels,
- Sur la qualité du sol (matière organique et biodiversité),
- Sur la gestion des adventices,
- Sur la gestion des pathogènes,
- Sur les consommations d'énergie et les émissions de GES des systèmes agricoles,
- Sur la rentabilité et la résilience économique des fermes.

Ces items ont été soumis à une quinzaine d'acteurs des filières AB et méthanisation. :

- Acteurs de la filière agriculture biologique et de la filière méthanisation : présentation et discussions autour des synergies et freins identifiés dans la littérature,
- Agriculteurs bio et méthaniseurs : expertise et retours d'expérience vis-à-vis des impacts identifiés

N°	Filière	Structure	NOM	Prénom	Fonction
1	AB	Université de Kassel/Allemagne	Blumenstein	Benjamin	Chercheur à l'université / en charge de l'enquête des méthaniseurs bio
1	AB	Université de Kassel/Allemagne	Siegmeier	Torsten	Chercheur à l'université / en charge de l'enquête des méthaniseurs bio
2	AB	INAO	Thomas	Sandrine	Experte Intrans en AB
3	AB	Agrobio 35	Toulet	Laura	Animatrice commission énergie Agrobio 35
4	AB	FNAB/ITAB	Manteau	Johana	Chargée de mission Climat
5	AB	Ecozept	SCHAER	Burkhard	Directeur
6	métha	ACE Méthanisation	Vrignaud	Grégory	Directeur
7	métha	Biogaz Done Right / chercheur au CRPA	MANTOVI	Paolo	Chercheur élevage - épandage du digestat - Biogaz Done Right
8	métha	AAMF / Agriculteur méthaniseur adhérent	Collin	Philippe	Agriculteur méthaniseur adhérent
9	métha	AAMF / Agriculteur méthaniseur adhérent	Laurent	Matthieu	Agriculteur méthaniseur adhérent
10	métha	AAMF / Agriculteur méthaniseur adhérent	Meinrad	Philippe	Agriculteur méthaniseur adhérent
11	agriculteur	Gaec des Charmes	Charmoy	Jules	Porteur de projet méthanisation
12	agriculteur	GAEC du chatelet	Doyen	Eric	Porteur de projet méthanisation
13	agriculteur	SARL Energie Plus	Briant	Dominique	Porteur de projet méthanisation
14	agriculteur	Ferme du Pti Gallo	Simon	Yves	Porteur de projet méthanisation
15	agriculteur	Valbio énergie	Davillé	Vincent	Repreneur digestat du projet collectif
16	agriculteur	Demeter énergie	Biteau	Thomas	Porteur de projet méthanisation

Figure 12 : liste des acteurs enquêtés (Source : Solagro)

Pour proposer une restitution visuelle des résultats, Solagro a choisi d'utiliser la matrice des capacités (cf. figure suivante). Cette méthode permet d'établir la capacité de la méthanisation à fournir des effets sur différents indicateurs selon le recueil des connaissances d'un panel d'interlocuteurs.

Sur l'axe des abscisses, sont listés les différents indicateurs agronomiques, environnementaux et socio-économiques, qui ont été identifiés dans l'analyse bibliographique et au travers des entretiens d'acteurs de la filière.

En ordonnée, 4 catégories ont été créées, selon l'origine des données :

- Une première ligne sur les éléments issus de l'analyse bibliographique ;
- Une deuxième ligne sur les retours des entretiens experts ;

- Les deux dernières lignes, concernent les retours terrains d'agriculteurs qui ont été divisés en 2 catégories, selon qu'ils étaient liés à une unité de méthanisation individuelle ou collective.

Pour chaque indicateur, une note de l'impact de la méthanisation sur le système agricole conduit en agriculture biologique, a été établie : ainsi, plus l'impact est positif, plus le rond qui le représente est gros.

Chaque rond sera également caractérisé par un code couleur : plus le rond est vert, plus la notation obtenue a fait l'unanimité ; en revanche, plus le rond est rouge, plus les retours terrains étaient hétérogènes.

Enfin, il a été demandé aux acteurs de qualifier le niveau de certitude de leur réponse, qui est matérialisé par l'indice de confiance :

- Note de 3 : je suis sûr de la réponse que j'apporte,
- Note de 1 : je ne suis pas du tout sûr de moi.

Matrice des capacités finales des Synergies entre Méthanisation et AB

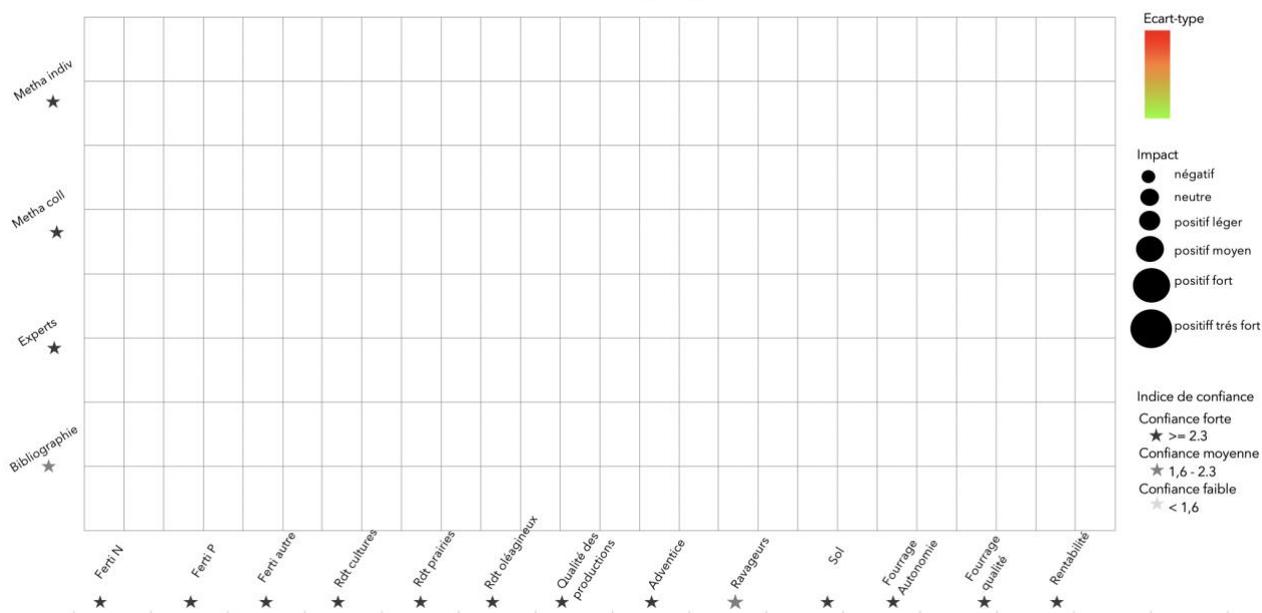


Figure 13 : Matrice des capacités vierge (source : Solagro)

Pour rappel, une quinzaine d'acteurs ont été contactés pour conforter ou non les conclusions issues de l'analyse bibliographique :

- Acteurs de la filière bio et de la filière méthanisation : afin de leur présenter les synergies et freins identifiés dans la littérature, et de leur demander si d'autres leviers étaient identifiés
- Agriculteurs bio et méthaniseurs : pour leur demander leur expertise en termes de notation des impacts identifiés sur leur système d'exploitation.

N°	Filière	Structure	NOM	Prénom	Fonction
1	AB	Université de Kassel/Allemagne	Blumenstein	Benjamin	Chercheur à l'université / en charge de l'enquête des méthaniseurs bio
1	AB	Université de Kassel/Allemagne	Siegmeier	Torsten	Chercheur à l'université / en charge de l'enquête des méthaniseurs bio
2	AB	INAO	Thomas	Sandrine	Experte Intrans en AB
3	AB	Agrobio 35	Toulet	Laura	Animatrice commission énergie Agrobio 35
4	AB	FNAB/ITAB	Manteau	Johana	Chargée de mission Climat
5	AB	Ecozept	SCHAER	Burkhard	Directeur
6	métha	ACE Méthanisation	Vrignaud	Grégory	Directeur
7	métha	Biogaz Done Right / chercheur au CRPA	MANTOVI	Paolo	Chercheur élevage - épandage du digestat - Biogaz Done Right
8	métha	AAMF / Agriculteur méthaniseur adhérent	Collin	Philippe	Agriculteur méthaniseur adhérent
9	métha	AAMF / Agriculteur méthaniseur adhérent	Laurent	Matthieu	Agriculteur méthaniseur adhérent
10	métha	AAMF / Agriculteur méthaniseur adhérent	Meinrad	Philippe	Agriculteur méthaniseur adhérent
11	agriculteur	Gaec des Charmes	Charmoy	Jules	Porteur de projet méthanisation
12	agriculteur	GAEC du chatelet	Doyen	Eric	Porteur de projet méthanisation
13	agriculteur	SARL Energie Plus	Briant	Dominique	Porteur de projet méthanisation
14	agriculteur	Ferme du Pti Gallo	Simon	Yves	Porteur de projet méthanisation
15	agriculteur	Valbio énergie	Davillé	Vincent	Reprenneur digestat du projet collectif
16	agriculteur	Demeter énergie	Biteau	Thomas	Porteur de projet méthanisation

Figure 14 : liste des acteurs enquêtés (Source : Solagro)

3.1 Retour d'enquêtes des acteurs de la filière bio et méthanisation

Plusieurs acteurs ont été sollicités pour leur connaissance de l'une ou de l'autre des filières analysées.

3.1.1 Université de Kassel en Allemagne

L'université de Kassel, en Allemagne, a été contactée à la sollicitation de Benjamin Blumenstein et Torsten Siegmeier, chercheurs ayant travaillé sur l'enquête pluriannuelle des méthaniseurs bio, à l'origine de la publication de nombreux articles sur le sujet.

L'objet de leur entretien était de savoir si cette enquête pluriannuelle avait perduré après 2014, si de nouveaux résultats étaient disponibles et si d'autres programmes de R&D étaient en cours sur le sujet. L'objet des échanges était également de mieux comprendre pourquoi, alors que les méthaniseurs bio représentaient 70 % des unités de méthanisation au démarrage de la filière dans les années 90, ils ne représentent actuellement plus que 1,6 % du parc des unités de méthanisation allemandes.

Ils expliquent que la méthanisation n'a finalement pas émergé sur les exploitations bio pour diverses raisons :

- La limitation au recours de maïs conventionnel et donc la baisse de ressources mobilisables,
- L'absence d'un tarif spécial de soutien à la méthanisation en AB qui a une rentabilité plus faible qu'en agriculture conventionnelle,
- Et dans une moindre mesure, la taille des fermes agricoles bio (47 ha en moyenne), là où il faudrait mobiliser 120 à 340 ha de SAU pour un projet de méthanisation à 75 kWel et 820 à 1 500 ha pour une unité de méthanisation en cogénération pour 500 kWel.

Actuellement il n'y a pas de programme de R&D en cours sur le sujet, néanmoins quelques sujets de recherche nécessiteraient d'être approfondis, comme la digestion de biomasse excédentaire ou résiduelle (ex de la paille), la dynamique des sols et l'impact de la méthanisation sur les rotations de cultures.

Les freins identifiés sur le déploiement de ces deux filières sont la baisse des subventions et l'opinion publique sur la méthanisation.

3.1.2 L'INAO : Institut National de l'Origine et de la qualité

Contact : Sandrine Thomas

L'INAO est un établissement public placé sous la tutelle du ministère de l'agriculture, dont la mission est de garantir une application uniforme de la réglementation européenne par les Organismes Certificateurs français. Elle fait aussi remonter les interprétations nationales au niveau de la Commission Européenne pour s'assurer de l'homogénéité d'application à l'échelle européenne.

Le groupe d'experts appelé à formuler des avis techniques sur la production biologique (EGTOP) est un groupe permanent chargé de formuler des avis sur de nombreux domaines de la production biologique.

Pour le pôle bio de l'INAO, le recyclage des biodéchets en AB paraît essentiel et la méthanisation présente plusieurs intérêts pour la filière AB :

- Le retour de la MO au sol,
- L'augmentation des rendements,
- Les apports de N non agricole.

Néanmoins, la filière méthanisation suscite encore des interrogations qui méritent d'être investiguées : le retour au sol des microplastiques, les risques d'exploitation, les Éléments Traces Métalliques (ETM), les produits phytosanitaires, les produits vétérinaires et les antibiotiques humains/animaux, ainsi que leur retour au sol via l'épandage du digestat.

3.1.3 Agrobio 35

Contact : Laura Toulet

Les exploitations agricoles bio françaises sont généralement organisées en :

- GAB : groupements Agriculture Bio à l'échelle départementale, lesquels adhèrent aux FRAB
- FRAB : fédération régionale pour l'agriculture bio, lesquelles adhèrent à la FNAB,
- FNAB : fédération nationale pour l'agriculture bio.

Agrobio 35 est donc le GAB d'Ille et Vilaine. Il est l'une des premières instructions bio à avoir émis un avis sur le développement de la méthanisation en Agriculture biologique au travers de la parution de son livre blanc en novembre 2021.

Vu le contexte agricole du département et le rythme exponentiel de développement des projets de méthanisation en Bretagne, les différents agriculteurs de la commission d'Agrobio35 ont été sollicités par les collectivités ou leurs voisins agriculteurs soit pour donner leur avis sur le sujet, soit pour entrer eux même dans un projet de méthanisation. Ils avaient beaucoup d'a priori, mais pas de vision complète sur le sujet, c'est pourquoi Agrobio35 a décidé de travailler sur le sujet.

L'objectif de cette commission est de définir les points de vigilance à retenir quand une ferme bio veut s'engager dans un projet de méthanisation, chaque agriculteur bio est

ensuite libre de suivre ou non les recommandations de ce livre blanc.

Agrobio35 n'a pas d'avis défavorable sur la méthanisation, mais manque de recul sur les impacts de ce procédé. Cette note conclut d'ailleurs qu'à ce jour le déploiement de la méthanisation n'est pas une priorité pour les exploitations AB qu'ils ont choisi de soutenir. Leurs objectifs prioritaires sont l'autonomie énergétique et fourragère des exploitations Bio et la protection des sols.

Pour Agrobio35, beaucoup d'agriculteurs s'inscrivent en méthanisation sans faire évoluer leur système. Ils craignent que la méthanisation ancre les exploitations dans des systèmes de production peu durables.

Néanmoins, la présentation des résultats de la synthèse bibliographique pourrait conduire à faire évoluer leur positionnement, si la méthanisation s'avérait être un réel outil de durabilité et d'efficacité des systèmes bio et d'accompagnement dans la transition des systèmes agricoles, notamment sur la baisse des cheptels. Pour cela, il serait nécessaire d'acquérir des retours terrains sur les exploitations biométhanisatrices en France.

Parmi les questions qui doivent être approfondies, il y a :

- L'impact de la méthanisation sur la qualité biologique du sol, sur le risque de blocage du sol, par rapport à une MO stable importante, au travers du retour au sol du digestat,
- Les niveaux de toxicité des digestats (éléments résiduels des IAA ou résidus de produits phytosanitaires).

Pour cela, Agrobio35 préconise un suivi régulier de la santé du sol.

3.1.4 La FNAB

Contact : Johana Manteau

La FNAB défend une charte de la Bio avec un lien au sol fort, l'autonomie des exploitations, la taille des exploitations...

Le réseau FNAB a été interpellé il y a quelques années sur le sujet de la méthanisation en AB. Il y a eu une mise en débat au sein de la fédération, au terme de laquelle a émergé une grille de lecture, validée par le Conseil d'administration :

- 1) La méthanisation ne doit pas se faire au détriment de la qualité des sols, donc le digestat doit être qualifié UAB (utilisable en agriculture biologique), avec l'absence de boues de STEP notamment, et d'effluents industriels.
- 2) Le CA rappelle l'importance d'une réalisation d'un projet d'unité de méthanisation dans l'intérêt de l'agriculture et non pas de l'énergie. Ainsi les agriculteurs doivent être majoritaires au niveau de la société de projet, et également ouverts au financement participatif citoyen.
- 3) Pas de critère de taille de projet défini, mais doit être adapté au potentiel du territoire en question, la méthanisation ne doit pas créer de déchet pour produire de l'énergie.
- 4) Point de vigilance sur les projets : pas de recours à une culture dédiée (Culture énergétique) : il faudrait savoir si cela inclue les CIVE ; pas de concurrence avec

les systèmes d'élevage (pas de concurrence fourragère sur les CIVE) ; pas de recours à l'irrigation

- 5) Pas de nuisance territoriale dans un territoire élargi – cela doit être étudié par un acteur sans intérêt financier vis-à-vis du développement des projets.

La FNAB n'est pas contre la méthanisation. Son rôle est de mettre en exergue certains points de vigilance. D'ailleurs, elle manifeste son intérêt de continuer à s'acculturer sur le sujet, notamment sur les points positifs que la méthanisation peut apporter au développement de la filière bio.

A court terme, les interrogations de la FNAB sont encore variées :

- Qu'apporte la méthanisation au territoire ? Quels en sont les impacts sur l'environnement ? notamment ceux de l'épandage du digestat sur la qualité de l'eau ;
- Quels sont les impacts économiques sur les fermes ?
- Y a-t-il des retours sur le carbone et la biologie du sol ?
- Comment la méthanisation peut influencer l'impact de l'AB sur la transition écologique et énergétique ?

3.1.5 ECOZEPT

Contact : Burkhard Schaer

ECOZEPT est une agence d'expertise-conseil et de recherche franco-allemande, spécialisée dans les marchés agroalimentaires durables, l'économie circulaire et la gestion durable des espaces agricoles. L'entreprise a été fondée en 2000 et est située en Allemagne (Freising) et en France (Montpellier).

Ecozept a été enquêtée pour obtenir un avis sur le déploiement des deux filières : maintenant que le marché de la méthanisation est mieux réglementé, l'agence ne voit pas de frein au déploiement de la méthanisation en AB.

Néanmoins, il identifie deux points complémentaires à investiguer :

- L'impact de la méthanisation sur la matière organique du sol,
- L'influence de la méthanisation sur la séquestration du C (carbone) dans le sol.

3.1.6 ACE Méthanisation

Contact : Grégory Vrignaud

ACE est une entreprise de conseil spécialisée dans l'expertise agronomique et énergétique des projets de méthanisation. Elle accompagne la mise en place de projets de méthanisation tout en restant cohérent avec le système de culture et en veillant à respecter le fonctionnement des sols agricoles.

ACE accompagne généralement des projets de méthanisation collectifs (5 à 50 exploitations) mais réalise aussi du conseil agronomique sur des unités individuelles.

Quasiment tous les projets de méthanisation accompagnés intègrent une ou plusieurs exploitations agricoles bio.

Les objectifs de ces fermes bio sont généralement les suivants :

- Optimisation de la fertilisation N (azote) pour les systèmes effluents/élevage,
- Amélioration de la rotation pour les bio grandes cultures,
- Récolte de CIVE (solution mécanique pour leur destruction) et la gestion des adventices.

Le principal frein qu'il identifie est le décalage entre l'image de la filière bio, et l'intensification agroécologique que permet la méthanisation.

Actuellement, ACE travaille sur plusieurs sujets :

- Essai de l'impact des différents PRO sur les rendements et les qualités des productions des cultures en bio ;
- Essai de comparaison d'espèces de CIVE plus ou moins efficaces en termes de concurrence d'adventices ;
- Essai sur différentes associations de céréales/légumineuses : différentes espèces, date de semis, proportion, type de sols...

Parmi les sujets à creuser pour la suite, il identifie les suivants :

- Proportions de légumineuses et niveau de fertilisation des CIVE, pour générer un excédent azoté disponible pour la fertilisation des autres cultures du système,
- Quelles évolutions réglementaires européennes sont à prévoir pour l'intégration de la méthanisation en AB ? Les évolutions réglementaires à prévoir pour l'intégration de la méthanisation en AB (origine et conditions logistique de mobilisation des biodéchets non agricoles, origine des effluents en provenance de l'agriculture conventionnelle).⁵
- Les éventuels impacts de la méthanisation sur la séquestration du carbone dans le sol et la valorisation économique potentielle.

3.1.7 CRPA (Centre de Recherche Italien de la production animale)

Contact : Paolo MANTIVI

La grande majorité des unités de méthanisation en Italie sont installées sur des fermes conventionnelles, il y en a quelques-unes en AB mais il n'y a pas de données officielles sur le nombre. Le modèle de développement de la méthanisation en Italie ne s'est pas fait par les fermes en AB comme en Allemagne, mais au contraire sur des grosses exploitations d'élevage de bétail et porc. Le CRAP n'a donc pas de programme de recherche sur la thématique méthanisation et AB.

Le concept italien de Biogaz Done Right, peut présenter une opportunité pour le déploiement de la méthanisation en AB en Italie. En effet, les agriculteurs en bio ont déjà tendance à couvrir leurs sols autant que possible afin de réduire les adventices, fixer l'azote et produire de la matière organique qui pourra être réutilisée par le sol. Ils ont l'habitude de recycler la matière organique fraîche dans le sol, pour l'instant seuls quelques-uns ont une méthanisation pour valoriser ces intercultures. Il y a débat entre

⁵ Ce point a été solutionné suite aux groupes de travail mis en place avec l'INAO en 2023 – voir Note de lecture Version du 07/11/2023 Biodéchets compostés ou fermentés Annexe II du règlement (UE) n° 2021/1165 pris en application de l'article 24. 1.b) du règlement (UE) n° 2018/848)

ceux qui prônent l'utilisation de la matière organique fraîche et ceux qui prônent l'utilisation de digestat car la matière organique serait plus stable et donc plus efficace dans le sol.

Aujourd'hui il y a peu de méthanisation en bio car les exploitations bio sont de petites fermes qui n'ont pas les finances pour se lancer dans des projets de méthanisation. Cependant, les agriculteurs bio, comme les non bio, sont de plus en plus intéressés par le digestat, particulièrement depuis la montée importante des prix des engrais. Beaucoup d'entre eux se tournent vers des méthaniseurs pour en obtenir.

3.2 Retour d'enquêtes des agriculteurs français bio et méthaniseurs

3.2.1 Le panel enquêté

Parmi la soixantaine d'unités de méthanisation françaises, identifiées comme incluant une ou plusieurs exploitations bio dans le projet, 13 agriculteurs bio et méthaniseurs ont été contactés dans le cadre de cette étude, afin d'obtenir leur retour d'expérience sur l'impact d'un méthaniseur sur leur système agricole. 4 n'ont pas répondu.

N°	Structure Métha	Ferme/Agri	Type	Valo	Puissance	Techno	MES	Conversion AB	Réalisation
1	SAS Bordenergie		Collectif	Injection		VL	2020	2020	 Pas de retour
2	Valbioenergie	V. Davillé	Collectif	Injection	180 Nm3/h	VL	2020	2020	
3	SAS Sol'Ogaz		Collectif	Injection		VL			 Pas de retour
4		S. IDRAC	Individuel	Injection		VL	À venir		 Pas de retour
5	DEMETER Energie	B. BITEAU	Collectif	Cogénération	500 kWe	VL	2018	2018	
6	Methacylce	J. CHARMOY	Collectif	Cogénération	350 kWe	VL	2019	1999	
7	GAEC du chatelet	E.DOYEN	Individuel	Cogénération	200 kWe	VL	2013	2016	
8	Ferme du Pti Gallo	Y. SIMON	Individuel	Autoconso		Nénuphar		1998	
9	Emergence Bio		Individuel	Cogénération		VSD	2013	2007	 Pas de retour
10	SARL Energie plus	D. BRIAND	Individuel	Cogénération	250 kWe	VL	2011	2008	
11	METHAVAIR	M. LAURENT	Collectif	Cogénération	450 kWe	VL	2018	2016	
12	SARL Eurek'alias	P. COLLIN	Individuel	Cogénération et bioGNV	350 kWe dt 50 kWe en GVN	VL	2010	2014	
13	Agrivalor	P. MEINRAD	Collectif	Cogénération	2,8 MWe	VL	2011		

Figure 15 : Liste des agriculteurs bio et méthaniseurs contactés dans le cadre de l'enquête (Source : Solagro)

Le choix des unités enquêtées s'est fait sur la base de plusieurs critères :

- Date de conversion (avant méthanisation, simultanément à la méthanisation ou après la méthanisation)
- Type d'unité : Individuelle ou collective
- Type de valorisation d'énergie : Cogénération ou injection
- Typologie de l'approvisionnement : mixte effluents/Cultures ou dominante cultures

- Date de mise en service de l'unité de méthanisation
- Technologie de digestion (infiniment mélangé, voie solide, couverture de fosse).

L'objectif étant d'avoir un panel assez représentatif de l'hétérogénéité des modèles de méthanisation agricole français.

Sur les 9 enquêtes agricoles réalisées :

- 4 concernent des unités de méthanisation collectives et 5 des unités de méthanisation individuelles
- 1 est en injection et 8 sont en cogénération
- Les mises en services s'étalent sur 2010 (1), 2011 (2), 2013 (1), 2018 (2), 2019(1) et 2020 (1)
- Toutes fonctionnent avec une technologie de digestion en infiniment mélangée, seule une exploitation possède un système de couverture de fosse uniquement (Nénufar).
- Date de conversion AB, par rapport à la date de mise en service de l'unité de méthanisation : 2 avant, 4 simultanément, et 2 après.

N°	Structure Métha	Tonnage (t/an)	Type	Nb de ferme	Nb de ferme Bio	Divers
2	Valbioenergie	31 000	Fumier, CIVE Seigle/Sorgho, Déchets pdt et oignons, Fientes et lisier	5	1	
5	DEMETER Energie	22 670	Fumier, Lisier, CIVE (5%), Sorgho (4%), Issues de céréales (6%), Lait déclassé (7%)	12 + 2 coop	0	Les fermes bio ne reprennent que du digestat, certifié UAB
6	Methacylce	9 500	Fumier, Lisier, Petit lait, Ensilage sorgho et paille Sarrasin, Déchet céréales, déchet maïs doux, Huile de friture	1 coop + 2 Fermes+ 1 CUMA	1	Valo chaleur pour séchage mutliproduits + 50 Kwe en 2021
7	GAEC du chatelet	9 500	Lisier/fumier/CIVE seigle (65%)	1	1	Séchage bois d'œuvre – Aucun problème d'acceptabilité
8	Ferme du Pti Gallo	1 300	Du lisier sur 3 mois par an car pâturage le reste du temps	1	1	Gaz surtout en printemps valorisation sur l'atelier de transfo yaourt
10	SARL Energie plus	6 835	Fumier, Issues de céréales (31%), restes lavandin et maïs (4%), déchets champignonnière (4%)	1	1	Chauffage Elevage, ECS, séchoir multiproduits, serre maraichère 2000 m2
11	METHAVAIR		Effluent (60%) et biodéchets (40 %)			
12	SARL Eurek'alias		Fumier, lisier, déchets IAA, ensilage d'herbe	1	1	EE des exploitations voisines
13	Agrivalor	35 000	Effluents agricoles et déchets d'IAA (60%)	3	1	Digestat non certifié UAB, donc achat de digestat à une autre méthanisation

Figure 16 : description du panel d'unités de méthanisation enquêtées (Source Solagro)

Les unités de méthanisation enquêtées traitent :

- De 1 300 t/an à 35 000 t/an,
- Systématiquement une part d'effluents agricoles (lisiers/fumiers),
- Utilisent généralement la chaleur de cogénération pour du séchage de biomasse, du chauffage de bâtiments d'élevage ou de serres ou du chauffage de maisons.

N°	Structure Métha	Ferme enquêtée	OTEX	SAU total	SAU culture	Base d'échange	Remarques
2	Valbioenergie	SCEA d'Aquitaine	BV + céréales	245	208	1 pour 1	Création d'un GIEE pour travaillé sur le digestat et la MO du sol – trop récent
5	DEMETER Energie		Porc + Céréales	300			Conversion en bio en réponse aux aléas climatiques
6	Methacylce	GAEC des Charmes	BV et porc plein air	300	168		
7	GAEC du chatelet	GAEC du chatelet	BV + céréales	260	100	aucune	La conversion bio a été permise par la métha
8	Ferme du Pti Gallo		BV	100	80		Peu d'impact sur son lisier/ Retard l'épandage
10	SARL Energie plus	EARL Ferme des Guerrières	BV	118	25	Tout sur la ferme	Surdimensionné, achat issues 40 €/t
11	METHAVAIR		BL +Céréales	300	120		
12	SARL Eurek'alias		Polyculture élevage (viande à l'herbe				
13	Agrivalor						

Figure 17 : Description des fermes bio enquêtées (Source : Solagro)

Les fermes bio engagées en méthanisation qui ont été enquêtées sont généralement des fermes en polycultures élevage (Bovin lait, bovin viande ou porcin), dont la SAU varie de 100 ha à 300 ha.

3.2.2 Le contenu de l'enquête

Les données collectées lors de ces entretiens sont de nature assez variée :

- Données techniques de l'exploitation (Raison sociale, OTEX, UTH, SAU, UGB, Quota lait...)
- Historique et contexte de la conversion AB et du projet méthanisation ;
- Description du projet méthanisation :
 - o Approvisionnement : matière, tonnage, origine
 - o Technologie,
 - o Valorisation énergétique,
 - o Individuelle/collectif,
 - o Spécificités techniques en lien avec AB ;
- Descriptif de l'impact de la méthanisation sur le système agricole :
 - o SAU, rotation, CI,
 - o Fertilisation, MO,
 - o Productions : rendement, qualité,
 - o Impact sur les cheptels ;
- Socio-économie de la ferme :
 - o Rentabilité,
 - o Charge de travail,
 - o Coût de production, prix de vente,
 - o Acceptabilité/image de la ferme,
 - o Autonomie ;
- Notation des indicateurs identifiés dans l'analyse bibliographique
- Expression libre : auto-analyse AFOM
- Et si c'était à refaire ?

3.2.3 Les résultats de l'enquête

3.2.3.1 *Motivations des agriculteurs bio français à participer à un projet de méthanisation*

L'enquête des méthaniseurs bio français, sur leurs motivations à s'engager en méthanisation, a mis en avant que leurs principaux objectifs étaient d'améliorer l'autonomie de leur ferme, sur la fertilisation, sur la production fourragère et sur l'énergie. Viennent ensuite l'amélioration de la qualité des sols et la gestion des intercultures.

La diversification des revenus n'est pas une priorité, ce qui confirme que l'unité est davantage un outil au service de la ferme qu'une finalité à atteindre.

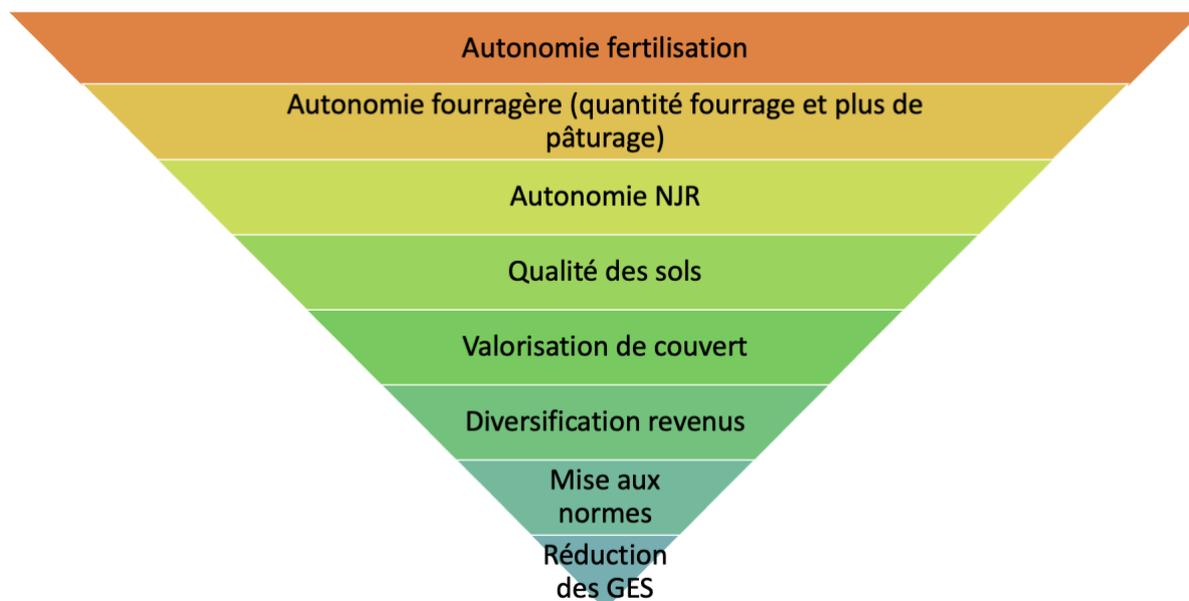


Figure 18 : Motivations des agriculteurs bio français à participer à un projet de méthanisation (Source : Solagro)

3.2.3.2 *Les points positifs qui ressortent de l'enquête*

Le principal retour des agriculteurs méthaniseurs bio enquêtés est l'amélioration de la fertilisation grâce au digestat.

Les retours d'enquête confirment que le digestat est un produit beaucoup plus réactif et efficace que les effluents agricoles classiques. Parmi les impacts constatés avec la fertilisation à partir de digestat, il y a :

- Augmentation des rendements des cultures fertilisées :
 - o +15 quintaux/ha sur céréales par rapport aux autres voisins bio ou pas de baisse de rendement entre le passage du conventionnel en bio
 - o Rendement prairie multiplié par 3
 - o Peu d'intérêt sur culture légumière de printemps (type haricot vert)
- Possibilité de cultiver en AB des cultures à fort besoin en azote, comme le colza, ce qui n'est pas toujours évident sans méthanisation ;
- Meilleure gestion des apports organiques avec le digestat, qui est un produit fluide, homogène et disponible toute l'année, ce qui permet de gérer les apports en fonction des besoins des cultures.

Cette optimisation de la fertilisation conduit donc à des augmentations des rendements sur les cultures principales, mais aussi à l'amélioration des qualités de production :

- Taux de protéine du blé passant de 9 % à 12/13 %
- Vente directe de pain : meilleure qualité depuis la mise en place de la méthanisation.
- Meilleure qualité sanitaire des cultures.

La méthanisation améliore considérablement l'autonomie des exploitations agricoles :

- Particulièrement l'autonomie fertilisante du système agricole : grâce à la méthanisation, certaines fermes n'achètent plus aucun autre produit organique,
- Mais également l'autonomie fourragère des exploitations : les fermes ont amélioré leur production fourragère, leur permettant de s'affranchir pour certains de l'achat complémentaire de protéines et de soja.

Certains constatent également un effet très positif de la méthanisation sur les cheptels (baisse des maladies : - 70 % de frais vétérinaires et de la mortalité des cheptels : -10 % sur le renouvellement du cheptel), comprenant également des temps de pâturage plus long, résultant d'une productivité plus étalée dans le temps des prairies.

Le digestat aurait un effet globalement positif sur la santé du sol : les agriculteurs n'observent pas de baisse de leur population de vers de terre, bien au contraire - l'activité biologique du sol semble également stimulée avec les apports de digestat (programme AXE dans la Région Grand Est).

En revanche, une simple couverture de fosse à lisier, type Nénufar, ne semble pas générer les mêmes atouts agronomiques. En effet, l'absence de chauffage sur ces systèmes ne permet pas la minéralisation de l'azote organique des effluents, ni l'hygiénisation des adventices et des germes pathogènes.

Enfin les retours d'agriculteurs/méthaniseurs bio français, montrent une résilience beaucoup plus importante de leurs systèmes agricoles, grâce aux revenus complémentaires générés par la méthanisation. Par exemple, une des exploitations laitières enquêtées se voit dans l'obligation de vendre depuis quelques mois sa production de lait bio, au prix du lait conventionnel, car la demande en lait bio n'a pas suivi l'augmentation de l'offre. L'exploitation ne peut supporter un tel effort, que grâce aux revenus générés par la méthanisation. En l'absence de l'unité, l'agriculteur affirme qu'il aurait certainement dû revenir à un système de production conventionnel.

3.2.3.3 Les points négatifs qui ressortent de l'enquête

Quelques craintes ou retours négatifs ont également été mis en avant par nos agriculteurs méthaniseurs bio :

- L'acceptabilité des projets de méthanisation en France est particulièrement controversée et peut freiner le déploiement de cette technologie sur les fermes bio, qui pourraient être freinées par la lourdeur du portage sociétal d'un tel projet.

- L'image de la bio en France est assez éloignée d'un système de production optimisé : la méthanisation fait plutôt penser à « des systèmes de production agricole industriels ».
- Dans les faits, une fois les unités de méthanisation mises en service, il ne semble pas que la méthanisation dégrade l'image de la ferme bio, y compris quand il y a de la vente directe à la ferme. Au contraire, l'explication de l'intérêt de la méthanisation sur les systèmes bio est assez bien perçue, c'est donc la phase de développement de l'unité de méthanisation qui peut s'avérer compliquée et générer des tensions.
- La complexité de l'épandage du digestat, qui demande un savoir-faire différent de celui des effluents agricoles classiques (lisier/fumier/compost), nécessite une période de montée en compétence.
- Une charge de travail supplémentaire non négligeable, particulièrement quand il s'agit d'une unité de méthanisation portée par une seule ferme.
- Le manque de visibilité⁶ sur la réglementation des biodéchets et les différences d'interprétation des organismes certificateurs.

3.2.3.4 Et si c'était à refaire ?

100 % des répondants sont convaincus de l'intérêt agronomique, environnemental et économique de la méthanisation sur leur système de production bio.

Néanmoins, si c'était à refaire, l'un d'entre eux est incertain quant à la reconduite de son projet de méthanisation, tant le développement de son projet a été humainement éprouvant, notamment face à l'opposition citoyenne qu'a pu générer sa démarche.

3.3 La matrice des capacités des retours terrains des acteurs français

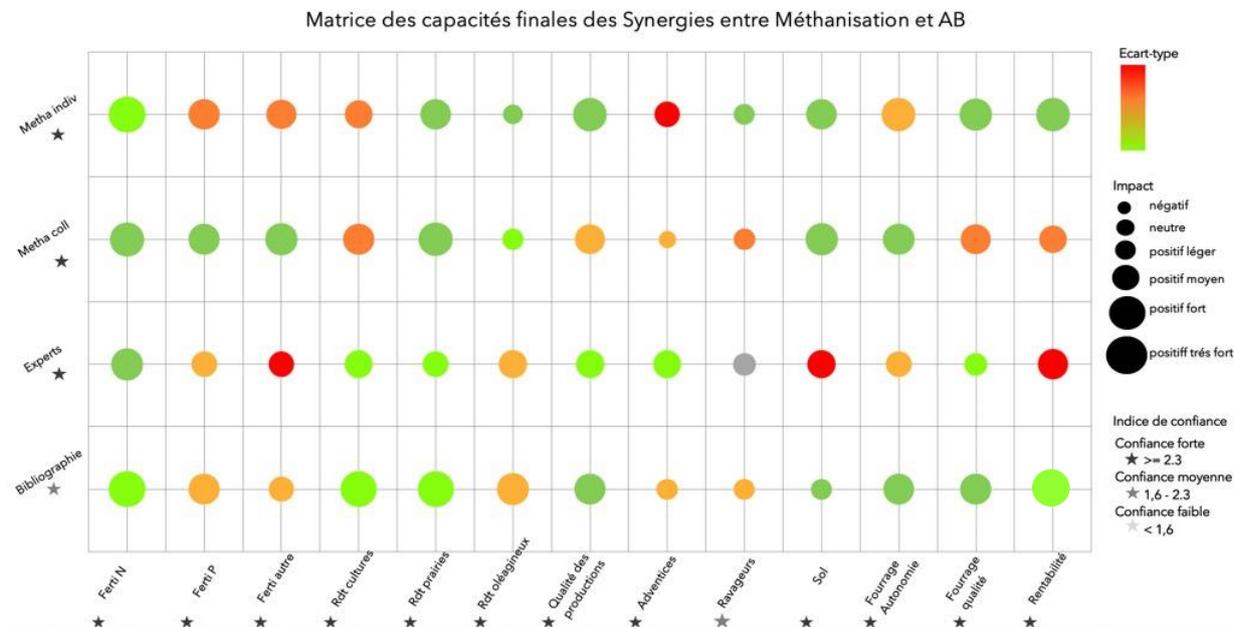
Afin de réaliser la matrice des capacités de la méthanisation sur les systèmes d'exploitation bio français, l'enquête a demandé à chaque agriculteur et expert de donner une note pour qualifier l'intensité de l'impact de la méthanisation sur les différents indicateurs identifiés dans l'analyse bibliographique de la phase 1.

Ces notations ont été agrégées par type d'unité de méthanisation, pour voir si le type d'unité pouvait également influencer les types et les niveaux d'impact de la méthanisation sur les différents indicateurs. Le tableau ci-dessous donne le nombre de retours collectés et leur origine (agriculteur et/ou expert).

⁶ Ce point a été solutionné suite aux groupes de travail mis en place avec l'INAO en 2023 – voir Note de lecture Version du 07/11/2023 Biodéchets compostés ou fermentés Annexe II du règlement (UE) n° 2021/1165 pris en application de l'article 24. 1.b) du règlement (UE) n° 2018/848)

Typologie	Nb	QUI ?
Méthanisation individuelle	4	3 agris + 1 expert
Méthanisation collective	6	5 agris et 1 expert
Experts	2	2 experts étrangers

Figure 19 : Typologie des entretiens ayant permis l'élaboration de la matrice des capacités (Source : Solagro)



Les retours terrains français ont globalement confirmé l'analyse des connaissances bibliographiques, avec :

- Un impact positif fort et unanime sur la fertilisation azotée, quel que soit le système de méthanisation,
- Un impact positif fort, mais plus hétérogène sur la fertilisation phosphorée et autres nutriments,
- Un impact positif fort et unanime sur le rendement de prairies, alors que les retours terrains des agriculteurs sont plus hétérogènes sur les rendements des céréales. Cette hétérogénéité sur les céréales peut s'expliquer par le fait que certaines unités de méthanisation sont entrées en fonctionnement récemment et que les agriculteurs ne maîtrisent pas encore parfaitement la nouvelle logistique liée à la valorisation du digestat, ou n'ont pas eu un temps de suivi de production suffisant.
- Un impact positif fort et consensuel sur l'amélioration de la qualité des productions agricoles céréalières ou fourragères.
- Un impact neutre à positif léger sur l'impact de la méthanisation sur la gestion des adventices et des ravageurs, mais surtout hétérogène selon les interlocuteurs.

- Enfin sur la rentabilité des fermes, les retours terrains sont assez différents des retours bibliographiques, avec :
 - o Des impacts positifs forts et homogènes pour la bibliographie et les retours terrains d'unité de méthanisation individuelle – ce qui est cohérent car les retours bibliographiques portent pour la majorité sur des retours d'unités allemandes individuelles en cogénération
 - o Des impacts positifs moyens et hétérogènes, voire très hétérogènes, selon les retours d'experts et des méthaniseurs français bio engagés en méthanisation collective. Cette hétérogénéité peut s'expliquer de deux façons, essentiellement :
 - Le niveau d'implication des fermes enquêtées dans les projets collectifs, selon qu'elles soient repreneuses de digestat et/ou apporteurs de matières méthanisées et/ou investisseur au capital de la société de projet.
 - La vision des experts peut également diverger selon qu'ils ne prennent en compte que les impacts économiques de la méthanisation dans le système agricole ou bien s'ils tiennent compte également de l'investissement de la méthanisation et de son impact sur la transmissibilité des fermes avec un capital fortement augmenté.

Il est tout de même à noter que les constats sont parfois plus hétérogènes, mais ils sont à mettre en regard avec le faible nombre d'entretiens réalisés.

4 DEVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET DE LA METHANISATION : QUELS FREINS ?

L'agriculture biologique est fréquemment contestée pour sa faible productivité en termes de rendement par unité de terre.

Les systèmes d'agriculture biologique sont des systèmes à faibles intrants qui s'efforcent d'établir des cycles fermés et imitent des processus écologiques pour la nutrition et la protection des plantes (par exemple, les rotations des cultures).

En maintenant les intrants externes aussi limités que possible, l'agriculture biologique réduit les effets externes négatifs souvent associés à l'agriculture intensive et est capable d'améliorer les services écosystémiques et les avantages écologiques.

En dehors des engrais azotés non minéraux agréés en AB, la fixation biologique de N₂ (diazote) par le biais de légumineuses et de cultures de couverture constitue le seul apport d'azote en agriculture biologique.

Le cycle des éléments nutritifs via les effluents agricoles et l'incorporation de légumineuses peuvent fournir des quantités suffisantes d'azote pour répondre aux demandes des cultures de vente. Cependant, la disponibilité de l'azote est un facteur limitant, les rendements sont sensiblement inférieurs par rapport aux systèmes de production conventionnels.

L'intégration de la méthanisation aux systèmes agricoles bio présente des avantages notables et importants en ce qui concerne la productivité, la stabilité et la résilience des exploitations agricoles. La méthanisation peut conduire à une « intensification éco-fonctionnelle » des systèmes biologiques, générant une production en énergie renouvelable sans avoir besoin de terres supplémentaires, tout en augmentant simultanément la production alimentaire.

Dans le même temps, la méthanisation des déjections animales et des résidus agricoles peut réduire les émissions de gaz à effet de serres agricoles (CH₄, N₂O). Par conséquent, grâce à l'intégration de la méthanisation dans l'agriculture biologique, une durabilité accrue de la production alimentaire et bioénergétique peut être atteinte.

Cette amélioration de l'efficacité des systèmes bio peut donc conduire à plus de conversion de terres à l'AB et plus de production d'aliments biologiques grâce à l'augmentation des rendements.

Néanmoins, le contexte particulier de chacune de ces filières peut ralentir le déploiement des unités de méthanisation en agriculture bio.

4.1 Freins liés à la filière méthanisation

Certaines contraintes de la filière méthanisation peuvent rendre difficile l'accessibilité de cet outil aux fermes bio :

- Dans les conditions économiques actuelles de la filière : tarifs d'achat d'électricité et du biométhane en baisse, taux de subvention à l'investissement en baisse et CAPEX en hausse du fait de l'inflation, des durcissements de la réglementation qui génèrent des investissements supplémentaires, mais également la raréfaction des matériaux, tout cela rend la faisabilité technico-économique de plus en plus difficile à atteindre.

A ce jour, les projets de méthanisation en cogénération n'atteignent que très rarement une rentabilité opérationnelle, il faut pour cela envisager des projets de taille conséquente (250 kWe) avec une valorisation économique et optimale de la chaleur.

Pour les projets en injection, la rentabilité des unités se situe pour un débit d'environ 100 à 150 Nm³/h, soit 10 000 à 20 000 t/an de matières méthanisées.

Les fermes bio, généralement en dessous de ces capacités de production de biomasse, ne pourront envisager d'accéder à la méthanisation que par des projets collectifs.

- La méthanisation d'effluents agricoles implique de disposer d'un agrément sanitaire, dans lequel la traçabilité des matières peut être garantie. Dans une unité, où les effluents d'élevage proviennent de maximum 10 exploitations, une dérogation permet de ne pas les prétraiter thermiquement. En revanche, dès que la ressource en effluents d'élevage provient de plus de 10 exploitations, cette dérogation de pré-traitement n'est plus valable et tous les sous-produits animaux doivent être hygiénisés, ce qui peut générer un impact fort sur la rentabilité du projet.

En conséquence, l'outil méthanisation pour les fermes bio serait accessible en projet collectif, traitant les effluents d'élevage provenant d'une petite dizaine d'exploitations différentes et de matières végétales (résidus de cultures ou cultures intermédiaires).

Compte tenu de ces contraintes techniques et réglementaires, associées à la taille et à la dispersion des fermes bio, il semblerait qu'un projet collectif 100 % bio soit difficilement atteignable. L'accessibilité de l'outil méthanisation pour les fermes bio passera donc quasi systématiquement par leur participation à un projet collectif mixte (bios et conventionnels en mélange).

- Enfin l'acceptabilité des projets de méthanisation sur le territoire français est, dans presque un cas sur 2, jugée compliquée. Cela peut générer des temps de développement plus longs et donc retarder l'accessibilité de cet outil pour les fermes bio.

4.2 Freins liés à la filière AB

De la même manière, certains aspects de la filière AB peuvent ralentir le déploiement de la méthanisation en AB. Les deux principaux sont :

- La vision d'un système de production extensif, associé à celle de la filière bio, pourrait être incompatible avec l'intensification agroécologique que permet la méthanisation,
- L'incertitude sur l'évolution du marché bio peut également ralentir les conversions en AB, mais on estime cette fois-ci que la méthanisation serait un moyen de pallier cette problématique, en améliorant l'économie des fermes, et en leur permettant de réduire leur coût de production.

L'incertitude réglementaire sur les matières autorisées en codigestion et valorisables en agriculture biologique était un point important en 2022. Cette incertitude a été levée en 2023 puisque les biodéchets sont autorisés depuis comme intrants en méthanisation (*Source : Note de lecture Version du 07/11/2023 Biodéchets compostés ou fermentés Annexe II du règlement (UE) n° 2021/1165 pris en application de l'article 24. 1.b) du règlement (UE) n° 2018/848*).

5 CONCLUSION

Cette étude bibliographique avait pour objet l'analyse de la littérature nationale et internationale sur les impacts positifs et négatifs de la méthanisation sur les systèmes de production agricole bio.

L'agriculture biologique n'autorise le recours qu'aux éléments fertilisants d'origine organique, ce qui est le principal frein de la filière pour atteindre des rendements et des qualités de production sensiblement identiques à l'agriculture conventionnelle. C'est en cela que la méthanisation peut représenter un outil particulièrement intéressant pour la filière bio. En effet, la méthanisation permet de maîtriser les conditions de minéralisation de l'azote organique en azote minéral des effluents agricoles classiquement utilisés en agriculture bio (processus qui a normalement lieu à moyen ou long terme dans le sol), mais également des cultures intermédiaires et autres biodéchets méthanisés.

La fertilisation avec le digestat, qui est donc un engrais organique de haute qualité, associée à des bonnes pratiques de stockage (couverture) et d'épandage (enfouissement), permet de générer des impacts positifs forts à très forts sur les rendements des céréales d'hiver, du maïs et des prairies (+20 à 25 % en moyenne), mais également sur la qualité des productions (+12 % de teneur en protéines des grains et en gluten). Les augmentations de rendement sur les cultures d'oléagineux sont également constatées, mais les retours sont beaucoup plus rares, car ces cultures étaient très difficiles à conduire en AB. En effet, leur besoin en azote est tel que, les produits résiduels organiques généralement utilisés en AB ne sont, bien souvent, pas suffisants.

Des résultats positifs, mais plus mitigés ont été constatés sur la gestion des adventices, des ravageurs, ou sur l'état sanitaire des cheptels.

Sur les adventices, la couverture des sols par les intercultures permet généralement une concurrence avec ces dernières. L'exportation des couverts intermédiaires et la méthanisation des matières végétales et animales permet d'éliminer le pouvoir germinatif des graines contenues dans ces matières, ce qui permet de limiter le salissement des terres lors du retour du digestat. Néanmoins, la fertilisation avec le digestat qui apporte un azote plus facilement assimilable pour les plantes (que certains autres produits résiduels organiques) peut également favoriser le développement des adventices. L'impact de la méthanisation sur cet indicateur est donc variable selon l'état de référence du système d'exploitation agricole et les matières qui sont méthanisées.

Sur les maladies et les ravageurs des plantes, la méthanisation a globalement un impact positif grâce à une diversification de la sole et de la rotation par la mise en œuvre de cultures intermédiaires. Ces cultures intermédiaires qui sont conduites à leur maximum, génèrent une couverture du sol pendant une période hivernale plus longue, ce qui représente un habitat favorable pour certains ravageurs (limace, escargot, mulot, petit et gros gibier). Normalement l'exportation de ces couverts en méthanisation limite l'impact d'éventuels ravageurs sur la culture suivante.

Sur l'état sanitaire des cheptels, il n'existe que très peu de retour bibliographique. Cependant, le retour terrain des agriculteurs méthaniseurs français témoigne d'impacts parfois très positifs, en lien avec des fréquences de curage accentuées des bâtiments, limitant le développement de certaines maladies (jusqu'à -70 % des frais vétérinaires et -10% de renouvellement sur le cheptel).

Enfin, les impacts sur les émissions de GES sont très variables, et sont fonction :

- Des pratiques de références,
- Des typologies de matières méthanisées (méthanisation de CIVE par exemple),
- Des pratiques de stockage et d'épandage du digestat (couverture et enfouissement) : si le taux de fuite en méthane sur l'unité de méthanisation est élevé, cela peut annuler tous les autres aspects positifs de la méthanisation sur les émissions de GES.

Mais la mise en place de pratiques vertueuses pour la conduite de l'unité et la valorisation du digestat, permet d'obtenir un impact positif sur les émissions des GES des fermes bio.

Néanmoins, les résultats de l'étude montrent qu'il est important de consolider ces résultats par l'acquisition des références françaises, sur les modèles de méthanisation français : indicateurs agronomiques, environnementaux et socio-économiques.

Pour cela, la filière a besoin de la mise en place de programmes de recherche sur des sujets nécessitant une expertise complémentaire :

- Itinéraire technique des CIVE/légumineuses, pour créer un excédent de fertilisation N et le redistribuer sur les cultures principales,
- Bouclage des cycles des nutriments à l'échelle de la ferme et des territoires
- MO et vie du sol, biodiversité aérienne, ravageurs, adventices...
- Qualité des digestats (microplastiques, antibiotiques, ETM, produits phytosanitaires...),
- Impact du digestat sur la qualité sanitaire des cultures,
- Impact socio-économique sur les fermes bio.

6 ANNEXES

6.1 Annexe 1 : Base De Données bibliographiques

N°	Année	Commanditaire ou éditeur	Nom de l'Auteur	Titre	Type de document	Pays/Zone	Nb pages
1	2013	FIBL	Gerlach F.et al	La production durable de biogaz - Manuel destiné aux agriculteurs bio	Brochure	Allemagne	62
2	2021	SYNABIO	SYNABIO, ITAB, SOLAGRO	Comprendre et préserver la biodiversité dans les chaînes de valeur bio	Brochure	France	39
3	2016	ELSEVIER "Biomass and Bioenergy"	Blumenstein B et al	Economics of anaerobic digestion in organic agriculture: Between system constraints and policy regulations	Article scientifique	Allemagne	15
4	2013	ELSEVIER "Agriculture, Ecosystems and Environment"	Michal A et al	Effets de la gestion du trèfle et des cultures de couverture sur le cycle de l'azote et les émissions d'oxyde nitreux dans une rotation de cultures biologiques sans stock	Article scientifique	Danemark	12
5	2013	ELSEVIER "Biomass and Bioenergy"	B. Molinuevo-Salces	Production de biogaz à partir de cultures dérobées : Évaluation du rendement en biomasse et du potentiel méthane des cultures dérobées en rotation des cultures biologiques	Article scientifique	Danemark	8
6	2015	Sustainability	Blumenstein B et al	Bioénergie intégrée et production alimentaire - Une enquête allemande sur la structure et les développements de la méthanisation dans les systèmes d'agriculture biologique	Article scientifique	Allemagne	25
7	2019	Okologie und Landbau	Hülsbergen K.J. et al	Strategien für geschlossene Nährstoff-Kreisläufe- Stratégie de gestion des fertilisants en AB (TUM)	Article de presse	Allemagne	3
8	2021	Agronomy	Levin, K.S.	Effects of Organic Energy Crop Rotations and Fertilisation with the Liquid Digestate Phase on Organic Carbon in the Topsoil	Article scientifique	Allemagne	18
9	2017	Springer	Serdjuk M.	Integration of biogas production into organic arable farming systems: crop yield response and economic effects	Article scientifique	Allemagne	14
10	2019	CARMEN		Biogas in ökobetrieb (Intérêt de la méthanisation en AB)	Brochure	Allemagne	4

11	2011	Orgprints	Reents H.J.	Effekt von Biogas-Fruchtfolgen und Biogas-Gülle auf Bodenstruktur und weitere Bodeneigenschaften (Effet CIVE et digestat sur la structure du sol)	Article scientifique	Allemagne	5
12	2016	Biogas Forum Bayern	Hartmann S.	Le trèfle comme substrat de biogaz	Brochure	Allemagne	11
13	2016	BloEnergy Farl	Michael Tersbøl	Small-scale organic biogas plant hold unused and unattended powerfull potentials	Présentation	Danemark	19
14	2013	Renewable Agriculture and Food Systems	Siri Pugesgaard	Biogas in organic agriculture— effects on productivity, energy self-sufficiency and greenhouse gas emissions	Article scientifique	Danemark	14
15	2018	Elsevier	Blumenstein B et al	A case of sustainable intensification: Stochastic farm budget optimization considering internal economic benefits of biogas production in organic agriculture	Article scientifique	Allemagne	15
16	2016	Springer Science+Business Media Dordrecht	Paulsen	Phosphorus—The Predicament of Organic Farming	Article scientifique	Allemagne	19
17	2019	Elsevier	Torsten Siegmeier	Bioenergy Production and Organic Agriculture	Article scientifique	Allemagne	29
18	2008	BIOFIL	Philippe Guibert	Du gaz naturel autoproduit à la ferme	Article de presse	France	4
19	2011	BIOFIL	Elodie Touret	Le Biogaz, l'énergie à la ferme	Article de presse	France	2
20	2020	BIOFIL	Christine Rivry-Fournier	A chacun sa méthanisation	Article de presse	France	8
21	2016	BIOFIL	Virgine Chevalier	Atouts de la méthanisation	Brochure	France	1
22	2007	Univ-Kassel	Ansapch V et al.	Concepts et stratégies de production de biogaz en agriculture biologique - résultats du monitoring bio-biogaz 2007	Article scientifique	Allemagne	4
23	2007		Helbig S. et al.	Effets de l'intégration d'une usine de biogaz dans un système d'agriculture biologique	Article scientifique	Allemagne	4
24	2009		Lyson D.F. et Al	Génération de revenu à partir de différents types de culture pour la production de biogaz en agriculture biologique	Article scientifique	autriche	2
25	2010	Renewable Agriculture and Food Systems	Michel J et al	L'effet de la digestion du biogaz sur l'impact environnemental et les bilans énergétiques dans les systèmes de culture biologique en utilisant la méthodologie d'évaluation du cycle de vie	Article scientifique	allemagne	12

26	2011	univ Kassel	Moller et al	Le biogaz en agriculture biologique	Article scientifique	Allemagne	3
27	2008	Colloque international Agriculture biologique et changement climatique	H.M. Paulsen	Enhancing GHG balances in organic farms by integration of new bio-energy crop concepts	Présentation	Allemagne	7
28	2012	Projet TA	Meyer R et al.	Agriculture biologique et production de bioénergie - objectifs contradictoires et solutions possibles	Rapport	Allemagne	236
29	2020	Valbiom		Que savoir pour certifier son digestat issu d'une exploitation bio ?	Article de presse	Belgique	2
30	2020	FIBL	Fuchs J.	Les digestats liquides pour une fertilisation maraichère	Article de presse	Suisse	3
31	2021	Biocohérence		Cahier des charges Bio cohérence	Rapport	France	
32	2019	BioPays de la Loire		Recueil de savoir faire Paysans sur les pratiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique	Présentation	France	3
33	2009	Université Kassel	Anspach V.	Statu Quo, perspectives et potentiels économiques de la production de biogaz en AB	Rapport	Allemagne	217
34	2019	Université München	Hülsbergen K.J.	Gestion du cycle des nutriments en AB	Présentation	Allemagne	74
36	2008	Fondation fédérale allemande pour l'environnement	Helbig.S Küstermann.B & Hülsbergen KJ	Bilan énergétique des différents systèmes de production de biogaz biologique	Article scientifique	Allemagne	4
37	2018	Symbiose	Robin Guilhou	Digestat de méthanisation : Quels effets sur la fertilité des sols à moyen et long terme ?	Article de presse	France	2
38	2016	Travaux et innovations n°229	Denis Ollivier	La méthanisation, voie vers l'agroécologie	Article de presse	France	15
39	2021	MDPI	Karin S. Levin 1,*, Karl Auerswald 2, Hans Jürgen Reents 1 and Kurt-Jürgen Hülsbergen 1	Effets des rotations de cultures énergétiques organiques et de la fertilisation avec la phase de digestat liquide sur le carbone organique dans la couche arable	Article scientifique	Allemagne	18
40	2018	CIVAM	Cyrielle Denhartigh, Mélissa Dumas, Goulven Lebahers	Emissions de gaz à effet de serre et fertilisation azotée	Article de presse	France	48
41	2016	university of kassel	Wentzel, Joergensen	Effets du biogaz et des lisiers bruts sur la croissance de l'herbe et les indices microbiens du sol	Article scientifique	Allemagne	8

42	2021	Confédération paysanne		La méthanisation est elle compatible avec l'agriculture paysanne ?	Article de presse	France	4
43	2020	Enercoop		La méthanisation est-elle synonyme d'intensification de l'agriculture et de pollutions ?	Article de presse	France	4
44	2017	INSAValor	Bernard Sarrazin	Etude de l'influence de la méthanisation sur la reprise de végétation et la germination de graines de plantes invasives	Article scientifique	France	30
45	2019	Université Munich	Martina Serdjuk	Analyse des effets sur les bénéfices et des effets économiques de la production de biogaz	Article scientifique	Allemagne	156
46	2015		Blumenstein, B	impact économique de la production de biogaz sur le système écologiques	Article scientifique	Allemagne	4
47	2012	Aarhus University	Thomsen	Dynamique et rétention du carbone dans le sol après digestion anaérobie des aliments pour bovins laitiers et des fèces	Article scientifique	Danemark	6
48	2012	University of Cambridge	H.L. Tuomisto	Comparaison des bilans énergétiques, des bilans de gaz à effet de serre et des impacts sur la biodiversité de systèmes agricoles contrastés avec des utilisations alternatives des terres	Article scientifique	UK	38
49	2016	IFOAM EU Group	Adrian Muller	Agriculture biologique, changement climatique, atténuation et au-delà	Article de presse	Belgique	72
50	2014	Universität Kassel	Blumenstein, B	Le biogaz en agriculture biologique : utopie, impasse ou modèle ? – Un résumé	Article scientifique	Allemagne	5
51	2007	Universität Kassel	Dr. Detlev Möller	PRODUCTION DE BIOGAZ EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE - OPPORTUNITÉS ET ENJEUX D'UN POINT DE VUE COMMERCIAL	Article scientifique	Allemagne	2
52	2009	Universität Giessen	Kurt Möller	Effets de différents systèmes de fumure avec et sans digestion de biogaz sur la teneur en azote minéral du sol et sur les pertes d'azote gazeux	Article scientifique	Allemagne	16
53	2011	University of Agadir	Mohamed Behnassi	Insécurité alimentaire mondiale : repenser le paradigme et la politique de développement agricole et rural	Rapport	Maroc	411
54	2014	Aarhus university	M. Knudsen	Empreintes carbone des cultures issues des grandes cultures biologiques et conventionnelles_ACV	Article scientifique	Allemagne	11
55	2015	University of Kassel	T. Siegmeier	Production de biogaz en AB: implications systémiques	Article scientifique	Allemagne	14

56	2019	Université Munich	Martina Serdjuk	Analyse des effets sur les bénéfices et des effets économiques de la production de biogaz dans les fermes fruitières du marché bio	Rapport	Allemagne	156
57	2019	university of Helsinki	Kari Koppelmaki	L'Intégration intelligente de la production alimentaire et bioénergétique offre de multiples services écosystémiques	Article scientifique	Finlande	17
58	2015	Science direct	Stefanie Wentzel	Réponse des indices de fertilité des sols à l'application à long terme de digestat et de lisier brut en agriculture biologique	Article scientifique	Allemagne	9
59	2008	IFOAM EU Group	K. Möller	Effets de la digestion du biogaz du lisier, des cultures de couverture et des résidus de cultures sur les cycles de l'azote et la productivité de la rotation des cultures d'un système d'agriculture biologique mixte	Article scientifique	Allemagne	2
60	2021	atee		Recyclage matière et valorisation énergétique des biodéchets : enjeux et solutions apportées par la méthanisation	Présentation	France	4
61	2012	science direct	Thomsen	Dynamique et rétention du carbone dans le sol après digestion anaérobie des aliments pour bovins laitiers et des fèces	Article scientifique	Danemark	6
62	2020	University of Kassel	L. Barduca	Minéralisation des différents qualités de digestat	Article scientifique	Allemagne	10
63	2007	Université Vienne	R. Hrbek	Système de rotation des culture durables pour les cultures énergétiques biologiques en Autriche	Article scientifique	Autriche	4
64	2016	University of Kassel	S. Wentzel	Effets du digestat et des lisiers bruts sur la croissance de l'herbe et les indices microbiens du sol	Article scientifique	Allemagne	8
65	2019	Norwegian Centre for Organic Agriculture	S. Hanssen	Cause et sources des émissions de NO2 et lixiviations de NO3 en agriculture biologique	Article scientifique	Norvège	25

6.2 Annexe 2 : Réglementation Métha&AB : Cas particuliers des mélanges compostés ou fermentés de déchets ménagers

Note de lecture Version du 07/11/2023 Biodéchets compostés ou fermentés
Annexe II du règlement (UE) n° 2021/1165 pris en application de l'article 24. 1.b) du règlement (UE) n° 2018/848

Cette note de lecture a pour objectif d'explicitier l'entrée « Biodéchets compostés ou fermentés », sous un format questions/réponses

Avec notamment des réponses sur les biodéchets.

**Les déchets d'une IAA ou d'une entreprise du secteur tertiaire (exemple un hôpital) sont-ils considérés comme des biodéchets et peuvent-ils être utilisés dans un compost UAB ?
Y-a-t-il des conditions en terme de taille ?**

Les biodéchets (déchets alimentaires, déchets verts) issus du secteur tertiaire dont les hôpitaux, bureaux, EPHAD..., ainsi que les déchets issus des entreprises de transformation alimentaire sont considérés comme utilisables en agriculture biologique. Collectés, éventuellement déconditionnés et hygiénisés selon la nature des déchets puis compostés ou fermentés, ils sont alors valorisables sur des terres en AB.

La limite des 10 salariés pour les entreprises agro-alimentaires qui existait dans la note de lecture sur les déchets ménagers compostés ou fermentés (dorénavant supprimée) est caduque.

En effet, la directive 2008/98/CE et le Code de l'environnement ne précisent pas de taille particulière pour les entreprises. Aucune limite en terme de nombre de salariés n'est donc à prendre en compte.

**Les entreprises de la grande distribution sont-elles considérées comme des entreprises de l'agroalimentaire ?
Comment sont catégorisés les déchets de ces structures ?**

Les déchets issus des entreprises de grandes distribution sont considérés comme des biodéchets. Collectés, éventuellement déconditionnés puis traités en compostage ou fermentation anaérobie, ils sont alors valorisables sur des terres en AB.

Les biodéchets contenant des sous-produits animaux doivent se conformer aux réglementations européennes et nationales relatives aux sous-produits animaux.

Qu'est-ce qu'une collecte séparée des biodéchets à la source ?

La directive 2008/98/CE précise ces définitions :

Collecte : « Le ramassage des déchets, y compris leur tri et stockage préliminaires en vue de leur transport vers une installation de traitement de déchets »

Collecte séparée : « Une collecte dans le cadre de laquelle un flux de déchets est conservé séparément en fonction de son type et de sa nature afin de faciliter un traitement spécifique »

Ces définitions sont reprises à l'article L541-1-1 du Code de l'environnement

Collecte : « toute opération de ramassage des déchets en vue de leur transport vers une installation de traitement des déchets »

Collecte séparée : une collecte dans le cadre de laquelle un flux de déchets est conservé séparément en fonction de son type et de sa nature afin de faciliter un traitement spécifique. Cette collecte peut également porter sur des déchets de type et nature différents tant que cela n'affecte pas leur capacité à faire l'objet d'une préparation en vue de la réutilisation, d'un recyclage ou d'autres opérations de valorisation

Tri à la source : tri ayant lieu avant toute opération de collecte, ou avant toute opération de valorisation lorsque cette opération de valorisation est effectuée sur le site de production des déchets

Les biodéchets sont donc obligatoirement collectés sélectivement, à partir d'un tri à la source au plus près du producteur (*article L. 541-21-1 du code de l'environnement*) en collecte séparée avec contenant dédié ou bien compostés en proximité (composteur domestique, partagé ...).

Les biodéchets triés à la source peuvent-ils être ensuite mélangés à d'autres déchets ?

Les biodéchets qui ont fait l'objet d'un tri à la source ne sont pas mélangés avec des déchets d'autres natures avant l'arrivée sur site de valorisation (*cf. article L541-21-1 du Code de l'environnement*).

Une unité de méthanisation peut-elle mélanger des biodéchets collectés à la source avec des effluents d'élevage ?

Cela est possible. L'opérateur (méthaniseur ou composteur) doit être en capacité de prouver la traçabilité de ces apports.

6.3 Annexe 3 : Informations sur l'enquête des agriculteurs allemands méthaniseurs en agriculture biologique

Présentation

Document 6 : Bioénergie intégrée et production alimentaire - Une enquête allemande sur la structure et les développements de la méthanisation dans les systèmes d'agriculture biologique - Blumenstein B et al – 2015

Enquête menée sur 144 unités de méthanisation agricoles en agriculture biologique, équivalent à 30,8 MWe, soit 0,8 % de la production d'électricité à partir de la méthanisation en Allemagne.

Enquêtes menées en 2007, 2009, 2011 et 2013/14, avec les premières unités de méthanisation bio mises en service en 1996.

Sujets d'enquête

Parmi les sujets enquêtés :

- Les structures de production agricole et de biogaz, l'apport de biomasse, l'utilisation et les effets du digestat, ainsi que des questions sur les défis de gestion et l'entrepreneuriat.
- Quelles étaient les sources de motivations importantes lorsque les exploitants ont décidé d'investir dans une usine de biogaz ?
 - o « nouvelle source de revenus »,
 - o « revenus garantis des ventes d'électricité »,
 - o « utilisation de trèfle »,
 - o « utilisation de la chaleur résiduelle »,
 - o « raisons non économiques »,
 - o « gestion des éléments nutritifs »,
 - o ainsi qu'une réponse ouverte possibilité d'ajouter de nouveaux éléments.
- Questions techniques des installations de biogaz exploitées
- Types d'exploitation agricoles :
 - o « fermes mixtes d'élevage et de cultures de rente »,
 - o « exploitations d'élevage »,
 - o « exploitations de cultures de rente »,
 - o « fermes de biogaz »
 - o « exploitations de transformation des animaux. »
- La taille de l'exploitation, la densité de peuplement et la date de conversion à la gestion de l'exploitation biologique.
- Quelles sont les utilisations de la biomasse produite sur la ferme, ainsi que celle de la biomasse bio ou conventionnelle achetée, en lien avec la taille des plantes et la densité du bétail.
- La rentabilité de mon installation de biogaz est également assurée avec l'utilisation de biomasses 100 % bio »
- utilisation du digestat sur les cultures : quantité ?, à quelle période ?, sur quelle culture ?, les digestats sont-ils analysés en amont ?
- Y a-t-il un effet positif de la fertilisation du digestat sur les rendements ?
- Y a-t-il un effet positif ou négatif du digestat sur la qualité des cultures ?

Panel enquêté

Au départ, l'enquête a identifié des exploitations bio à partir des recherches internet et téléphoniques. C'est ensuite par effet boule de neige que l'échantillon s'est étoffé (il était systématiquement demandé aux agriculteurs méthaniseurs bio s'ils connaissent d'autres agriculteurs dans leur cas). Enfin, plusieurs associations bio allemandes ont été sollicitées pour les enquêtes 2011 et 2013/14 (Naturland, Bioland, Biopark, Gää) : elles ont diffusé le questionnaire à leurs adhérents : méthode qui a permis d'identifier la plupart des exploitations bio impliquées dans un projet métha en Allemagne.

En revanche, cette enquête est conduite sur la base d'une participation volontaires, donc il ne s'agit pas d'une enquête exhaustive des pratiques de la méthanisation sur les fermes agricoles bio allemandes.

Les résultats portent donc sur les retours de 144 répondants sur environ 160-180 exploitations bio identifiées, engagées en méthanisation.

Résultats

Les motivations qui incitent à investir dans une unité de méthanisation en AB sont :

- Une motivation non économique (production d'ENR, changement climatique et sortie du nucléaire) pour 92% des répondants ;
- Une meilleure gestion des nutriments et les avantages espérés par la fertilisation avec du digestat pour 90% des répondants ;
- Une amélioration du bilan énergétique et une valorisation de la chaleur pour 85% des répondants
- Une amélioration des revenus pour 80% des répondants
- Une valorisation des productions de trèfle pour 43% des répondants

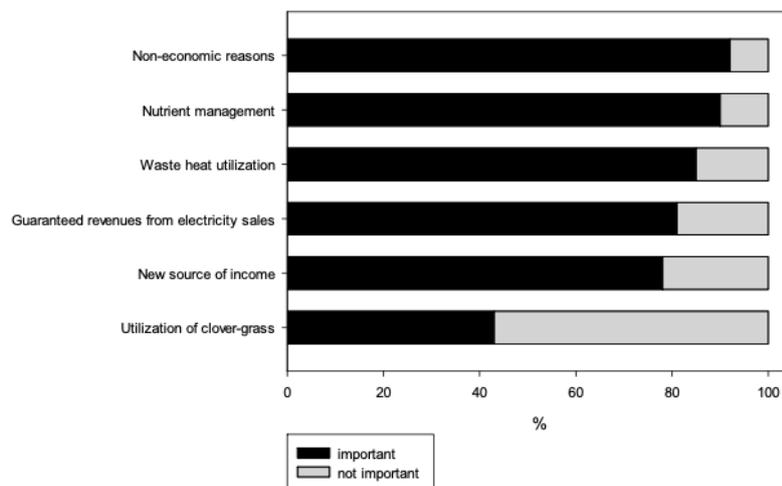


Figure 1. Reasons for the decision to invest in AD technology and their importance for organic farmers (Answers are on a 4 point Likert scale, "How important were the following reasons for your decision?", $n = 65$).

Figure 21 : Principales raisons qui incitent les agriculteurs allemands à investir dans une unité de méthanisation (Blumenstein B et al – 2015)

6.4 Annexe 4 : Quelles CIVE en AB en Allemagne ?

6.4.1 Les espèces

Les mélanges trèfle-herbe (Trèfle rouge, Trèfle violet, luzerne, Ray Gras Italien) sont les plus couramment utilisés : beaucoup de variétés et de mélanges possibles adaptables à chaque système de culture et aux contraintes pédoclimatiques (Hartmann S., 2016 – DOC 12).

Il n'y a pas de différence fondamentale sur le potentiel méthanogène des espèces ou des mélanges, c'est bien le rendement à l'hectare qu'il faut privilégier, tout en limitant au maximum des espèces qui lignifient trop.

L'intérêt de méthaniser de l'herbe de légumineuses est multiple :

- Légitimité de leur place dans la rotation (parfois jusqu'à 25 %) grâce à la valorisation énergétique, et donc économique, permise par la méthanisation.
- Optimisation de l'efficacité des cycles des nutriments et particulièrement celui de l'azote :
 - o en limitant tout d'abord les émissions de N₂O généralement provoquées par le retour au sol de la biomasse aérienne comme engrais verts
 - o en permettant un retour plus ciblé du digestat au moment où les cultures en ont besoin (contrairement à une libération diffuse et lente en cas de retour au sol)
 - o en permettant de libérer plus d'azote disponible pour les plantes, grâce à la minéralisation d'une partie d'azote organique pendant le processus de méthanisation.
- Limitation du développement des adventices dans la prairie en exportant successivement plusieurs coupes d'herbe par an, avant d'arriver à la maturité des graines.

Une expérimentation spécifique (Lyson D.F. et al, 2007 - DOC 24) a permis de comparer diverses modalités :

- Les variétés de CIVE : luzerne ou trèfle, tournesol et maïs (après verdissement hivernal), seigle vert/maïs et vesce/seigle/maïs ont été comparés,
- La pratique éventuelle d'une fertilisation au digestat (de 0 à 140 UN/ha testé),
- Les conditions pédoclimatiques humides (Lambach - Autriche, 8,4 °C, 840 mm, terre brune) et séchantes (Raasdorf – Autriche, 9,8 °C, 546 mm, terre noire).

Dans le site le plus sec, le rendement des CIVE varie de 4,6 à 11,6 tMS/ha selon les cultures :

- Rendements les plus faibles pour la luzerne et le trèfle, récoltées en 2 coupes,
- Rendements les plus élevés pour le seigle vert/maïs et vesce/seigle/maïs.

Dans le site le plus humide, les rendements sont augmentés de 9 à 56 % selon les cultures et les apports de digestats semblent plus efficaces qu'en conditions séchantes.

6.4.2 La place dans la rotation

Les cultures de légumineuses peuvent prendre plusieurs places dans la rotation :

- en culture d'été, avec un semis et une destruction la même année : solution globalement la moins pertinente, du fait d'une faible productivité, d'un risque fort sur le semis, lié à la sécheresse relative de début d'été, et d'une première coupe disponible tardivement dans la saison.
- en culture de 2 ans (année du semis et N+1) : permet de viser un rendement de production généralement plus élevé la première année que les années suivantes.
- en prairies pluriannuelles (mise en place de 4 ans) : les coûts de la semence, de la culture et du travail du sol sont amortis sur plusieurs années. Le risque lié à la levée du semis n'intervient qu'une année sur 4.

6.4.3 Du semis au stockage

Pour garantir une bonne implantation, il faut gérer cette culture comme pour une prairie à fonction fourragère, à savoir :

- Utilisation d'une semence de qualité
- Lit de semence fin (sans un travail en profondeur – implantation de 1 à 1,5 cm de profondeur) et passage d'un rouleau après semis, pour assurer un bon contact avec le sol
- Vigilance vis-à-vis de l'humidité du sol au semis
- Densité de semis : 26 à 35 kg/ha selon les espèces ou les mélanges inter rang de 12 à 15 cm – permettant une meilleure couverture de la culture ainsi qu'une meilleure gestion des adventices.
- Fertilisation :
 - o la quantité raisonnable d'engrais est calculée en fonction de la teneur en P et K (Phosphore et Potassium) assimilable pour la plante et du stock du sol. L'objectif est de ne pas compenser totalement l'exportation en K_2O qui peut atteindre parfois jusqu'à 400-550 kg K_2O /ha, mais de viser un apport maximum en K_2O de 350 à 400 kg/an.
 - o La fertilisation en azote va dépendre fortement de la teneur en légumineuses de la prairie :
 - Pour un mélange à plus de 70 % de légumineuses, un apport optionnel et unique de 30 UN/ha peut être fait au semis,
 - Pour un mélange entre 40 et 70 % de légumineuses, on recommande un apport de 30 UN/ha au semis, puis 40 UN/ha après chaque coupe sous forme de digestat,
 - Pour un mélange avec moins de 40 % de légumineuses, on recommande un apport de 30 UN/ha au semis, puis 50 UN/ha après chaque coupe sous forme de digestat,
 - Pour une prairie d'herbe pure, on recommande un apport de 20 à 50 UN/ha au semis (selon les conditions climatiques), puis 50 UN/ha après chaque coupe sous forme de digestat.

La fertilisation peut être réalisée par des apports de digestat, mais les légumineuses seront très sensibles aux conditions d'épandage (éviter à tout prix les apports par temps chaud et ensoleillé).

	rendement	P2O5	K2O	MgO
	en tMB/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
trèfle rouge	6,5	85	390	65
Luzerne	6	85	390	42
trèfle	6,5	91	403	46
herbe de luzerne	6,5	98	423	46
Ray gras	8,5	136	553	43

Figure 22 : quantité de P₂O₅, K₂O et MgO exportée par une récolte à haut rendement selon différentes espèces

Le semis sous couvert végétal apporte la meilleure garantie de réussite de l'implantation (idéalement derrière une avoine immature ou un mélange de ray-grass annuel et de trèfle à feuille. La culture de couverture est moyennement fertilisée pour limiter les risques de verse et doit être récoltée suffisamment tôt (lorsque les panicules de l'avoine commencent à émerger).

Pour le dactyle, qui se développe lentement lorsqu'il est jeune, le sous-semis est la méthode la plus recommandée.

En revanche, le semis sous couvert de céréales n'est pas aisé, il est surtout pertinent en conditions d'implantations séchantes.

L'implantation au printemps (avril-mai – période équivalente au semis des cultures d'été) en semis pur classique est également assez sûre, mais est généralement confrontée à un risque élevé de concurrence des adventices. Celle-ci est généralement associée à une première valorisation tardive de la biomasse et un rendement de la prairie la première année de semis inférieur à celui d'un semis sous couvert. Plus la date d'implantation est précoce, plus le rendement de la première année est bon (jusqu'à +20 % de rendement que pour un semi tardif).

L'implantation à la fin de l'été (idéalement fin août) en semis pur classique est de plus en plus pratiquée avec le développement de culture précoces, comme l'orge d'hiver. Cette technique est peu recommandée en conditions séchantes. En cas de semis plus tardif, certaines espèces comme le trèfle violet ou la luzerne pourraient hiverner. Le ray gras italien peut être implanté avant le 15 septembre.

La hauteur de coupe pour passer l'hiver est idéalement inférieure à 10 cm. Au-delà il y a un risque important de développement de rongeurs ou d'infestation fongique. Si la hauteur dépasse les 15 cm, il est alors recommandé de faire une dernière coupe.

Pour la récolte, le retour d'expérience allemand montre que pour optimiser la production de biogaz, on recommande une récolte légèrement plus tardive que pour une valorisation en alimentation fourragère, à savoir 3 ou 4 jours de plus. Au-delà, la lignification devient trop importante et défavorable au potentiel méthanogène (diminution de la teneur en sucre, réduction de la capacité à tasser la matière au moment de la constitution du silo générant un risque de développement de moisissures au moment du stockage).

L'humidité à la récolte doit être d'au moins 28 % MS, voire 30 %MS (particulièrement en cas de silo haut).

Le potentiel méthanogène attendu sur de l'herbe de prairie est d'environ 280 à 300 m³CH₄/tMO.

Enfin, une attention particulière est portée à la quantité d'herbe avec légumineuses à intégrer dans le méthaniseur, en fonction des autres ressources de l'approvisionnement. Cela permet de limiter les risques d'inhibition qui serait liée à une charge en azote ammoniacale trop élevée.

6.4.4 Méthanisation d'intercultures en système bio : atouts et menaces

- **Atouts : la méthanisation des intercultures permet :**
 - L'allongement de la rotation : baisse des ravageurs, des maladies, des mauvaises herbes, hausse de la biodiversité
 - Le développement de légumineuses : fixation de l'azote atmosphérique
 - Récolte des cultures intermédiaires : optimisation de la fixation symbiotique car cycle de production de la culture optimisé par un report de la récolte (plus besoin d'une destruction mécanique ou gélive).
 - Récolte de la culture : réduction des émissions d'oxyde nitreux par rapport au retour au sol après broyage des cultures dérobées.

- **Menace : l'exportation des intercultures admet :**
 - Un impact sur la vie du sol : il faut toujours laisser une partie de la biomasse au sol.
 - Un risque d'une présence accrue de souris, escargots, agents pathogènes (virus champignon) lié à la couverture verte du sol toute l'année. Il peut être pallié lors de l'exportation de la biomasse.
 - Un risque de compactage du sol : si la date et les conditions de récolte est peu favorable (Avril/octobre : toujours période humide, risque de sol peu portant), il faudra adapter les techniques de récolte et la pression des pneus à la récolte