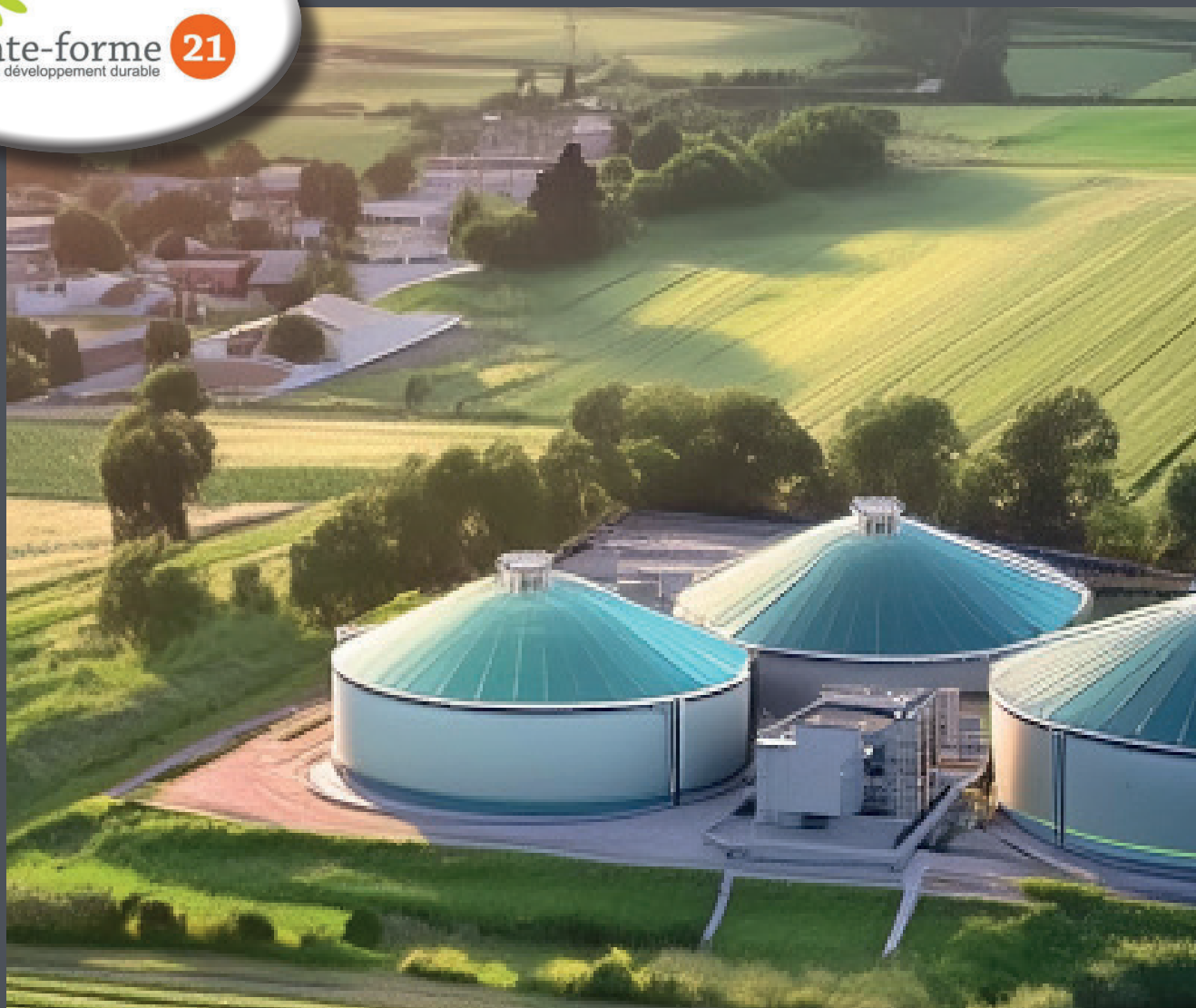




Plate-forme 21  
pour le développement durable

21

# Méthanisation agricole



## Questions et points d'attention pour des projets de méthanisation agricole durables

Réflexion collective d'adhérents de la Plate-forme 21



VetAgro Sup

Objectif DURABILITÉ



# SOMMAIRE

- Avant propos.
- Enjeux de durabilité considérés pour l'analyse.
- La méthanisation agricole, c'est quoi ?
- 3 focus :
  - Les intrants de la méthanisation agricole
  - Gaz émis, bilans carbone et énergétique
  - Les digestats et leurs impacts
- Conclusions
- Bibliographie

*Document publié en décembre 2024, à partir des échanges de 2023.*

### Le fruit d'une réflexion collective

Ce document a été réalisé à la demande et avec l'appui d'adhérents de la Plate-forme 21, en réponse à deux besoins :

- mieux discerner les conditions d'adéquation de la méthanisation de matières agricoles au développement durable, dans un contexte de circulation d'informations et d'analyses divergentes sur le sujet
- identifier les principaux points de divergence entre experts, mais aussi les questions auxquelles il n'est pas encore possible de répondre compte tenu de l'état actuel des connaissances scientifiques.

Courant 2023, la Plate-forme 21 a donc réuni plusieurs de ses organisations adhérentes pour effectuer ce travail de clarification, grâce à leurs compétences complémentaires :

- GREFFE, Groupe scientifique de réflexion et d'information pour un développement durable, représenté par :
  - Gérard FONTY, Directeur de recherche émérite au CNRS, spécialiste de l'écologie microbienne ;
  - Jean-Pierre JOUANY, ingénieur-chimiste, maître de sciences-physique, titulaire d'une thèse d'État en biologie, ancien chercheur à l'INRA et directeur de recherche. Il a été auditionné en 2021 par le Sénat, pour la mission d'information sur la méthanisation.
- SIDAM, service interdépartemental des Chambres d'agriculture du Massif central, représenté par Nicolas MULLENBACH, chargé de mission « Durabilité des élevages herbagers » et animateur du « Cluster Herbe Massif central » ;
- VetAgro Sup, représenté par Olivier AZNAR, enseignant-chercheur en économie au Département « Territoires et Société » ;
- Comb Lab, incubateur social des Combrailles (Puy-de-Dôme), représenté par son Président Michel AGUILAR.

Leur réflexion présentée s'appuie sur les résultats des travaux scientifiques conduits en France ou ailleurs dans le monde, disponibles au 15 septembre 2024.

Ce document présente les trois focus sur lesquels ont porté les échanges au sein du groupe :

- 1°) les intrants de la méthanisation agricole
- 2°) le bilan carbone et énergétique de la méthanisation agricole et son bilan énergétique
- 3°) les digestats et leurs impacts.

### Public et objectifs

Ce document s'adresse aux personnes qui s'interrogent sur l'adéquation de la méthanisation agricole au développement durable.

Passant en revue les différentes étapes du cycle de vie d'une unité de méthanisation, il met en évidence des questions à se poser et des critères d'appréciation à intégrer dans la réflexion de tout projet de méthanisation agricole, sans prétendre à l'exhaustivité, pour en interroger et/ou évaluer la durabilité sous l'angle scientifique, technique et territorial.

### Points de vigilance à l'attention des porteurs de projets

- En pleine expansion, la filière de la méthanisation agricole évolue très vite compte tenu des enjeux et objectifs de transition écologique. Il est donc essentiel de se tenir informé de l'actualité des données, qui évoluent avec l'avancée des connaissances scientifiques, ces dernières pouvant parfois remettre en question des analyses passées.
- Pour décider au mieux, il est important de vérifier la neutralité des sources d'informations. Les producteurs de connaissances indépendants, n'ayant aucun conflit d'intérêts avec la filière, sont à privilégier.
- Il convient de garder en tête qu'il existe une grande diversité de projets de méthanisation agricole, différant notamment par leurs tailles. Les réponses aux questions présentées dans ce document sont à adapter selon les caractéristiques de chaque projet. Sur le plan environnemental, vaut-il mieux installer de nombreux petits sites ou un nombre réduit de sites de grande taille ? La question se pose.
- Le document ne traite pas de la méthanisation de déchets ménagers ou des boues de stations d'épuration.

Le groupe souhaite néanmoins signaler qu'un méthaniseur de ce type, même de grande taille, sera toujours préférable à l'enfouissement des déchets qui conduit inévitablement à la libération naturelle de méthane dans l'air, puissant gaz à effet de serre dont le potentiel de réchauffement global est *28 fois supérieur* à celui du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

## ● Enjeux de durabilité considérés pour l'analyse

### Qu'entend-on par « méthanisation agricole durable » ?

Au regard des changements globaux en cours, qui caractérisent l'Anthropocène, les membres du groupe de travail se sont entendus pour considérer qu'un projet de méthanisation agricole est « durable », s'il répond aux principes suivants :

- il **respecte le vivant** humain et non humain
- il est pensé dans un esprit de **frugalité matérielle** (qualité prioritaire sur la quantité, gestion économe des ressources)
- il ne recourt aux **technologies que si elles sont saines et vraiment utiles** au regard des besoins humains fondamentaux
- il s'appuie sur **une organisation des acteurs en réseau**
- il vise une **économie basée sur la valeur d'usage, d'utilité réelle et durable des biens et services**
- il **fait sens** en contribuant à l'accomplissement individuel et collectif des organisations et des personnes.

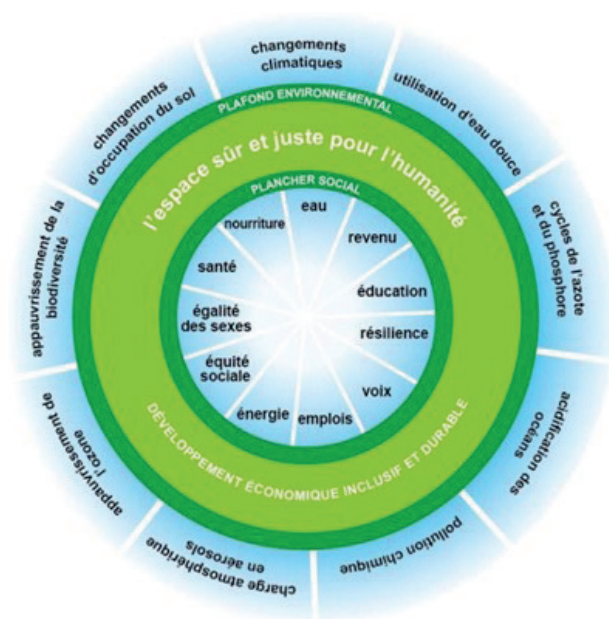
#### L'esprit du Donut

Prenant appui sur la théorie du Donut de Kate Raworth (cf. schéma ci-contre), le groupe a défini une série de critères à interroger sur la durée de vie complète de l'unité de méthanisation agricole, pour évaluer son adéquation au développement durable.

Ces critères sont à manipuler avec souplesse, en tenant compte des réalités de chaque territoire de projet. Dans le domaine de la méthanisation agricole, comme dans bien d'autres, il n'existe par de vérité ni de solution universelle.

Ces critères d'analyse renvoient à la prise en compte des deux frontières à ne pas franchir pour conserver des conditions de « bien vivre » à l'échelle planétaire : les limites planétaires et le plancher social.

*Situé entre les limites environnementales et le plancher social, le « Donut » définit l'espace sûr et juste pour l'humanité, dans lequel une économie inclusive et durable peut prospérer.*



La théorie du « Donut » de Kate Raworth

#### Positionnement des 19 critères

Plancher social :

- E1 • Enjeu « alimentation »
- E2 • Enjeu « eau »
- E3 • Enjeu « énergie »
- E4 • Enjeu « revenu et travail »
- E5 • Enjeu « équité sociale »
- E6 • Enjeu « paix et justice »
- E7 • Enjeu « réseaux de communautés »
- E8 • Enjeu « santé »

B1 : Enjeu « devenir / maintien des agriculteurs dans le territoire »

Limites planétaires

- L1 • Changement climatique
- L2 • Utilisation de l'eau
- L3 • Perturbation des cycles de l'azote et du phosphore
- L4 • Introduction d'entité nouvelles dans la biosphère
- L5 • Acidification des océans
- L6 • Augmentation des aérosols dans l'atmosphère
- L7 • Appauvrissement de l'ozone stratosphérique
- L8 • Effondrement de la biodiversité
- L9 • Changement d'utilisation des sols

A1 • Raréfaction des produits géologiques (métaux dont cuivre, minerais, sable...).

## Questionnement des conditions de durabilité

Le gaz vert de la méthanisation agricole peut-il être une alternative *durable* face à la pénurie de ressources énergétiques en France ? Les avis des experts divergent sur plusieurs sujets, notamment sur :

- la méthodologie à appliquer pour calculer le bilan des émissions de gaz à effet de serre de la méthanisation
- sa neutralité carbone
- son efficacité énergétique
- les qualités fertilisantes des digestats
- la valorisation de déchets
- les risques d'accidents
- les impacts sur l'agriculture et les agriculteurs.

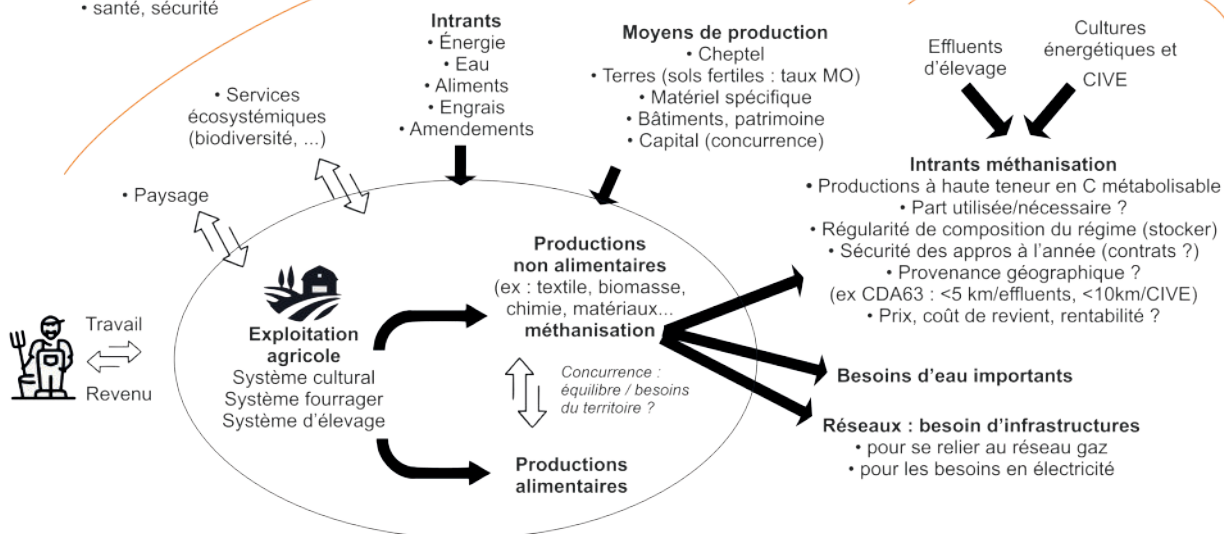
C'est pourquoi le groupe de travail animé par la Plate-forme 21 – composé de scientifiques (chimiste, écologue), d'ingénieurs des domaines de l'industrie et de l'agriculture, d'un responsable d'association de développement local – a souhaité faire un point sur le sujet.

Son objectif : porter à connaissance les principales controverses, les questions importantes à se poser quand on envisage un projet de méthanisation agricole, ainsi que les questions auxquelles l'état actuel des connaissances ne permet pas de répondre, qui révèlent le besoin de nouvelles expérimentations.

Principaux domaines qu'il est proposé d'interroger, en fonction de chaque situation donnée, pour identifier les impacts positifs et négatifs à l'échelle d'un territoire

### Selon les TERRITOIRES

- besoins ? (ex : alimentation)
  - synergies ?
- nuisances, risques ? (acceptation)
- concurrence (ex : utilisation de l'eau)
  - bien-être et cadre de vie
  - santé, sécurité



Deux motivations à la création de l'unité :

- éliminer avant tout des déchets, tout en produisant de l'énergie
- produire avant tout de l'énergie.

# • La méthanisation agricole, c'est quoi ?

## Une biotechnologie complexe, fragile et « à risque »

### Les étapes de la méthanisation

La méthanisation est une biotechnologie basée sur la dégradation de la matière organique par des micro-organismes. Utilisée depuis des décennies pour dépolluer les effluents d'élevage ou de l'agroalimentaire, ou encore les boues de station d'épuration, elle connaît aujourd'hui une forte expansion compte tenu de sa capacité à produire de l'énergie (biogaz). Reposant sur des organismes vivants, c'est une technologie exigeante, complexe et fragile. En voici les étapes :

**Étape 1 Introduction de matière organique d'origine agricole dans le digesteur :** ensilage de maïs, lisiers, CIVE (cultures intermédiaires à vocation énergétique)... Les quantités varient fortement selon les digesteurs. Le lisier est souvent utilisé car il apporte, en quantité, l'azote et l'eau indispensables à la croissance des micro-organismes.

**Étape 2 Fermentation par les micro-organismes :** cette fermentation doit s'effectuer en continu et en milieu totalement exempt d'oxygène, à une température de 39°C ou de 50°C selon le type de fermentation. Le mélange mis à fermenter contient environ 90% d'eau, ce qui facilite son brassage et permet le bon fonctionnement des micro-organismes. Un digesteur n'est mis à l'arrêt qu'en cas de dysfonctionnement ou pour son nettoyage.

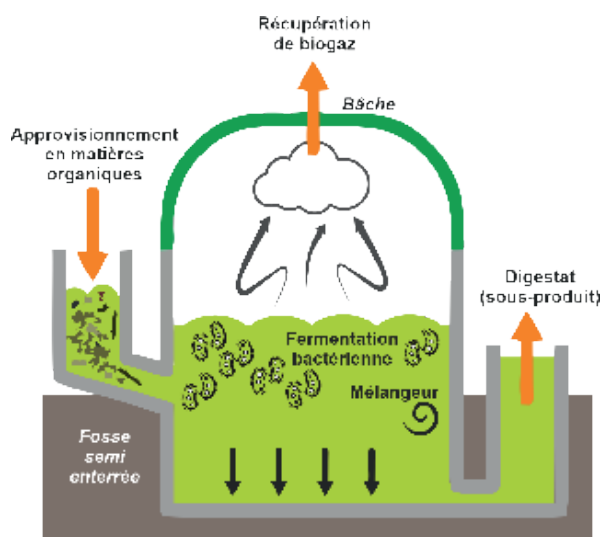
**Étape 3 Récupération du biogaz et du digestat :** mélange gazeux, le « biogaz » est collecté à la sortie du méthaniseur. Il contient 50% à 60% de méthane, 40% à 50% de gaz carbonique et d'autres gaz à l'état de traces dont les effets de nuisances olfactives et sanitaires sont néanmoins à ne pas sous-estimer. Constitué des éléments liquides et solides que les microbes n'ont pas réussi à transformer en gaz, le digestat est également récupéré et valorisé. Ce résidu est un sous-produit de la méthanisation, alors que le biogaz en est la finalité.

**Étape 4 Traitement du biogaz :** le biogaz peut être utilisé en l'état, sans traitement, pour produire à la fois de l'électricité et de la chaleur (cogénération). Plus rarement, il est brûlé pour produire uniquement de la chaleur. Il peut aussi être épuré – pour ramener sa concentration initiale de 50-60% à 97% de méthane – afin d'être injecté dans le réseau GRDF (centaines de m<sup>3</sup>/h). Enfin, il peut aussi être utilisé comme carburant pour les véhicules (GNV), après avoir été comprimé.

**Étape 5 Valorisation du digestat :** ce sous-produit de la méthanisation est utilisé pour l'agriculture, comme amendement et comme substitut aux engrais chimiques. Il est épandu suivant des normes précises à respecter, relatives aux conditions climatiques. Cette exigence impose pour l'exploitant d'avoir la capacité d'en assurer le stockage durant 6 mois environ, de façon à pouvoir attendre la période d'épandage autorisée.

### Quelques ordres de grandeur (les chiffres évoluent à la hausse chaque année)

- Volume du digesteur : plusieurs milliers de m<sup>3</sup>.
- Quantités d'intrants : de 30 à plus de 100 t de matière brute/jour en moyenne. Dans sa thèse<sup>1</sup> p. 163, J. Cadiou note cependant que dans le Grand Est, les agriméthaniseurs ont tendance à vouloir agrandir la puissance de leur méthaniseur pour augmenter les gains de vente du biogaz, ce qui augmente leurs besoins et diminue leur autonomie en intrants.
- Production de biogaz pour un site de taille moyenne : environ 125 m<sup>3</sup> / heure, soit 1 million de m<sup>3</sup> / an.
- Production de digestat : 26 à plus de 87 tonnes / jour. Sur 6 mois, il faut donc pouvoir stocker de 4 700 t à plus de 15 500 t de digestat.
- Durée moyenne de fonctionnement d'un digesteur : 340 à 350 jours par an (8 000 à 8 400 h) en continu.
- Production d'énergie moyenne d'un méthaniseur agricole en France : 10 GWh (10 milliards de Wh).



Le digesteur, au cœur du système

<sup>1</sup>Thèse de Jeanne Cadiou, 2023. [Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique.](#)

### Assurer un fonctionnement continu du méthaniseur

Parce qu'il repose sur l'action de micro-organismes, donc d'êtres vivants, le méthaniseur doit fonctionner en continu. Pour ce faire, il convient de :

- garantir un approvisionnement et un stockage des intrants, constants en quantité et en nature toute l'année
- garantir un milieu exempt d'oxygène dans le digesteur, ainsi qu'un pH très légèrement acide (6,5) et constant
- garantir une même température du milieu en toute saison (37-40°C ou 55-60°C selon la technologie de fermentation) et le brassage continu de ce dernier
- être en mesure de stocker quelques heures de production de biométhane, gérer l'étanchéité des ouvrages afin d'éviter les fuites
- garantir l'absence de tout écoulement du contenu du digesteur dans l'environnement.

### Ainsi, permettant un fonctionnement quasi-autonome du système, de nombreux capteurs équipent le méthaniseur pour surveiller en continu :

- la présence ou non d'oxygène (potentiel d'oxydoréduction) dans le digesteur
- l'acidité du mélange fermentaire (pH) et sa température
- la composition du biogaz produit et son débit
- les pressions des liquides et des gaz dans le digesteur
- le bon fonctionnement de la torchère : en cas de surpression, le surplus de biogaz ou de biométhane est en effet brûlé pour être évacué sous forme de CO<sub>2</sub> vers l'extérieur. Ce rejet de CO<sub>2</sub> dans l'air est nettement préférable à celui de méthane, dont le potentiel de réchauffement global (effet de serre) est 28 fois supérieur.

### Règlement ICPE

La procédure pour les Installations classées pour l'environnement (ICPE) comporte des réglementations sur :

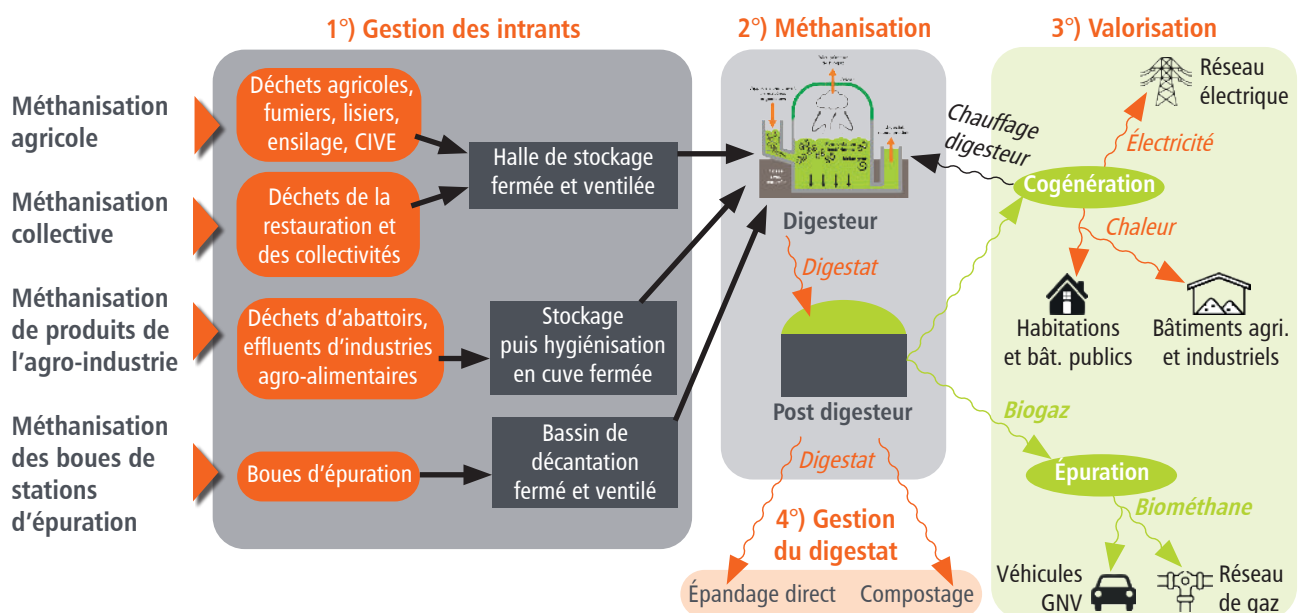
- les risques : explosion, incendie
- les aspects environnementaux : réduction des émissions dans l'air et l'eau, mise en œuvre des digestats
- protection du voisinage : nuisances olfactives et sonores.

Pour la méthanisation, les règles à suivre sont les suivantes :

- déclarer l'installation si le volume d'intrants traité est inférieur à 30 tonnes / jour ;
- faire enregistrer l'installation si le volume d'intrants traité est compris entre 30 et 100 tonnes / jour ;
- demander une autorisation, si le volume d'intrants traité est supérieur à 100 tonnes / jour.

### Selon la nature des intrants et l'usage du biogaz, il existe divers types de méthanisation

La méthanisation agricole est un type de méthanisation parmi d'autres. Chaque type de méthanisation a sa propre problématique technique (intrants, digesteur, biogaz, digestat) et ses propres impacts économiques, environnementaux et sociaux.



## Place de la méthanisation agricole dans la transition énergétique

En 2023 en France, 652 sites ont injecté 9,1 TWh de biométhane. Cette production représente environ 2,4 % de la consommation nationale de gaz<sup>2</sup>.

La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) prévoit une production de 24 à 32 TWh en 2028, dont 14 à 22 TWh injectés, ce qui représente au total entre 7% et 10% de la consommation nationale de gaz<sup>3</sup>.

L'Agence de la transition écologique (ADEME) quant à elle, prévoit une production de 100 TWh en 2048.

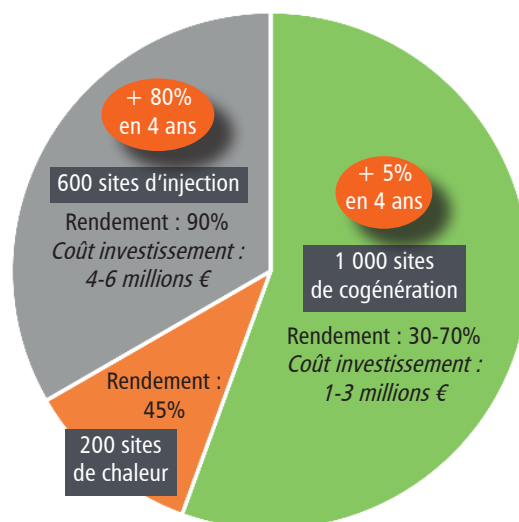
Pour être réalisés, ces objectifs supposent en cinq ans, de doubler (x1,5 au minimum) la production actuelle de biogaz, ou encore de la multiplier par 11 dans les 25 ans à venir. Il est prévu de produire 90% du biogaz grâce à méthanisation de matières agricoles et d'injecter 80% du biogaz produit dans le réseau GRDF.

La [Synthèse régionale du fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne-Rhône-Alpes - Année 2021](#), publiée par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement, précise : « L'ambition française pour la filière biogaz repose sur le traitement prioritaire de déchets et coproduits agricoles, de façon à ne recourir que marginalement à des cultures énergétiques dédiées, c'est-à-dire des cultures qui auraient pu avoir un débouché alimentaire ». Il serait utile néanmoins de préciser ce qui est entendu par « déchets » et « coproduits ».

Les pouvoirs publics misent sur le développement des méthaniseurs de grande taille à injection pour atteindre les objectifs ambitieux de la transition énergétique, dans les délais impartis.

La taille de l'unité de méthanisation n'est pas forcément préjudiciable en terme de développement durable, sous réserve qu'elle reste adaptée aux intrants et aux surfaces susceptibles d'accueillir les digestats, à l'échelle locale (5 km maxi).

Néanmoins, Jeanne Cadiou observe dans le Grand Est que ces distances sont d'autant plus importantes que les besoins en intrants augmentent. Elle note d'ailleurs l'apparition du métier de courtier dans cette région, permettant de mettre en relation les agriculteurs méthaniseurs et les fournisseurs d'intrants.



1 800 sites de méthanisation

couvrent moins de 2% de la consommation de gaz en France

La méthanisation agricole en France, en 2024

### Le plus grand méthaniseur en France : BioBéarn à Mourenx (Landes)

Implantée sur les 7 ha d'une ancienne friche industrielle, l'installation [BioBéarn](#) a été mise en service par Total Énergies en janvier 2023.

- 3 digesteurs de 25 mètres de haut, d'une capacité unitaire de 100 000 m<sup>3</sup>.
- Intrants : 220 000 tonnes / an, soit 680 tonnes / jour de déchets organiques et résidus issus des activités agricoles et agroalimentaires du territoire (broyat de maïs, lisiers, déchets), apportés par 90 fournisseurs locaux dans un rayon de 40 km autour du site.
- Capacité de production annuelle : 160 GWh, soit la consommation annuelle moyenne de 32 000 habitants (en France à ce jour, une unité moyenne produit 10 GWh / an). 100 GWh de biométhane produits par BioBéarn seront fournis à Saint-Gobain France, sur une période de 3 ans à partir de 2024.
- Production annuelle de digestat : 200 000 tonnes, épandues sur des parcelles cultivées dans un rayon de 50 km autour de l'unité. La réduction de 5 000 tonnes d'engrais chimiques est ainsi escomptée.

<sup>2</sup>SER, Gaz et Territoires, GRDF, GRTgaz et Teréga, 2023. [Panorama des gaz renouvelables](#)

<sup>3</sup>Ministère de la transition écologique et solidaire, synthèse, 2023. [Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 2024-2028](#)



# ● 1 - Les intrants de la méthanisation agricole

## Qualité et nature des intrants

### Pour optimiser la production de méthane : une ration riche en carbone et hydrogène rapidement métabolisables

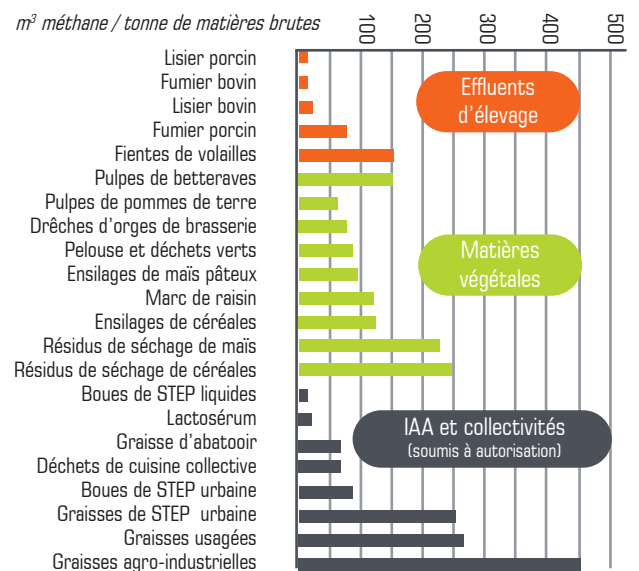
Pour une production optimale de méthane (CH<sub>4</sub>), les matières introduites dans le méthaniseur doivent être riches en carbone et en hydrogène rapidement dégradables par les microorganismes.

**Or, l'utilisation seule de lisiers ou de déchets de cultures ne permet pas de répondre à cet impératif.**

Le lisier contient peu de carbone, celui-ci ayant été digéré par les animaux. En revanche, il est très intéressant pour l'eau et l'azote soluble qu'il apporte, essentiels au développement et au métabolisme des microorganismes.

Le carbone présent dans les déchets de culture est peu digestible. Il est en effet localisé dans les structures des parois végétales (cellulose, lignine...), très résistantes à l'action des microorganismes qui n'ont pas le temps de les dégrader lors du cycle court de la méthanisation.

**D'autres sources d'intrants riches en carbone métabolisable sont donc nécessaires pour compléter la ration :** cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE), cultures énergétiques dédiées (maïs, sorgho, betterave...). L'utilisation de ces dernières est réglementée en France depuis 2016, afin de réduire les risques d'une réorientation trop forte des terres. Elles ne peuvent constituer plus de 15% des intrants sur une moyenne de 3 ans.



Exemples de potentiel méthanogène de divers substrats

Source : Methasim 2010

### Un approvisionnement constant et régulier toute l'année

Pour ne pas perturber l'activité de fermentation des microorganismes, il est primordial d'alimenter le digesteur de manière régulière toute l'année, avec une ration dont la composition soit aussi constante que possible.

En cas de changement de nature des intrants, les fermentations peuvent s'interrompre, entraînant l'arrêt total du système.

C'est pourquoi l'ensilage de fourrages verts est souvent privilégié par les gérants de sites et pourquoi la méthanisation basée sur des intrants hétérogènes – par exemple des déchets ménagers ou de restauration – est si difficile à gérer.

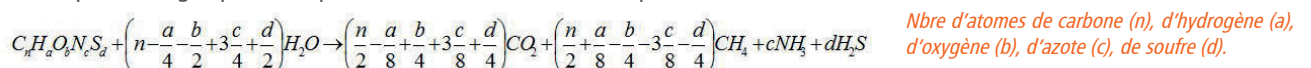
**La ration moyenne observée est de l'ordre de 6-8% d'ensilage de maïs, 35-45% de CIVE (ex : maïs et sorgho l'été ou avoine, orge, triticale l'hiver, stockées sous forme d'ensilage), 40-50% de lisiers.**

**Néanmoins, un point fait dissensus au sein du groupe :** la fiabilité des déclarations relatives aux quantités de cultures principales placées dans les méthaniseurs, faute de contrôle systématique par les services de l'État. Dans le Grand Est, J. Cadiou (p. 248)<sup>1</sup> a observé un décalage entre les quantités théoriques de biogaz produites et celles réellement produites. Ceci révèle des quantités de cultures principales et de CIVE supérieures à celles déclarées. La fréquente confusion faite par les agriculteurs entre CIVE et cultures principales (p. 167 et p. 248)<sup>1</sup>, également observée par J. Cadiou, en est peut-être l'explication ?

### 2 méthodes sont utilisées pour évaluer le potentiel méthanogène des intrants

• Méthode 1 : mesure en laboratoire par la mise en culture, en bioréacteur fermé, d'une quantité connue d'intrant (test *BMP - Biotechnological Methane Potential*) - étude inter-laboratoires ISO 17025.

• Méthode 2 : utilisation de l'équation de Buswell et Müller (1952). Elle permet de prédire la quantité et la composition théorique du biogaz produit à partir d'un substrat dont la composition élémentaire est connue.  $\angle$



**Cette formule montre que les teneurs en carbone (C) et hydrogène (H) favorisent la production de méthane (CH<sub>4</sub>). En revanche, celles en oxygène (O), azote (N) et soufre (S) la pénalisent.**

C'est pourquoi il convient de garantir un milieu exempt d'oxygène dans le digesteur. De même, si ce milieu est trop riche en azote et soufre, de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) se forment, au détriment de la production de méthane.

<sup>1</sup> Thèse de Jeanne Cadiou, 2023. [Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique.](#)

## Cultures intermédiaires et méthanisation

Les cultures intermédiaires sont des cultures semées et récoltées entre deux cultures principales sur la même parcelle. Leur récolte s'effectue sur une ou deux années consécutives. La diversité de leurs appellations reflète celle de leurs fonctions potentielles : CIVE (Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique), CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates), CIMS (Cultures Intermédiaires Multi-Services), engrais verts, couvert végétal...

### Les CIVE : une vocation énergétique

Les CIVE sont implantées pour être récoltées avant maturation. Stockées le plus souvent sous forme d'ensilage, elles sont utilisées comme intrants pour la méthanisation agricole. Contrairement aux *cultures énergétiques dédiées*, qui sont des cultures principales, les CIVE ne sont pas réglementées. De nombreuses espèces sont utilisées : graminées pures (avoine, seigle, triticale, ray grass...), ou mélangées à des légumineuses (vesce, trèfle, pois, féverole...). Ces cultures permettent à l'agriculteur de sécuriser l'appro-

visionnement de son méthaniseur sans recourir aux cultures énergétiques dédiées. Elles se caractérisent par un fort potentiel méthanogène, de 100 à 300 normo-m<sup>3</sup> de méthane par tonne de matière sèche selon les espèces (*source : Ministère de l'Agriculture*).

Il est observé que le potentiel méthanogène tend à diminuer avec l'avance en maturité des plantes (*source : Arvalis*). Généralement récoltées avant maturité pour maximiser leur potentiel méthanogène et éviter la production excessive de jus d'ensilage dans le silo, les CIVE ont souvent un meilleur potentiel méthanogène que les cultures principales, récoltées plus tardivement (*source : Arvalis*).

Selon les espèces utilisées, pures ou en mélanges, les CIVE peuvent présenter plusieurs intérêts agronomiques : limitation du lessivage des nitrates, structuration du sol, lutte contre les adventices et contre certaines maladies de la culture principale, contribution à la biodiversité. Enfin, elles évitent de laisser le sol nu pendant l'interculture, ce qui limite l'érosion de ce dernier par l'eau et le vent.

## Calculs théoriques, pour illustrer les ordres de grandeur

Quantités d'intrants nécessaires pour produire 100 TWh\* de méthane/an avec 2 rations extrêmes (base : méthaniseur agricole fonctionnant 340 j/an)

**RATION 1 : 15% ensilage maïs  
40% CIVE - 45% lisier**

**RATION 2 : 6% ensilage maïs  
44% CIVE - 50% lisier**

	RATION 1	RATION 2
<b>Ensilage de maïs</b>	Biomasse 25,4 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 25,4 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /an Prod. Énergie : 25,4 TWh/an	Biomasse 10,9 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 10,9 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /an Prod. Énergie : 10,9 TWh/an
<b>CIVE</b>	Biomasse 67,7 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 67,7 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /an Prod. Énergie : 67,7 TWh/an	Biomasse 80,0 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 80,0 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /an Prod. Énergie : 80,0 TWh/an
<b>Lisier</b>	Biomasse 76,2 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 762 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an Prod. Énergie : 7,6 TWh/an	Biomasse 90,9 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 909 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an Prod. Énergie : 9,1 TWh/an
<b>TOTAL</b>	Biomasse 169,3 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 100 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /an <b>Prod. Énergie : 100 TWh/an</b>	Biomasse 181,8 x 10 <sup>6</sup> t MB/an Prod. bioCH <sub>4</sub> : 100 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /an <b>Prod. Énergie : 100 TWh/an</b>

Plus la ration est riche en glucides (cultures principales, CIVE), plus elle produit d'énergie. Plus elle est riche en lisier, moins elle en produit.

\* Production estimée pour 2048 (ADEME).

Surface agricole à mobiliser pour la culture des intrants pour produire 100 TWh\* de méthane/an, selon la part de CIVE mobilisant de nouvelles surfaces agricoles

(surface en prairies pour les élevages fournissant les lisiers non comprises)

Part de CIVE mobilisatrice	Surface mobilisée selon la ration et équivalence en nombre de départements (surface moyenne d'un départ. = 5 500 km <sup>2</sup> )	
	RATION 1	RATION 2
<b>0 %</b> (culture sur les mêmes parcelles que le maïs)	760 000 ha (maïs) 1,4 départements	330 000 ha (maïs) 0,6 départements
<b>1/3</b>	760 000 ha (maïs) 673 300 ha (CIVE) 1 433 330 ha 2,6 départements	330 000 ha (maïs) 796 600 ha (CIVE) 1 126 600 ha 2 départements
<b>50 %</b>	760 000 ha (maïs) 1 010 000 ha (CIVE) 1 770 000 ha 3,2 départements	330 000 ha (maïs) 1 195 000 ha (CIVE) 1 525 000 ha 2,8 départements
<b>100 %</b>	760 000 ha (maïs) 2 020 000 ha (CIVE) 2 780 000 ha 5 départements	330 000 ha (maïs) 2 390 000 ha (CIVE) 2 720 000 ha 5 départements

Remarque : pour en savoir plus sur les biomasses nationales disponibles pour produire de l'énergie, sur les limites de cette utilisation et points de vigilance, voir le rapport d'INRAE d'avril 2024<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>INRAE, 2024. *Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies. (Résumé)*

## Bilan : intrants et conditions de durabilité de la méthanisation

Plusieurs points ont été relevés par le groupe :

### Souveraineté alimentaire : un choix de société

Comme indiqué dans l'encadré page 10, la surface de terres arables nécessaire pour assurer la production de 100 TWh estimée pour 2048 par l'Agence de la transition écologique (ADEME), varie selon que les CIVE sont cultivées sur les mêmes surfaces que les cultures principales, ou sur de nouvelles surfaces (ex : prairies retournées).

Dans le Grand-Est, les terres cultivables n'étant pas extensibles, l'abandon de cultures principales dédiées à l'alimentation humaine ou animale au profit de cultures dédiées à l'énergie (limitées à 15% de la ration du méthaniseur), ou de CIVE (non limitées), a parfois été observé<sup>1</sup> ; de même<sup>1</sup> (p. 178-179), la réduction de la taille du cheptel par des éleveurs afin de prioriser la production de maïs méthanisable.

En parallèle, un marché se développe<sup>1</sup> pour les CIVE et le maïs à destination des agriculteurs méthaniseurs car la demande augmente, générant une hausse de leur prix de vente. La perspective de réduction de surfaces dédiées à l'alimentation questionne notre souveraineté alimentaire, d'autant plus que le changement climatique s'accélère. Ce dernier explique en partie la stagnation des rendements qui est observée depuis 1996. Ce constat risque-t-il de se généraliser à



La Vesce, une espèce utilisable en tant que CIVE

### L'avenir ? Sur ce point, les membres du groupe de travail ne partagent pas la même vision.

Que seront les rendements agricoles demain et seront-ils suffisants pour couvrir nos besoins ? La question renvoie au rôle de l'agriculture et des agriculteurs, qui engageant l'avenir de tous les citoyens, mériterait un débat national au sein de la société.

### Les Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN)

Les CIPAN sont un dispositif agroenvironnemental issu d'une directive européenne de 1991 : la [directive Nitrates](#).

Ces cultures sont installées pour fixer l'azote excédentaire dans le sol, afin de protéger la qualité de l'eau de la pollution par les nitrates.

**Les CIPAN sont le plus souvent broyées et enfouies dans le sol avant implantation de la culture principale**, pour restituer les nitrates piégés sous forme d'engrais naturel. Cette pratique permet également de restituer leur carbone au sol.

Les espèces utilisées sont nombreuses parmi les graminées (ex : avoine blanche, Ray-Grass d'Italie) et légumineuses (Vesce, pois fourrager, mélilot...).

Les CIPAN ont ainsi des intérêts agronomiques : elles ont un effet bénéfique sur la structuration du sol en contribuant notamment au maintien du taux d'humus, donc à la vie biologique et à la fertilité du sol. Elles participent plus globalement à la biodiversité en offrant des couverts végétaux différents pendant l'automne et l'hiver, qui sont autant de refuges et de garde-manger pour la faune sauvage.

### Changement climatique et biodiversité

Les prairies et les forêts ont un rôle essentiel dans la séquestration du carbone et la réduction des gaz à effet de serre, mais aussi pour la biodiversité. Or, le changement d'usage des terres lié à l'expansion des cultures à vocation énergétique touche aussi la forêt et les pâturages, qui sont détruits pour installer des cultures dédiées à la méthanisation. Cette pratique déstocke d'importantes quantités de carbone des sols (80 tonnes de carbone par hectare dans les 30 premiers centimètres des sols de prairies permanentes).

C'est pourquoi la [directive RED II](#) interdit tout retournement de prairie à des fins de méthanisation, pour les sites visant une production de méthane de plus de 200 m<sup>3</sup>/h.

Dans le Grand Est, Jeanne Cadiou a observé<sup>1</sup> (p. 147 et 168) une réduction des surfaces de prairies, mais aussi des légumineuses en raison de leur production insuffisante et de leur mauvaise capacité à valoriser l'azote des digestats.

Elle note également<sup>1</sup> (p. 168, 178 et 180) que les élevages hors-sol se développent aux dépens de l'élevage extensif à l'herbe, afin de disposer de lisier toute l'année. Ce constat ne peut être généralisé à l'ensemble du territoire national, mais il incite à la vigilance.

<sup>1</sup> Thèse de Jeanne Cadiou, 2023. [Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique.](#)

### Fertilité et résilience des sols : la question du carbone

Dans leurs choix de cultures intermédiaires, l'orientation énergétique incite les agriculteurs à préférer les CIVE aux CIPAN (cf. encadré ci-contre), surtout qu'elles présentent un fort potentiel méthanogène, souvent supérieur à celui des cultures principales qui diminue avec l'avancée en maturité des plantes. Le prix de vente des CIVE motive aussi ce choix. Pour mémoire, les CIVE sont récoltées avant maturité et ensilées pour approvisionner le méthaniseur ; les CIPAN sont généralement broyées et enfouies dans le sol avant l'installation de la culture principale qui leur succède.

Au regard de l'*Initiative 4 pour 1000*, (cf. encadré page 12), les conséquences de cette préférence sur **la restitution du carbone au sol, ne font pas consensus entre les experts**. Les essais réalisés par INRAE<sup>5</sup> montrent qu'« *A production égale de biomasse, une CIVE (avec retour de digestat) stockerait légèrement moins de carbone dans les sols qu'un couvert non récolté. Mais les rendements de CIVE sont supérieurs aux rendements des couverts non récoltés (CIPAN), ce qui amène à un stockage supérieur – de carbone – avec CIVE*». Les rendements supérieurs sont expliqués par le choix de l'espèce cultivées ainsi que par la fertilisation, généralement

par du digestat. Dans le Grand Est<sup>1</sup>, une sur-fertilisation azotée des CIVE par l'apport complémentaire d'engrais minéraux dommageable pour l'environnement, a parfois été observée<sup>1</sup> par Jeanne Cadiou (p. 137-138).

A l'opposé, les scientifiques du CSNM – Collectif Scientifique National Méthanisation – considèrent que les CIVE restituent moins de carbone au sol, étant récoltées plutôt qu'enfouies, ce qui va à l'encontre des objectifs de l'*Initiative 4 pour 1000*. Cette analyse est présentée dans la [fiche n°8](#) publiée par le CSNM, intitulée « *La méthanisation entraîne l'accélération du cycle du carbone, un épuisement de la matière organique du sol et son déplacement vers plus de CO<sub>2</sub> atmosphérique* ».

### Et le paysage ?

La perspective d'une production nationale de 100 TWh en 2048, avec ce même type de méthaniseurs, conduit une partie des membres du groupe à s'inquiéter de la modification du paysage des territoires ruraux.

Ce niveau futur de production suppose de mobiliser 11 000 à 27 500 km<sup>2</sup> de terres agricoles, selon le mode d'alimentation des méthaniseurs (cf. p. 10), soit une surface moyenne d'environ 20 000 km<sup>2</sup>, ce qui représente plus de 10% de la surface totale des terres arables en France.

### Initiative 4 pour 1000 (COP21) : stocker le carbone dans les sols

L'initiative 4 pour 1000, lancée par la France en 2015 lors de la COP21, vise à lutter contre le changement climatique et la dégradation des sols.

Objectif : limiter l'augmentation des teneurs en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, en relevant de 0,4 % par an la teneur en matière organique des sols agricoles en priorité.

Le carbone capté par les plantes à travers le CO<sub>2</sub> lors de la photosynthèse est en partie restitué au sol sous forme de matière organique qui l'enrichit et améliore sa fertilité.

L'initiative consiste à améliorer la concentration en carbone des sols par diverses pratiques, selon les territoires : agroforesterie, conservation des sols, gestion des cultures, compostage. Il s'agit ainsi d'améliorer la résistance des sols aux changements climatiques, mais aussi leur fertilité, donc de renforcer la sécurité alimentaire mondiale.

En savoir plus : [L'initiative internationale « 4 pour 1000 » - Ministère de l'Agriculture et de la souveraineté alimentaire](#)

<sup>5</sup> [Stockage de carbone et cultures intermédiaires à vocation énergétique](#). Florent Levasseur (INRAE, UMR ECOSYS), 2023.

<sup>1</sup> Thèse de Jeanne Cadiou, 2023. [Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique](#).

## ● 2 - Gaz émis, bilans carbone et énergétique

### Gaz et bilan carbone de la méthanisation agricole

#### Les gaz issus des installations de méthanisation

Les installations de méthanisation donnent principalement lieu à l'émission de cinq gaz :

- trois gaz à effet de serre : méthane (CH<sub>4</sub>), dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ; le Potentiel de Réchauffement Global à 100 ans du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O sont respectivement 28 fois et 265 fois supérieurs à celui du CO<sub>2</sub>. Leur durée de vie dans l'atmosphère sont de 12 ans pour le premier et de plus de 100 ans pour le second.
- deux gaz très nocifs pour l'environnement et la santé des êtres vivants bien qu'à l'état de traces : l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) - Voir les fiches toxicologiques de l'INRS : [ammoniac](#) ; [sulfure d'hydrogène](#).

#### Ces gaz sont émis à différentes phases du cycle de vie de l'unité de méthanisation.

- CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> émis par la consommation d'énergie pour construire, faire fonctionner et entretenir l'unité de méthanisation
- CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> émis par la combustion de produits pétroliers pour la culture, la récolte et le transport des plantes à méthaniser
- CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> émis lors du stockage des intrants avant leur méthanisation
- CO<sub>2</sub> émis par les torchères (système prévu pour éviter les émissions de biogaz dans l'atmosphère en cas de surpression)
- CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S et CH<sub>4</sub> émis par les offgaz (gaz de purge) rejetés dans l'atmosphère lors de l'épuration du biogaz en biométhane
- CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>S émis lors des fuites accidentelles de biogaz et de biométhane
- CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> émis durant les 5-6 mois de stockage des digestats
- CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O émis lors du transport et de l'épandage des digestats sur les terres agricoles
- NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O émis par les sols recevant les digestats
- CO<sub>2</sub> émis par la consommation d'énergie pour démanteler les installations en fin de vie et rendre au site son état initial.

#### Bilan carbone de la méthanisation : un exercice complexe, source de débats et de controverses

Le bilan carbone consiste à quantifier les sources de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> qui entrent et sortent du système, incluant non seulement le digesteur mais aussi toutes les activités en amont et en aval de celui-ci (ex. : émissions liées à l'entretien des routes permettant l'accès des camions au site...)<sup>6</sup>. Concernant la méthanisation, l'exercice s'avère très complexe, comme le précisait le [rapport d'information « Méthanisation : au-delà des controverses, quelles perspectives ? »](#) publié par le Sénat en 2021 (cf. ci-dessous).

#### Rapport de la mission d'information sénatoriale sur la méthanisation, 2021

En 2021, la mission sénatoriale d'information sur « *La méthanisation dans le mix énergétique : enjeux et impacts* » a entendu 106 personnalités pour recueillir le point de vue des parties prenantes. S'en est suivi un diagnostic de la filière française de la méthanisation, accompagné de 61 propositions pour favoriser l'émergence d'un « modèle français » de la méthanisation. Concernant le bilan carbone de la méthanisation, le [rapport](#) indique (p. 77 à 81) :

- Réaliser un bilan carbone de la méthanisation s'avère complexe et est, par nature, source de débats et de controverses.
- La méthanisation est multi-fonctionnelle (production d'énergie renouvelable et de digestat, gestion de déchets verts et agricoles à l'échelle d'un territoire), elle évite mais aussi induit des émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes (méthane, dioxyde de carbone, protoxyde d'azote).
- Un bilan carbone peut varier selon le type d'unité et le modèle de méthanisation développés. C'est aussi le constat de négaWatt : « Réduit-on les GES avec la méthanisation ? Cela dépend des ressources utilisées. Si l'on utilise des cultures dédiées, on prend la place directement ou indirectement de cultures alimentaires. Dans ce cas le bilan carbone pourra être négatif, la méthanisation contribuant à un changement d'affectation des sols. (...) Pour les unités qui traitent des fu-

*miers et lisiers, les facteurs d'émission sont bien plus faibles voire négatifs, car grâce à la méthanisation, les émissions de méthane qui auparavant se produisaient pendant le stockage des fumiers et lisiers, sont annulées. Lorsque l'on méthanise des CIVE la situation est un peu différente ». Une attention particulière doit être portée aux CIVE d'été, implantées après la récolte d'une culture d'hiver et récoltées en juin ou juillet, avant la culture d'hiver suivante. Cette pratique peut nécessiter une irrigation et une fertilisation spécifiques ; des gaz à effet de serre peuvent donc être émis pour leur production et leur récolte.*

- Pour l'Ademe, « il faudrait vraiment des situations extrêmes – distances d'approvisionnement de plusieurs centaines de kilomètres, fuites difficilement imaginables sur le terrain de plus de 30%, etc. » pour que l'équilibre global soit négatif.



<sup>6</sup> JP Jouany. [Analyse des émissions de gaz à effet de serre au cours du cycle de vie d'un méthaniseur agricole](#). Revue Francophone du Dév. Durable, n°21, p1-11.

La quantification des émissions de gaz et de leurs conséquences sur le climat et l'environnement, est source d'importants désaccords entre les experts.

Parmi ces désaccords, la distinction entre les effets du méthane biogénique et ceux du méthane fossile sur le climat :

- des experts considèrent que les effets du méthane biogénique sont moindres du fait d'un cycle fermé du carbone via l'utilisation du CO<sub>2</sub> par la photosynthèse des intrants ;
- d'autres réfutent cette analyse considérant que la neutralité carbone ne signifie par la neutralité climatique, puisque le CO<sub>2</sub> émis par le site de méthanisation et par la combustion du biométhane est séquestré dans l'atmosphère pendant plusieurs centaines d'années avant d'être repris par les différents puits terrestres et océaniques.

Ainsi, comme l'illustre le tableau ci-dessous, l'évaluation réalisée par l'ADEME à partir du modèle DIGES 2.0 ne prend en compte que les émissions des phases 3, 4, 5 et 10 et minimise fortement celles de la phase 5. Les émissions évitées sont également comptabilisées. Le bilan obtenu est alors de 23,4 kg CO<sub>2</sub>eq/MWh, soit 25 fois inférieur à celui estimé par Jean-Pierre Jouany (GREFFE).

Ces deux évaluations sont à comparer avec le bilan retenu en Europe pour le gaz naturel (227 kg CO<sub>2</sub>eq/MWh).

Le tableau montre que, selon l'ADEME, les émissions de CO<sub>2</sub>eq du biométhane sont 10 fois inférieures à celles du gaz naturel, alors que selon Jean-Pierre Jouany (2023), elles sont 2 à 3 fois supérieures à celles du gaz naturel. En 2024, une publication de chercheurs britanniques parue dans la revue Nature Climate Change<sup>7</sup>, conclut également que le CO<sub>2</sub>eq émis par m<sup>3</sup> de biométhane est 2 à 3 fois plus important que celui du méthane naturel.

### Potentiel de Réchauffement Global (PRG) : calculer sur 100 ans ou 20 ans ?

Le Potentiel de Réchauffement Global (PRG) est l'unité de mesure utilisée pour évaluer le réchauffement potentiel d'un gaz à effet de serre, en fonction de sa durée de vie dans l'atmosphère et de sa capacité à absorber les infrarouges.

Le Protocole de Kyoto a déterminé que le PRG serait exprimé en "équivalent CO<sub>2</sub>"; correspondant à la quantité de CO<sub>2</sub> qui provoquerait le même forçage radiatif cumulé sur une certaine période de temps.

Ainsi, par convention, le PRG du CO<sub>2</sub> est de 1. Celui du méthane est de 28 pour 100 ans et de 84 pour 20 ans.

Si l'on considère la durée de vie d'une installation de méthanisation agricole, qui est de 20-30 ans, et la durée de vie du méthane dans l'atmosphère (12 ans), la référence à 20 ans semble plus pertinente. Ce choix conduirait à des valeurs de PRG beaucoup plus importantes.

La réponse à cette question relève du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).



Phases	Estimations J.P Jouany <sup>6</sup>	ADEME
1. Conception, construction, installation, entretien du site.	5 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
2. Culture, récolte et transport du maïs et des CIVE, préparation des ensilages.	77 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
3. Collecte, transport et introduction du lisier dans le digesteur.	0 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	comptabilisé
4. Fonctionnement du digesteur (chauffage, agitation, pompage).	20 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	comptabilisé
5. Fuites de biogaz et de biométhane.	111-242 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	valeur très inférieure
6. Purification du biogaz en biométhane injecté.	20 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
7. Collecte et stockage des données, contrôle des produits, torchère.	3 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
8. Arrêt accidentel et remise en route des digesteurs.	3 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
9. Arrêt définitif en fin de vie de l'installation.	5 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
10. Collecte, stockage puis transport et épandage des digestats	0 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	comptabilisé
11. Combustion finale du biométhane injecté, CO <sub>2</sub> dans le biogaz.	327 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh	non comptabilisé
<b>TOTAL</b>	<b>571-702 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh</b>	<b>23,4 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh</b>

<sup>6</sup> JP Jouany. *Analyse des émissions de gaz à effet de serre au cours du cycle de vie d'un méthaniseur agricole*. Revue Francophone du Dév. Durable, n°21, p1-11.

<sup>7</sup> Chris D. Evans et al (2024). *Biomethane produced from maize grown on peat emits more CO2 than natural gas*. Nature Climate Change, Vo. 14, p. 1030–1032.

## Zoom sur les 11 phases du cycle de vie de l'installation prises en compte par Jean-Pierre Jouany (GREFFE)

- **Phase 1. Conception, construction, installation, entretien du site**

Sont pris en compte : l'étude du projet, la construction de l'unité, la réalisation des routes, le gazoduc reliant le site au réseau de gaz national, la liaison au réseau électrique, l'adduction d'eau, le traitement des eaux usées, tout le matériel agricole et du matériel de transport, ainsi que l'entretien des équipements sur les 20 ans de fonctionnement de l'unité.

Références des calculs d'émissions par JP Jouany : travaux de Meyer-Aurich et al (2012)<sup>8</sup>.

Remarque : le modèle de calcul des émissions de gaz à effet de serre DIGES 2.0 utilisé par l'ADEME, comme DIGES 3.0 en cours de validation, ne prend pas en compte cette phase.

Ce qui fait consensus : la comptabilisation de cette phase, au moins pour les unités de grande taille (plus de 5 GWh) qui s'apparentent à des installations industrielles.

Proposition du groupe : prendre en compte les émissions liées à la construction du méthaniseur.

- **Phase 2. Culture et récolte du maïs et des CIVE, préparation des ensilages**

Remarques :

- le modèle DIGES 2.0 n'intègre pas cette phase, considérant que l'implantation d'un méthaniseur sur une exploitation agricole ne modifie pas les surfaces cultivées, ni la nature des cultures. Mais cette allégation n'est recevable que pour de très petites unités de méthanisation.

Le modèle DIGES 3.0 publié en janvier 2024 prend désormais en compte cette étape dans le calcul des émissions de GES. A noter : les données officielles diffusées par l'ADEME n'intègrent pas encore cette ajout.

- Si des prairies permanentes sont retournées pour implanter des cultures énergétique à méthaniser, il faut prendre en compte que 50 à 80 tonnes de carbone/ha sont stockées dans les 30 premiers centimètres de leur sol<sup>9</sup>. En outre, ces prairies stockent, en plus, jusqu'à 2,2 tonnes de carbone/ha/an<sup>10</sup>. Quand on retourne une prairie permanente, on perd donc jusqu'à 80 tonnes de carbone/ha pendant la durée d'exploitation d'un méthaniseur évaluée à 20 ans.

- Autre remarque plus globale, renvoyant au développement durable des territoires : dans le Grand-Est, il est observé<sup>1</sup> que



certain éleveurs laitiers réduisent l'effectif de leur troupeau et labourent des prairies pour cultiver du maïs, qu'ils vendent aux agriculteurs méthaniseurs. La vente plus rémunératrice du maïs par rapport au lait et le gain de qualité de vie (moins d'astreintes qu'en élevage) motivent leur pratique. Or, des membres du groupe de travail jugent important de préserver le rôle des herbivores nourris essentiellement à partir des prairies (lait, viande, économie locale, entretien des paysages...), car ces sources de viande entrent moins en concurrence alimentaire avec l'homme que les volailles et porcins.

Ce qui fait consensus : la comptabilisation de cette phase.

Ce qui ne fait pas consensus : la quantification des apports en carbone au sol, entre CIVE et CIPAN.

Pour l'ADEME et Solagro, le carbone exporté du sol lors de la récolte de la CIVE est compensé par le carbone du système racinaire de la CIVE, plus productif que celui des CIPAN.

Les chercheurs du GREFFE ne partagent pas cette analyse. Pour eux, l'apport de carbone au sol d'une CIVE est forcément inférieur à celui d'une CIPAN, dans la mesure où la CIVE n'est pas enfouie dans le sol, mais récoltée.

Un article paru dans NATURE<sup>11</sup>, sur les effets du développement des biocarburants en Europe, montre que la méthanisation, comme la production de biocarburants, contribue à réduire le stockage du carbone des sols, dès lors qu'elle mène à un changement d'usage des sols et à l'utilisation de CIVE. Enfin, des travaux d'INRAE<sup>12</sup> montrent que l'utilisation de CIVE avec retour au sol des digestats apporte plus de carbone que les CIPAN.

La mise en place récente de la directive européenne RED, adresse le sujet du changement d'usage des sols (cf. encadré page suivante).

<sup>8</sup> Meyer-Aurich et al (2012). *Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources*. *Renewable Energy*, vol 37, 277-284.

<sup>9</sup> INRAE (2020), tableau 3.5-1 page 97 - *Stocker du carbone dans les sols français - Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?*

<sup>10</sup> Herfurth D. (2015). *Impact des pratiques de gestion sur le stockage du Carbone dans le sol des écosystèmes prairiaux*. Thèse Univ. Clermont-Ferrand II.

<sup>1</sup> Thèse de Jeanne Cadiou, 2023. *Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique*.

<sup>11</sup> Searchinger T.D. et al (2022). *EU climate plan sacrifices carbon storage and biodiversity for bioenergy*. *NATURE*, vol 612, 27-30.

<sup>12</sup> INRAE transfert - *Analyse du Cycle de Vie du BIOMETHANE issu de ressources agricoles* (p. 30)

### Certification RED : vers une généralisation ?

La [directive RED](#) vise la mise en place d'une traçabilité dédiée pour démontrer que les critères de durabilité de la biomasse, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'efficacité énergétique, sont respectés.

En France, le respect des critères de durabilité est nécessaire pour commercialiser le biométhane à sa juste valeur. Parmi ces critères : l'utilisation de matières méthanisées non issues de prairie permanente retournée depuis 2008. Obligatoire pour les sites de plus de 19,5GWh/an, la certification RED sera sans doute étendue à tous les sites à l'avenir.

#### Propositions du groupe :

- Approfondir l'étude sur l'apport de carbone au sol des CIVE par rapport à celui des CIPAN, en tenant compte du changement d'usage des sols fréquent lors de l'introduction d'un méthaniseur sur une exploitation agricole. Ce paramètre n'a pas été intégré dans le modèle DIGES 3.0.

- S'assurer, lors des travaux basés sur des enquêtes, que les agriculteurs auditionnés n'ont pas confondu « culture principale » et « CIVE », afin d'éviter des biais. Cette confusion a été observée dans le Grand Est par Jeanne Cadiou, qui la signale dans sa thèse. Le décalage observé entre les productions de biométhane d'une part et les quantités de cultures déclarées d'autre part, met en évidence ce biais.

- S'assurer de compter le CO<sub>2</sub> émis par la fabrication et l'entretien du matériel agricole et de transport (dont carburant).

- S'assurer de comptabiliser les gaz à effet de serre émis lors du conditionnement des cultures sous forme d'ensilage.

#### • Phase 3. Collecte, transport et introduction du lisier dans le digesteur.

Remarque : les émissions liées à cette phase sont prises en compte dans DIGES 2.0 et DIGES 3.0.

Proposition : prendre en compte les gaz émis par le transport du lisier quand il est collecté sur des distances importantes (plusieurs dizaines de km), comme c'est souvent le cas pour les méthaniseurs de grande taille.

#### • Phase 4. Fonctionnement du digesteur (chauffage, brassage, pompage des fluides et des gaz...).

Remarque : les émissions liées à cette phase sont prises en compte dans DIGES 2.0 et DIGES 3.0.

Ce qui ne fait pas consensus : la quantité d'énergie supplémentaire pour l'hygiénisation (chauffage à 70°C minimum au lieu de 39°C, pour éliminer les éventuels agents pathogènes dans des intrants tels que les biodéchets ou saisies d'abattoirs). Certains considèrent que cette dépense réduit le rendement énergétique du méthaniseur ; d'autres, que l'hygiénisation nécessite pas/peu d'énergie, car elle induit un moindre besoin d'énergie ensuite pour chauffer le digesteur et s'appuie sur le biométhane produit sur le site (la réglementation ICPE oblige à l'autoconsommation pour cette phase d'hygiénisation).

Proposition : compter l'énergie nécessaire aux dispositifs de contrôle du bon fonctionnement de l'unité de méthanisation, celle-ci étant soumise à de nombreux risques (ex : zone ATEX, environnement exposé à un risque d'explosion élevé).

#### • Phase 5. Fuites de biogaz et de biométhane

Remarque : les installations de méthanisation ne sont pas parfaitement étanches. Si certaines sont sujettes à des fuites de biogaz très faibles, d'autres en génèrent de très importantes jusqu'à 25 % du biométhane produit dans le pire des cas. En 2022, Bakaloglu et al<sup>13</sup> (Imperial College de Londres) ont noté que ces fuites étaient en général sous-évaluées.

Selon ces auteurs, les fuites dans une installation de méthanisation agricole proviennent par ordre d'importance : du stockage des digestats, du fonctionnement du digesteur et de l'épuration du biogaz, puis dans un degré moindre, du stockage des intrants et du transport du gaz sur l'installation. Un développement important de la méthanisation agricole étant programmé, la maîtrise des fuites devient un véritable enjeu, notamment au regard de l'engagement de la COP 26 en 2021, à réduire les émissions mondiales de méthane de 30% d'ici 2030.

Dans un article du média *Sans transition*<sup>14</sup>, Daniel Chateigner, professeur à l'Université de Caen Normandie et coordinateur du Collectif Scientifique National Méthanisation Raisonnée (CSNM), note que « *La méthanisation reste une méthode carbonée et l'idée qu'elle contribue à la neutralité carbone est fautive. D'autant plus que des fuites de méthane sont avérées : il suffit d'1% pour annuler le bénéfice du bilan carbone de ce procédé...* ».

Ce qui ne fait pas consensus : la valeur moyenne des fuites. Les pertes globales de méthane à l'échelle de l'installation, en conditions normales et optimisées, ont été estimées par l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) pour diffusion au Sénat, à une valeur entre 1% et 6 % du méthane produit.

<sup>13</sup> Bakaloglu et al, Imperial College Of London, 2022. [Methane emissions along biomethane and biogas supply chains are underestimated](#)

<sup>14</sup> Magazine Sans transition, 2021. Daniel Chateigner - [La méthanisation n'est pas une bonne méthode pour changer notre schéma énergétique.](#)



L'ADEME, dans DIGES 3.0, l'évalue à 1% du biogaz produit avec torchère manuelle, mais seulement à 0,5% avec torchère automatique.

INRAE<sup>12</sup> a fixé un taux d'émissions fugitives à 0,5% de la production de biogaz lors de son analyse du cycle de vie des méthaniseurs – soit 12 fois inférieur à celui estimé par Bakkaloglu et al.

L'avis d'experts sur la méthanisation, publié par l'ADEME fin 2023<sup>15</sup>, indique : « La réglementation ICPE de juin 2021 fixe un objectif de pertes de méthane de 1% maximum du biogaz produit lors du procédé d'épuration »... « Lors de suivis de fonctionnement d'installations de méthanisation par l'ADEME, un diagnostic de fuites est systématiquement réalisé. Ces travaux n'ont pas révélé de fuites significatives sur cet échantillon d'installations ».

Dans les pistes de progrès de la filière, l'ADEME recommande « qu'un contrôle annuel des fuites de biogaz soit réalisé aux différentes étapes du processus de méthanisation. Ces bonnes pratiques sont à généraliser : lors de la mise en service par le constructeur, puis régulièrement en routine annuelle par l'exploitant, avec actions correctives si nécessaire ». Cette proposition fort utile est toutefois difficile à concrétiser.

Proposition : faire réaliser de nouvelles études, par des organismes n'ayant pas de conflit d'intérêt avec la filière, pour préciser le niveau des fuites et proposer des mesures pour les réduire.

#### • Phase 6. Purification du biogaz en biométhane injecté

Remarque : cette phase ne concerne que la méthanisation à injection, le biogaz étant utilisé sans traitement pour la cogénération (production d'électricité et de chaleur). Dans ce cas, il faut 1,7 m<sup>3</sup> de biogaz pour récupérer 1 m<sup>3</sup> de biométhane. DIGES 2.0 ne tenait pas compte de la consommation d'énergie de cette phase, ni des émissions directes de CO<sub>2</sub> extrait du biogaz appelé « offgaz ». Dans DIGES 3.0, il est considéré que le offgaz est liquéfié pour des usages industriels, ce qui concerne uniquement pour l'instant les sites de méthanisation de grande taille. Ce CO<sub>2</sub> n'est donc pas comptabilisé dans le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Or, la phase de transformation du biogaz en méthane quasiment pur (97% CH<sub>4</sub>), avec ou sans liquéfaction, nécessite de nombreuses étapes consommatrices d'énergie.

Différents processus sont utilisés, mais le plus fiable – qui est aussi le plus élaboré – consiste à éliminer la vapeur d'eau par cryogénie ; comprimer le gaz déshumidifié à 4-5 bars ; désulfurer le gaz par passage sur charbon actif ; comprimer le gaz à 10 bars ; le filtrer finement à l'aide de membranes (c'est à ce niveau que le CO<sub>2</sub> « offgaz » est dans la plupart des cas, relâché dans l'atmosphère).

Le biométhane purifié doit également être analysé en continu avant d'être injecté dans le réseau GRDF. Il fait l'objet d'une odorisation par l'ajout de THT (Tétrahydrothiophène) pour le rendre détectable en cas de fuite.

Les calculs de l'ADEME n'intègrent pas les émissions de CO<sub>2</sub>



eq liées au fonctionnement de l'ensemble de ces étapes.

Ce qui fait consensus : la difficulté d'évaluation des émissions de gaz à effet de serre liées à cette phase très technique.

Propositions : faire conduire des études scientifiques par des organismes sans conflit d'intérêt avec la filière, pour recueillir des informations fiables sur les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre liées à cette étape, selon le processus d'épuration utilisé.

#### • Phase 7. Collecte et stockage des données, contrôle des produits et torchère (si automatique)

Remarque : aucun bilan publié à ce jour n'intègre cette phase. Or, les unités de méthanisation sont équipées d'ordinateurs pour enregistrer et contrôler les données transmises par les nombreux capteurs installés dans les digesteurs et les cuves.

Question / Proposition : ce matériel consomme de l'énergie pour son fonctionnement et en a nécessité pour sa fabrication (bilan carbone du matériel). Or, la production de cette énergie consommée a généré des émissions de CO<sub>2</sub> eq. Faut-il prendre en compte cette phase, qui est associée – a priori (il faudrait s'en assurer par une étude) – à très peu d'émissions ?

#### • Phase 8. Arrêt accidentel remise en route du digesteur

Remarque : cette phase est ignorée dans les études publiées. Or, une vidange, un curage, un nettoyage et un contrôle du matériel, avec remplacement des pièces à changer si besoin, sont à prévoir tous les 10 ans environ. De plus, les ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement)

<sup>12</sup> INRAE transfert - *Analyse du Cycle de Vie du BIOMETHANE issu de ressources agricoles* (p. 30)

<sup>15</sup> ADEME, 2023- *Avis d'experts - La méthanisation*

peuvent être soumises à des exigences particulières de remise en état du méthaniseur, prévues par arrêté préfectoral. En cas de dysfonctionnement nécessitant un arrêt, le digesteur doit être vidé, nettoyé et réensemencé avec un nouvel inoculum microbien pour être remis en route. L'opération consomme beaucoup d'eau et d'énergie électrique ou fossile. La fréquence des dysfonctionnements du système dépend des soins portés par les gestionnaires à leur installation.

Ce qui ne fait pas consensus : l'estimation de la durée de fonctionnement annuel d'un méthaniseur agricole.

Aurich-Meyer et al (2012) l'estime à 340 jours par an, alors qu'un membre du groupe de travail de la Plate-forme 21, l'estime quasi permanent.

#### • Phase 9. Arrêt définitif (fin de vie de l'installation)

Remarque : à ce jour, aucun bilan de gaz à effet de serre publié ne prend en compte cette phase.

Or, quand l'unité de méthanisation arrive en fin de vie, le site sur lequel elle est installée doit être restauré pour retrouver son état initial.

Le démantèlement de l'ensemble des installations nécessite l'usage de gros matériels consommant de fortes quantités d'énergie, dont il convient d'établir le bilan carbone.

Si le contrat d'achat du biométhane est garanti sur 15 ans, la durée de vie des installations est estimée à environ 20 ans, avec la possibilité d'atteindre 30 ans. A ce jour, il est difficile d'estimer quelle sera réellement la durée de vie d'un site de méthanisation agricole, faute de recul suffisant.

Références des calculs d'émissions par JP Jouany : faute de chiffrage disponible sur cette phase, l'estimation repose sur celle du coût énergétique de la phase de construction du site de méthanisation, partant de l'hypothèse que les quantités de gaz à effets de serre sont à peu près comparables.

Ce qui ne fait pas consensus : la prise en compte de cette phase, les émissions de gaz à effet de serre s'y rapportant étant estimées par certains comme négligeables.

Propositions : faire conduire des études scientifiques ou des évaluations basées sur des installations industrielles équivalentes, pour disposer des données nécessaires.

#### • Phase 10. Collecte, stockage puis transport et épandage des digestats

Remarques :

- DIGES 2.0 prend en compte cette phase.

- Compte tenu de son poids important, le matériel utilisé pour épandre les digestats a tendance à tasser les sols, ce qui favorise la libération dans l'air de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)

– gaz au Potentiel de Réchauffement Global très élevé – et la formation de nitrates (NO<sub>3</sub>) susceptibles de polluer les eaux.

- Dans le cas de méthaniseurs de grande taille, les surfaces tendent à manquer pour épandre les quantités de digestat générées, ce qui peut inciter les agriculteurs à augmenter les quantités épandues à l'hectare, donc à surfertiliser.

L'épandage des digestats peut également avoir lieu sur des terres éloignées du site de méthanisation, à plusieurs dizaines de km, conduisant ainsi à une hausse importante du coût énergétique et des émissions de CO<sub>2</sub>.

Références des calculs d'émissions par JP Jouany : le résultat de 0 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh de cette phase est estimé à partir des données de Aurich-Meyer et al (2012), qui montrent que la substitution des engrais de synthèse par les digestats ne modifie pas les émissions de gaz à effet de serre.

Autre remarque, d'ordre écologique : la part de matière organique labile – qui a été transformée en biogaz et n'est donc plus présente dans les digestats – a un fort impact négatif sur les organismes vivants du sol qui en dépendent. Or, ces derniers ont un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes qui déterminent des services écosystémiques majeurs, parmi lesquels la production végétale, les caractéristiques physiques des sols, l'écoulement des eaux ou les cycles des principaux éléments nutritifs.

Ce qui ne fait pas consensus : le risque de surfertilisation des parcelles par le digestat, car les agriculteurs disposent de suffisamment de surfaces agricoles, au moins dans le cas des méthaniseurs de taille réduite.

Propositions : conduire des études à l'échelle des parcelles et sur le long terme, pour améliorer l'utilisation des digestats en tant qu'engrais et amendement. Les données manquent sur la nature et la composition des digestats selon les intrants utilisés. Des analyses réalisées avant et après l'épandage des digestats existent, mais restent relativement confidentielles. Les évaluations de la qualité des digestats sont effectuées en milieu expérimental, ce qui ne permet pas de tenir compte des mécanismes et dynamiques systémiques en jeu dans le milieu réel, qui ne peuvent s'observer que sur le long terme. La qualité des digestats dépend de leur rapport C/N (Carbone/Azote), qui a un impact sur la vie du sol. Elle dépend aussi de la nature du carbone : dans les digestats, le carbone est sous une forme intéressante pour l'amendement des sols (humus). Les substances carbonées ont un effet matrice important qui impacte la vitesse de libération des nutriments. L'absence de formes carbonées simples dans les digestats prive les organismes du sol de leurs fonctions écologiques, ce qui peut mener à leur disparition et ainsi, à une perte de biodiversité.

### • Phase 11. Combustion finale du biométhane injecté et CO<sub>2</sub> présent dans le biogaz

Remarque : c'est le « gros sujet » des débats.

Ce qui fait consensus : un bilan carbone à l'équilibre à l'échelle du seul digesteur (entrées et sorties).

#### Ce qui ne fait pas consensus :

Considérant que la quantité de carbone qui retourne à l'atmosphère via la combustion du biogaz ou du biométhane, équivaut à celle captée dans l'atmosphère via la photosynthèse par les végétaux placés dans le méthaniseur, l'ADEME ne comptabilise pas les émissions de CO<sub>2</sub> dit « biogénique ». Or, les scientifiques du GREFFE considèrent qu'il convient de les prendre en compte et ce, pour deux raisons :

- l'équilibre observé à l'échelle du digesteur ne se vérifie plus quand on considère l'ensemble des actions en amont et en aval du digesteur, ainsi que celles permettant au digesteur de fonctionner (chauffage, brassage, introduction des intrants, collecte des gaz et digestats en sortie) ;
- toute quantité supplémentaire de CO<sub>2</sub> émise dans l'atmosphère y reste des centaines d'années durant lesquelles elle agit sur le climat avant d'être recyclée (cycle du carbone). Cette temporalité questionne la pertinence d'un raisonnement basé sur le principe du cycle court du carbone qui conduirait à un équilibre. Issu d'une époque antérieure à la leur, le carbone absorbé par les plantes est-il équivalent vis-

à-vis du climat à celui qu'elles rejettent dans l'atmosphère ? Un rapport de l'ADEME de février 2022, indique que « *Le carbone émis est libéré instantanément et va rester des siècles dans l'atmosphère et contribuer durant tout ce temps au réchauffement* ». Un rapport suivant, publié par l'agence en juillet 2022<sup>16</sup>, indique que « *lorsqu'elles sont associées à une variation durable du stock de terrestre de matière organique, ces émissions – de CO<sub>2</sub> biogénique – doivent être évaluées conjointement avec les émissions de CO<sub>2</sub> non biogénique et entrent dans le calcul des émissions en CO<sub>2</sub>eq totales* ».

Question/Proposition : alors que le CO<sub>2</sub> subsiste pendant plusieurs centaines d'années dans l'atmosphère, peut-on considérer que la quantité de CO<sub>2</sub> captée par les plantes qui alimentent le méthaniseur compense celle rapidement libérée dans l'atmosphère par la combustion du biométhane produit grâce à elles ? Quelle est l'influence sur le climat, sur le temps de séjour dans l'atmosphère du CO<sub>2</sub> biogénique ? Des recherches seraient à conduire pour mieux comprendre le devenir et les effets du carbone rejeté dans l'atmosphère, de manière à pouvoir répondre à ces questions.

La même question se pose pour la production de biocarburants à partir de cultures agricoles. Une publication de chercheurs américains<sup>17</sup> montre qu'elle augmente fortement les émissions de CO<sub>2</sub>eq, ce qui s'explique essentiellement par le changement d'usage des sols qu'elle induit.

## Bilan énergétique de la méthanisation agricole

### Une autre source de controverse et encore beaucoup d'inconnues

A la connaissance des membres du groupe, aucune publication ne présente le taux de retour énergétique (TRE) du biométhane. L'organisme officiel de référence en France, l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques), indique que le *TRE est inconnu* pour le biométhane. Il pourrait se situer entre 1,7 et 2 pour la méthanisation, selon les participants aux réflexions du *Shift Project*, mais ces valeurs ne sont pas scientifiquement vérifiées.

#### Ce qui ne fait pas consensus :

- Le bilan énergétique de la méthanisation agricole.
- Le rapport de l'OPECST indique que le TRE du bioéthanol varie de 0,8 à 1,6 – ce qui a amené Jean-Pierre Jouany<sup>18</sup> à proposer la valeur de 1,0 pour le TRE du biométhane. En effet, le bioéthanol est produit à partir de substrats à haute valeur énergétique (canne à sucre, betterave sucrière, amidon de céréales...), ce qui lui donne un avantage certain dans le rendement énergétique de la biotransformation par rapport à la méthanisation produite à partir de fourrages verts.

La valeur de 1,0 pour le TRE du biométhane signifie que le bilan énergétique du biométhane est nul puisque l'énergie dépensée est égale à l'énergie produite par l'unité de méthanisation.

Proposition : définir le bilan énergétique de la méthanisation, celui-ci restant à ce jour inconnu.

<sup>16</sup> ADEME-2 (juil. 2022). *Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article L. 229-25 du code de l'environnement (version 5)* (p. 45).

<sup>17</sup> T. Searchinger Princeton University (2008). *Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change*.

<sup>18</sup> J.P. Jouany (2024). *Le gaz vert de la méthanisation agricole peut-il être une solution à la pénurie de ressources énergétiques ? Revue Francophone du Développement Durable*, n°23, p57-74.

# ● 3 - Les digestats et leurs impacts

## Présentation générale

Le digestat est un résidu de la méthanisation. Il est constitué par la matière organique qui n'a pas été dégradée par les micro-organismes lors de la méthanisation.

### Valorisation principale : la fertilisation des terres

La valorisation des digestats épandus sur les sols agricoles dépend de leur composition en éléments nutritifs.

Le plus souvent, ils sont soit épandus bruts sous forme liquide, soit traités pour séparer leurs phases liquide (lisier) et solide (fumier). Se rapprochant en apparence un peu des fumiers ou compost, les digestats solides ainsi obtenus peuvent alors également faire office d'amendement.

### Des compositions variables

Tout digestat est composé de matière organique, de minéraux et d'eau (3 à 5% de matière sèche pour un digestat liquide, 20 à 25% de matière sèche pour un digestat solide). Son pH est basique, autour de 8.

Les caractéristiques d'un digestat varient selon la ration introduite dans le méthaniseur. Comme cette dernière doit être aussi stable que possible pour assurer un bon développement de la population microbienne dans les digesteurs, la composition du digestat varie peu à l'échelle d'une même installation.

Comme les fumiers et lisiers, les digestats contiennent de l'azote minéral et de l'azote organique, dont une partie sera minéralisée dans les sols. L'azote sous forme ammoniacale est majoritaire, ce qui est intéressant puisqu'il est rapidement assimilé par les plantes. En revanche, il a l'inconvénient

d'être volatil et de provoquer des nuisances olfactives et sanitaires dans le voisinage, si l'épandage est mal conduit. Il est également aisément lessivable et peut diffuser sous forme de nitrates dans les nappes phréatiques ou provoquer l'eutrophisation des eaux de surface, s'il est mal utilisé.

### Les règles de bon usage des digestats

Pour éviter la pollution des eaux et de l'air, l'usage des digestats est soumis à des règles :

- des pratiques d'épandage vertueuses : apports raisonnés selon les besoins des cultures (quantités justes, appliquées au bon moment physiologique de la plante), dans de bonnes conditions (bon moment météo : éviter les conditions chaudes et venteuses favorisant l'évaporation de l'ammoniac dans l'air et les périodes humides favorisant les fuites d'azote soluble dans les eaux de surfaces ou les eaux profondes).

La gestion des digestats est encadrée réglementairement : les méthaniseurs doivent généralement mettre en place un plan d'épandage (traçabilité, analyses de sols, analyses de digestats...);

- du matériel d'épandage permettant d'injecter les digestats dans les sols sans les tasser afin d'éviter la formation de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Ce matériel est onéreux, ce qui peut limiter son usage dans les installations de petite taille.

Dans le Grand Est, Jeanne Cadiou<sup>1</sup> (p. 140 à 146) indique avoir observé des cas d'agriméthaniseurs qui utilisaient leur tonne à lisier pour épandre les digestats liquides, sans procéder à leur enfouissement.

## Les points forts des digestats

### Économies pour l'agriculteur et moins de sols acidifiés

L'utilisation des digestats permet à l'agriculteur de faire des économies, d'être moins dépendant de la volatilité des prix des engrais (indexés sur le prix du gaz).

Enfin, caractérisés par un pH basique, les digestats n'acidifient pas les sols, contrairement aux engrais azotés minéraux comme l'ammonitrate.

Les digestats doivent suivre la réglementation du régime ICPE de chaque unité de méthanisation (plan d'épandage, règles d'épandage, stockage des digestats, traçabilité).

### Des économies d'énergie

La production d'engrais azotés de synthèse à partir de l'azote de l'air nécessite beaucoup d'énergie. Leur épargne se traduit

donc par une diminution de consommation d'énergie associée à une émission moindre de CO<sub>2</sub>eq.

### Valorisation en cultures bio

Sous certaines conditions et suivant les cahiers des charges, les digestats peuvent être utilisés en agriculture biologique à la place des engrais de synthèse qui sont interdits. Ils doivent alors répondre aux normes<sup>19</sup> exigées.

Dans le Grand Est, il est observé<sup>1</sup> qu'une majorité d'agriculteurs biologiques préfèrent vendre leurs cultures en bio en raison d'une bonne valorisation, et acheter des intrants conventionnels pour leur méthaniseur.

<sup>1</sup> Thèse de Jeanne Cadiou, 2023. *Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique.*

<sup>19</sup> Article du site de GRDF : *Digestat et Agriculture Biologique, le point sur la question*

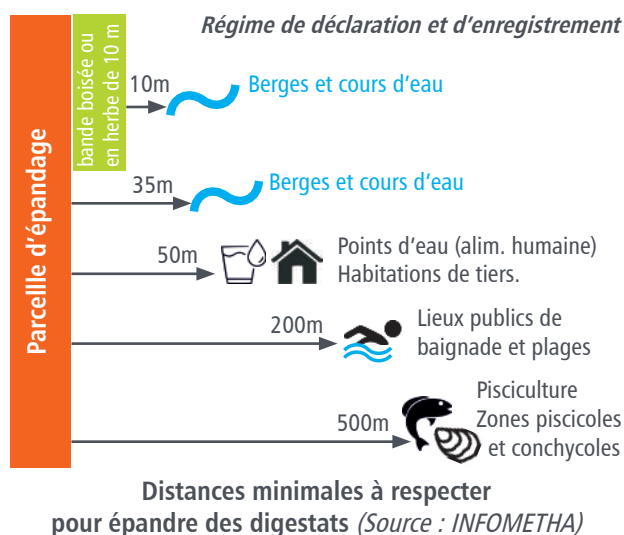
## Impacts des digestats sur l'eau, l'air et les sols : les précautions à prendre

### L'obligation d'un plan d'épandage déposé en DDT

Les installations de méthanisation agricole peuvent avoir des impacts (pollution de l'eau, de l'air, des sols, etc.) et présenter des dangers (incendie, explosion, etc.) pour l'environnement, la santé et la sécurité publique.

C'est pourquoi la construction et l'exploitation des unités de méthanisation sont soumises à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). L'exploitant doit tenir à jour un document, à présenter en cas de contrôle, où sont consignées les informations sur les épandages qu'il réalise : dates, numéro de parcelles concernées, matériel utilisé, quantités épandues.

Comme l'illustre le schéma ci-contre, la réglementation impose des distances minimum entre les zones d'épandage et leur environnement (habitations, cours d'eau...).



### Impacts sur l'eau

#### Digestats liquides : un risque accru de lessivage de l'azote, donc de pollution des eaux

Le risque de lessivage de l'azote ( $\text{NH}_4^+$ ), donc de pollution hydrique, est très élevé en cas d'épandage de digestats liquides sur les sols filtrants, surtout dans les territoires régulièrement touchés par des pénuries d'eau. Ainsi dans le Lot, en 2023, le président du Comité National de l'Eau a adressé un [courrier](#) à la préfète demandant d'interdire l'épandage de digestats sur les zones karstiques très vulnérables. En période humide, mais aussi en cas de surfertilisation, le risque de lessivage devient important.

#### Contre le lessivage : épandre au bon moment, donc avoir une capacité de stockage suffisante pour attendre

Pour réduire les risques de lessivage, l'épandage doit s'effectuer selon des pratiques adaptées. Il convient notamment d'épandre au moment où les plantes captent au mieux l'azote apporté, et quand les conditions météo sont favorables, c'est-à-dire en dehors des périodes pluvieuses. Afin d'attendre le moment propice, une capacité de stockage des digestats d'environ 6 mois est nécessaire (4 mois selon la loi). Les cuves de stockage doivent être bâchées pour éviter les fuites massives de méthane et de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère.

### Impacts sur l'air

#### Des fuites de méthane lors du stockage des digestats

Des émissions de gaz se produisent lors du stockage des digestats. Des travaux seraient à conduire pour mieux les évaluer.

#### Risque de volatilisation d'azote ammoniacal lors de l'épandage

A l'instar des lisiers, les digestats liquides exposent à un risque de volatilisation de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), sans comparaison avec celle des ammonitrates peu émissifs.

Une partie du  $\text{NH}_3$  des digestats se volatilise rapidement après l'épandage de ces derniers, provoquant une gêne olfactive et des risques d'intoxication des personnes situées à proximité.

La volatilisation dépend de la durée de l'épandage et du

matériel utilisé pour l'enfouissement des digestats : les épandeurs à assiette sont ceux qui la favorisent le plus, devant les épandeurs à pendillards, puis les enfouisseurs pour lesquels le risque est le plus faible.

Enfin, la volatilisation est favorisée par les températures élevées et par le vent. Il convient donc de bien choisir le moment de l'épandage.

Au final, les pertes d'azote lors de l'épandage sont très difficiles à estimer, ce qui complexifie la gestion de la fertilisation.

#### Transport des digestats

Le transport des digestats peut remettre en cause la contribution de la méthanisation au développement durable, s'il porte sur de trop grandes distances : circulation de camions (coût, utilisation de carburant, gaz d'échappement, bruit,

dégradation des routes ...).

L'épandage s'effectue en général dans un rayon de 2 à 15 km maximum autour du site de méthanisation. La distance la plus courte est à privilégier.

Les digestats liquides – volumineux car contenant 95% à

### Impacts sur les sols

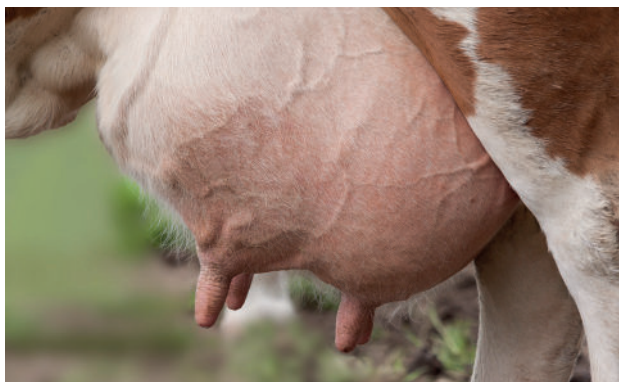
#### Un risque faible de pollution par les métaux lourds et contaminants microbiologiques

La majeure partie des installations à la ferme utilisent surtout des intrants agricoles. De ce fait, le risque de pollution des sols par des contaminants microbiologiques (ex : *Escherichia coli*, *Salmonelles* et *Entérocooccus* d'après l'arrêté du 13 juin 2017) ou des métaux est a priori faible, en tout cas, bien moindre qu'avec des boues d'épuration méthanisées ou des biodéchets.

#### Contaminations par le cuivre et les antibiotiques : dans le cas d'élevages très intensifs, les mêmes risques qu'avec le fumier sans méthanisation

Dans le cas des élevages très intensifs, l'enfouissement du digestat expose autant les sols à un risque de contamination par le cuivre et les antibiotiques, que celui du fumier par les agriculteurs qui ne pratiquent pas la méthanisation.

Le cuivre est utilisé en élevage intensif pour lutter contre les infections des animaux. On le retrouve dans les lisiers et dans les digestats, puis dans le sol. Or, des concentrations excédentaires de cuivre ont un effet délétère sur les organismes vivants essentiels à l'équilibre du sol. De plus, il ne se détruit pas dans l'environnement et de ce fait, s'accumule dans les plantes et les animaux.



De la même manière, le risque de contamination des sols par des antibiotiques est élevé si le digestat provient d'intrants issus d'élevages très intensifs. Il est observé que ces élevages comptent un nombre important d'animaux souffrant d'infections et que les traitements médicamenteux utilisés se

97% d'eau – sont à épandre en priorité à proximité de l'unité de méthanisation. Les digestats solides, sont moins contraignants à transporter, mais ne représentent qu'une faible part des digestats produits.

retrouvent dans les lisiers et fumiers. Le lait collecté durant la période de traitement des animaux ne pouvant être commercialisé, il est en général jeté dans le lisier.

#### Impact agronomique des digestats : faire attention aux comparaisons malencontreuses et raisonner « système »

Plusieurs points sont à garder en mémoire :

- l'évaluation de l'impact des digestats s'appuie en général sur des comparaisons avec les pratiques conventionnelles actuelles, non pas avec celles de l'agroécologie qu'il conviendrait de développer dans une optique de durabilité.

- le plus souvent, les études ne sont pas réalisées à l'échelle de parcelles cultivées sur le long terme, mais sur des modèles de sols contenus dans des bacs de surface réduite, pendant des temps relativement courts.

Or, on ne peut évaluer l'impact des digestats sur les sols en traitant la méthanisation comme un facteur isolé. Il faut la replacer dans le système d'exploitation, voire territorial, voire plus global encore, selon le sujet considéré.

#### Taux de matière organique des sols

Portée au niveau international, l'initiative « 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », vise à améliorer la séquestration du carbone dans les sols agricoles de 4 pour 1000 par an, pour limiter l'augmentation de la température moyenne de la planète de +1,5°C d'ici la fin du siècle. La matière organique des sols, majoritairement composée de carbone, participe à quatre services écosystémiques :

- la résistance des sols à l'érosion,
- leur rétention en eau,
- leur fertilité
- leur biodiversité.

Une augmentation minime du stock de carbone des sols a des effets majeurs, tant sur la productivité agricole que sur le cycle mondial des gaz à effet de serre.

#### Tassement des sols à éviter lors de l'épandage

L'épandage des digestats nécessite du matériel spécifique pour ne pas tasser les sols. Or, ce matériel est coûteux. C'est pourquoi des agriculteurs recourent aux services d'une entreprise extérieure. Cette prestation a aussi à un coût.

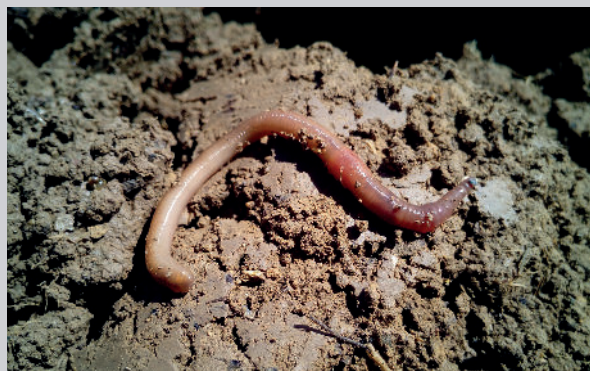
### Apports de digestats : des sols moins résilients et pas vraiment une alternative aux engrais de synthèse et organiques

Du point de vue agronomique (composition chimique, vie du sol), l'intérêt des digestats – surtout liquides – ne vaudra jamais celui de l'enfouissement des plantes, des cultures de légumineuses, ou des engrais organiques traditionnels. De plus, le rapport C/N (carbone/azote) des digestats est relativement faible, comparé à celui d'autres amendements comme le fumier, les engrais verts ou les CIPAN.

Ainsi, l'apport régulier de digestats **sur un moyen et long termes appauvrit la teneur en carbone du sol, ce qui pénalise la vie des sols et sa valeur agronomique**<sup>4</sup>.

INRAE rapporte : « Associées à un retour de digestat sur la parcelle, les CIVE permettent de stocker du carbone par rapport à un sol nu ou une culture intermédiaire peu productive. En revanche, si l'on abandonne les amendements organiques actuellement utilisés, la méthanisation des CIVE et l'utilisation des digestats seuls ne suffiraient pas à compenser leurs effets sur les stocks de carbone organique, notamment en comparaison d'un fumier ou compost. Dans certaines situations, les changements de pratiques et la compétition pour les ressources organiques induits par la méthanisation pourraient pénaliser certains agriculteurs en termes de stocks de carbone organique dans leurs champs. La combinaison de l'utilisation de digestat et de compost pourrait être recommandée pour maintenir un stockage élevé de carbone dans les sols ».

L'humus est essentiel pour la structure, l'aération et la capacité de rétention de l'eau des sols, mais aussi le maintien de niches écologiques microbiennes et de leur biodiversité.



*Pauvres en carbone labile, les digestats ne permettent pas, à termes, le maintien de la vie du sol et de ses qualités agronomiques.*

Le manque de carbone nuit à la vie du sol, en affectant sa capacité d'adaptation aux stress environnementaux, et à l'utilisation racinaire des nutriments du sol par les plantes. En avril 2024, INRAE a montré dans un rapport<sup>4</sup> que « **les CIVE augmentent l'utilisation d'engrais minéraux d'une part parce qu'elles sont fertilisées, mais aussi parce qu'elles ne valorisent pas tout l'azote** » et ce, principalement parce que leur conduite intensive, pour produire un maximum de biomasse, mobilise beaucoup de nutriments dans les sols.

Le rapport indique que cet épuisement se traduit par une baisse des rendements des cultures principales succédant aux CIVE.

#### Proposition : travaux à conduire pour mieux évaluer les situations

Les connaissances actuelles n'étant pas suffisantes, des travaux sur les points suivants seraient d'une grande utilité :

- Observation sur un temps long (10 ans minimum), des effets de l'apport de digestat sur l'évolution de la biodiversité fonctionnelle des micro-organismes du sol.
- Observation sur un temps long (10 ans minimum), de l'évolution du stock de carbone dans les sols et des effets de son accumulation.
- Observation des effets de l'apport de digestat sur l'évolution des agro-systèmes (évaluer les compensations).

<sup>4</sup> INRAE, 2024, pages 7 et 8. [Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies. \(Résumé\)](#)

## ● Conclusions

### Conditions d'adéquation de la méthanisation agricole au développement durable ? Points de vigilance ?

Le tableau page ci-contre présente les différents points que le groupe a relevés, qu'il juge important de questionner et/ou de surveiller, au regard des critères de durabilité rappelés ci-dessous.

#### Rappel des critères de durabilité

##### Plancher social : enjeux

- E1 • Enjeu « alimentation »
- E2 • Enjeu « eau »
- E3 • Enjeu « énergie »
- E4 • Enjeu « revenu et travail »
- E5 • Enjeu « équité sociale »
- E6 • Enjeu « paix et justice »
- E7 • Enjeu « réseaux de communautés »
- E8 • Enjeu « santé »
- B1 • Enjeu « devenir des agriculteurs »

##### Limites planétaires

- L1 • Changement climatique
- L2 • Utilisation de l'eau
- L3 • Perturbation des cycles de l'azote et du phosphore
- L4 • Introduction d'entité nouvelles dans la biosphère
- L5 • Acidification des océans
- L6 • Augmentation des aérosols dans l'atmosphère
- L7 • Appauvrissement de l'ozone stratosphérique
- L8 • Effondrement de la biodiversité
- L9 • Changement d'utilisation des sols
- A1 • Raréfaction des produits géologiques (métaux dont cuivre, minerais, sable...).

### En conclusion, le groupe tient à rappeler les points suivants

- Chaque cas est à étudier en fonction de critères de durabilité, en évitant tant que ce peut les visions réductrices (nous devons apprendre à réfléchir selon l'approche systémique). La filière méthanisation se professionnalise (maîtrise technique qui s'améliore, évolutions réglementaires).

- De nombreuses questions essentielles se posent encore sur la méthanisation, dont certaines ne font pas consensus entre les experts, alors que la filière est fortement encouragée à se développer :

- le cycle de vie complet d'un méthaniseur produit-il réellement de l'énergie ?
- quelle estimation au plus juste du bilan carbone de la méthanisation ? La production de biométhane, comme celle de biocarburants, émet-elle moins de CO<sub>2</sub>eq que les autres sources d'énergie ?
- l'équilibre entre les terres cultivées destinées à nous nourrir et celles destinées à produire de l'énergie (biométhane, biocarburants) est-il possible à l'horizon 2050 ?
- Quel sera l'impact sur l'usage des sols et les stocks de carbone dans les sols, en cas de déploiement à grande échelle de la filière ?

Pour y répondre, des études académiques sur la méthanisation, conduites impérativement par des organismes indépendants de la filière, sont à conduire ou à poursuivre sans attendre.

De même, une réflexion profonde et urgente doit être menée par la France pour définir ce que doit être son agriculture et la place des agriculteurs dans la société.

- L'étude des impacts de la méthanisation agricole sur l'agriculture, les agriculteurs, l'environnement, la production des aliments destinés aux humains et aux animaux, est à poursuivre et à approfondir car des questions importantes demeurent. La encore, des études sont nécessaires pour mieux appréhender le nouvel écosystème rural que la méthanisation est en train de bouleverser. C'est ce qui amène Jean-Pierre Jouany à partager la préconisation suivante du Collectif Scientifique National Méthanisation raisonnable (CSNM), dont il est membre : « *Ce procédé doit rester raisonnable, à petit niveau. Si on a de « vrais » déchets, utilisons-les en circuit court pour produire une énergie de proximité. Mais si l'objectif est purement énergétique, on va vers une course en avant avec une perte des sols et des conséquences sur l'eau* ».



Points d'observation	Impacts à questionner
<ul style="list-style-type: none"> <li>Besoin d'intrants riches en carbone métabolisable qui peut inciter à produire des cultures énergétiques (céréales, maïs, sorgho, CIVE...).</li> </ul>	L2, L3, L9, L8, E1, E4, E5, E6, E8, B1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le choix des intrants a un impact sur la biodiversité : pour la favoriser, utiliser par exemple des mélanges d'espèces, des espèces mellifères...</li> <li>Périodes de fauche : attention quand elles correspondent à celle de nidification des oiseaux.</li> <li>Intérêt de la méthanisation : valorisation possible de cultures « ratées » (apport de biomasse) et des effluents.</li> <li>Intensification des cultures pour obtenir un maximum de biomasse.</li> </ul>	L8, E4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Provenance géographique des intrants (distance : CO<sub>2</sub> transport, nuisances environnementales)</li> <li>Acceptation du projet par le voisinage (nuisances éventuelles : rotations permanentes de camions, odeurs, moins-values immobilière et augmentation du coût du foncier agricole...).</li> </ul>	L1, L8, E3, E4, E8
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fertilisation par les digestats qui participe à la formation de particules fines dans l'air. Certaines méthodes d'épandage, si elles sont bien maîtrisées, permettent de contrôler les émissions d'ammoniac.</li> </ul> <p>En cas d'apports excessifs d'azote, risque d'infiltration par lixiviation et donc de contamination des nappes par les nitrates.</p>	E1, E8 L1, L8, L9
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le besoin de régularité des apports pour assurer le bon fonctionnement des micro-organismes oblige à ensiler et stocker. Le stockage couvert des digestats permet de limiter les émissions de CH<sub>4</sub> (obligation réglementaire en France).</li> </ul> <p>Le stockage couvert des digestats, avec collecte du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> pour éviter les émissions.</p>	E4 E8, impacts sur le paysage
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sécurité de l'approvisionnement quotidien tout au long du fonctionnement (impératif : éviter toute rupture). La nature des intrants doit être constante dans le temps.</li> </ul>	E4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Synergies avec le voisinage (ex : production d'intrants et utilisation des digestats par des agriculteurs voisins).</li> </ul>	E7, E4, L9, impacts des digestats ?
<ul style="list-style-type: none"> <li>Connexion aux réseaux (gaz, électricité, eau, routes) : besoins en matériaux, coût, impacts environnementaux, sur le cadre de vie</li> <li>Attention à la gestion des eaux usées sur le site pour éviter toute pollution du milieu.</li> </ul>	A1, L1, E8, E2, L2
<p>Economie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aujourd'hui, la filière nécessite un soutien public important pour être viable (prix d'achat réglementé en France qui repose sur un soutien financier public). Coût d'opportunité ?</li> </ul>	E4
<p>Travail</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Travail très qualifié (c'est un autre métier que celui d'agriculteur et la méthanisation est une technologie complexe qui nécessite de nombreuses compétences) qui demande une parfaite gestion.</li> <li>Avoir « la fibre » pour cette activité, car elle est très chronophage.</li> <li>Mobilisation de la main d'œuvre locale et création d'emplois.</li> </ul>	E4, E8 (sécurité), E7
<p>Foncier</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Un méthaniseur est un investissement important qui peut se traduire par des difficultés lors de la reprise de l'exploitation par les successeurs. Être vigilant.</li> </ul>	E4, E5 et autres... risques potentiels

## ● Bibliographie

### Références notées dans le document, par chapitre

#### La méthanisation agricole, c'est quoi ?

- [Forçage radiatif et PRG du méthane dans le rapport AR5 du GIEC](#)  
Les cahiers de GLOBAL CHANCE n° 35, Juin 2014. Benjamin Dessus, Bernard Laponche, 7 mai 2014.
- [Synthèse régionale du fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne-Rhône-Alpes - Année 2021](#), DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement, 2022.
- [Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique](#). Thèse, Jeanne Cadiou, 2023.
- [BioBéarn, notre plus grande unité de méthanisation en France](#)  
Site de Total Energies.

#### Les intrants de la méthanisation agricole

- [Panorama des gaz renouvelables](#)  
SER, Gaz et Territoires, GRDF, GRTgaz et Teréga, 2023.
- [Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 2024-2028](#)  
Ministère de la transition écologique et solidaire, synthèse, 2023.
- [Qu'est ce qu'une culture intermédiaire à vocation énergétique ?](#)  
Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 2014.
- [Biométhane - Quel est le potentiel méthanogène des couverts végétaux ?](#)  
ARVALIS, 2021. S. Marsac, N. Dagorn (ARVALIS), M. Stadel (ARVALIS - Institut du végétal), R. Cresson (INRAE Transfert Environnement).
- [Méthanisation - Les cultures intermédiaires à vocation énergétique : un itinéraire bien spécifique](#)  
ARVALIS, 2017. S. Marsac, A. Besnard (ARVALIS).
- [Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies. \(Résumé\)](#)  
INRAE, avril 2024.
- [La directive nitrates et sa mise en œuvre en France](#).  
Préfecture de l'Eure, 2019.
- [Directive RED II](#) (et pour suivre l'actualité de la directive révisée RED3 sur la durabilité des bioénergies).  
Durabilité des bioénergies. Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, mai 2024.
- [Stockage de carbone et cultures intermédiaires à vocation énergétique](#)  
Archive ouverte pluridisciplinaire HAL, 2023. F. Levavasseur (INRAE, UMR ECOSYS) et P. Kouakou, J. Constantin, R. Cresson, F. Ferchaud, R. Girault, V. Jean-Baptiste, H. Lagrange, S. Marsac, S. Pellerin, S. Houot.
- [La méthanisation entraîne une accélération du cycle du carbone, un épuisement de la matière organique du sol et son déplacement vers plus de CO2 atmosphérique](#).  
CNVMch - fiche CSNM n°8.
- Site de [l'initiative internationale « 4 pour 1000 »](#)
- [4 pour 1000 : et si la solution climat passait par les sols ?](#)  
Ministère de l'agriculture de la souveraineté alimentaire et de la forêt, 2017.

#### Gaz émis, bilans carbone et énergétique

- [Ammoniac et solutions aqueuses - Fiche toxicologique n° 16](#)  
INRS, Santé et sécurité au travail.
- [Sulfure d'hydrogène - Fiche toxicologique n° 32](#)  
INRS, Santé et sécurité au travail.
- [Méthanisations : au-delà des controverses, quelles perspectives](#), Sénat, 2021.
- [Analyse des émissions de gaz à effet de serre au cours du cycle de vie d'un méthaniseur agricole](#).  
-P. Jouany. Revue Francophone du Dév. Durable, n°21 mars 2023, p1-11.

- [\*Biomethane produced from maize grown on peat emits more CO2 than natural gas.\*](#)  
Chris D. Evans et al (2024). Nature Climate Change, vol. 14, p. 1030–1032.
- [\*Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources.\*](#)  
Meyer-Aurich et al (2012). Renewable Energy, vol 37, 277-284.
- [\*Stocker du carbone dans les sols français - Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?\*](#)  
INRAE (2020). Rapport scientifique de l'étude. Étude réalisée pour l'ADEME et le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- [\*Impact des pratiques de gestion sur le stockage du Carbone dans le sol des écosystèmes prairiaux.\*](#)  
Herfurth D. (2015). Thèse en Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II., NNT : 2015CLF22589.
- [\*EU climate plan sacrifices carbon storage and biodiversity for bioenergy.\*](#)  
Searchinger T.D. et al (2022). NATURE, vol. 612, 27-30.
- [\*Analyse du Cycle de Vie du BIOMETHANE issu de ressources agricoles\*](#)  
INRAE transfert.
- [\*Methane emissions along biomethane and biogas supply chains are underestimated\*](#)  
Bakkaloglu et al (Imperial College de Londres), 2022.
- [\*La méthanisation n'est pas une bonne méthode pour changer notre schéma énergétique.\*](#)  
Interview de Daniel Chateigner, Magazine Sans transition, 2021.
- [\*Avis d'experts - La méthanisation\*](#)  
ADEME, 2023.
- [\*Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article L. 229-25 du code de l'environnement \(version 5\)\*](#)  
ADEME-2, Juillet 2022.
- [\*L'agriculture face au défi de la production d'énergie\*](#)  
Sénat. Rapport n° 646 (2019-2020), déposé le 16 juillet 2020.
- [\*Atelier n°5 - Bioéconomies : transformer la biomasse en énergie\*](#)  
Shift Project, 2021.
- [\*Le gaz vert de la méthanisation agricole peut-il être une solution à la pénurie de ressources énergétiques ?\*](#)  
J.P. Jouany (2024), Revue Francophone du Développement Durable, n°23, p57-74.
- [\*Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change.\*](#)  
T. Searchinger Princeton University, 2008.
- [\*Le biocarburant tiré du maïs conduirait à plus de gaz à effet de serre.\*](#)  
FUTURA, 15 mars 2010.

## Les digestats et leurs impacts

- [\*Digestat et Agriculture Biologique, le point sur la question\*](#)  
Site de GRDF.
- [\*Courrier de Jean Launay, président du Conseil national de l'eau, à la préfète du Lot.\*](#)
- [\*Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies.\*](#)  
INRAE, 2024.



Décembre 2024