

# Méthanisation agricole sans élevage

Recommandations de bonnes pratiques agricoles et préconisations de recherches complémentaires

Sophie Carton (AgroParisTech), Florent Levavasseur (INRAE)

Février 2022

Étude commandée par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA), financée par le programme 215 du MAA. Ce document n'engage que ses auteurs et ne constitue pas nécessairement le point de vue du MAA. Marché n° SSP-DRIAAF-2020-038

AgroParisTech 



## **Avant-propos**

La méthanisation agricole sans élevage, c'est-à-dire basée sur une proportion variable de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE), de co-produits et de déchets d'origines diverses, pose des problématiques agronomiques et environnementales spécifiques. S'appuyant sur la littérature scientifique et technique, des entretiens avec des agriculteurs méthaniseurs d'Ile-de-France et des résultats de modélisation de l'impact de la méthanisation à l'échelle de la parcelle cultivée et du système de production agricole, ce document présente un ensemble de recommandations sur le développement de la méthanisation sans élevage et sur l'usage des digestats et identifie des pistes de recherches complémentaires.

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	3
<b>La stratégie d'alimentation du méthaniseur : types de CIVE et autres intrants</b> .....	6
La proportion de CIVE d'été .....	6
Les espèces cultivées comme CIVE .....	6
Le choix des cultures précédentes et suivantes.....	8
La part des CIVE par rapport aux autres intrants dans la ration du méthaniseur.....	9
<b>La conduite des cultures intermédiaires à vocation énergétique</b> .....	12
La fertilisation des CIVE d'été et d'hiver .....	12
La protection phytosanitaire des CIVE d'été et d'hiver.....	15
Le semis et la récolte.....	17
L'irrigation des CIVE d'été et des cultures suivant les CIVE d'hiver .....	19
<b>La gestion du digestat de méthanisation</b> .....	21
Composition physico-chimique .....	21
Minéralisation de l'azote et valeur fertilisante du digestat .....	21
Valeur amendante du digestat.....	21
Le stockage du digestat .....	22
La séparation de phase.....	22
Le matériel d'épandage.....	23
La période d'épandage.....	23
<b>Récapitulatif des recommandations et préconisations</b> .....	25
<b>Pour aller plus loin, projets et thèses en cours</b> .....	28
Projets :.....	28
Thèses.....	28

## Introduction

La méthanisation agricole se développe de façon importante en région Île-de-France, en cohérence avec plusieurs dispositions prises au niveau national et régional, en particulier le Plan énergie méthanisation autonomie azote, le Plan Régional Méthanisation (2019), le Pacte Agricole (2018) et la stratégie énergie-climat de la région Île-de-France (2018). L'objectif des politiques publiques au niveau francilien est en particulier d'accompagner un développement durable de la méthanisation agricole. Cependant, peu de recherches ont été menées sur les impacts de la méthanisation agricole non adossée à des systèmes d'élevage, qui est la plus répandue en Île-de-France. Elle se caractérise par le recours à des Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique (CIVE)<sup>1</sup> pour l'alimentation des digesteurs, dans des quantités plus ou moins importantes, complétées par des co-produits agricoles ou agro-industriels, des biodéchets ou, dans une faible proportion, des cultures dédiées à la production d'énergie. Elle induit des changements dans les systèmes de production agricole, présentés ci-dessous.

- Le passage d'une partie des surfaces cultivées en double culture annuelle, avec une culture intermédiaire à vocation énergétique (par exemple orge d'hiver récoltée en ensilage en avril ou mai) suivie d'une culture de vente (par exemple maïs récolté en grain), ou bien une culture de vente (par exemple orge d'hiver récoltée en grain) suivie d'une culture intermédiaire à vocation énergétique (par exemple maïs semé en juillet et récolté en ensilage fin octobre-début novembre) (voir Tableau 1). Le développement de la pratique des couverts végétaux, dans laquelle s'inscrivent les CIVE, s'accompagne de modifications dans la rotation de cultures, mais aussi dans la conduite des cultures (en particulier dans la conduite des cultures intermédiaires et notamment dans le recours à la fertilisation).

Tableau 1 Deux exemples de doubles cultures incluant des CIVE d'hiver ou d'été et une culture de vente

oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	Juill	août	sept	oct	nov
CIVE d'hiver (exemple : orge ensilée)							Culture de vente (exemple : maïs grain)						
Culture de vente (exemple : orge grain)									CIVE d'été (exemple : maïs ensilé)				

- Le passage d'une fertilisation essentiellement minérale à l'utilisation de digestat de méthanisation comme fertilisant et amendement organique. Ce digestat a des propriétés singulières par rapport à d'autres engrais, y compris organiques, et même par rapport à d'autres digestats de méthanisation, du fait de la composition de la ration du méthaniseur, exempte d'effluents d'élevage.

**Les interrogations sur les impacts agronomiques et environnementaux de la méthanisation sans élevage concernent en particulier les effets du retour au sol du digestat, les effets de l'exportation d'une partie de la biomasse des cultures intermédiaires sur l'évolution des stocks de matière organique dans les sols, les effets divers des changements dans les systèmes de culture et les effets du méthaniseur sur le système de production agricole global, notamment son bilan gaz à effet de serre.**

Ce document est un des résultats de l'étude des impacts agronomiques et environnementaux de la méthanisation agricole sans élevage, réalisée entre octobre 2020 et décembre 2021 par

<sup>1</sup> Culture intermédiaire à vocation énergétique (CIVE) : Une CIVE est une culture implantée et récoltée entre deux cultures principales dans une rotation culturale. Les CIVE sont récoltées pour être utilisées en tant qu'intrant dans une unité de méthanisation agricole. Une CIVE d'hiver est semée à l'automne (octobre) et récoltée au printemps (avril-mai). Une CIVE d'été est semée en été (fin juin-début juillet) et récoltée à l'automne (mi-fin octobre).

AgroParisTech, AgroParisTech Innovation et INRAE dans le cadre du Programme Ministériel d'études 2020 de l'appel d'offre « Transition vers des systèmes de production durables : gestion durable du foncier agricole, contributions de l'agriculture à une agriculture bas carbone et à la gestion globale de la biomasse » du ministère de l'agriculture et pilotée par la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt d'Île-de-France.

L'objectif de cette étude était de donner des premiers éléments de réponse sur les performances agronomiques et environnementales des systèmes de culture associés aux méthaniseurs sans effluents d'élevage, dans le contexte francilien, et partant de là, d'identifier les manques de connaissances et de déterminer les conditions d'un développement vertueux de la méthanisation agricole en Île-de-France. Pour cela, cette étude s'est appuyée sur la méthodologie suivante :

- L'étude de l'état de l'art des connaissances scientifiques et techniques sur les impacts agronomiques et environnementaux de la méthanisation agricole sans élevage (dernier trimestre 2020) ;
- La réalisation d'entretiens auprès de 22 agriculteurs franciliens impliqués dans les 11 méthaniseurs agricoles sans élevage en service en décembre 2020 (hiver 2020-2021) ;
- La réalisation de prélèvements et d'analyses de caractéristiques physico-chimiques et de la dynamique de minéralisation de digestats des méthaniseurs agricoles sans intrants d'élevage visités (hiver 2020 - printemps 2021) ;
- La modélisation des impacts agronomiques et environnementaux de la mise en place de la méthanisation agricole, à l'échelle de la parcelle (avec l'outil PROLEG) et à l'échelle de l'exploitation agricole (avec l'outil PerfAgroP3) (printemps-été 2021).

Les enseignements de cette étude, ont permis d'élaborer des recommandations pour le développement de la méthanisation sans élevage et des préconisations de recherche complémentaires, présentées dans ce document. En complément de ce document, on pourra se référer au rapport complet de l'étude.

**Compte tenu de la méthode de travail employée (étude spécifique, sur le territoire de l'Île-de-France, avec des résultats issus pour partie de modélisations basées sur des hypothèses de travail), les auteurs et les commanditaires ne sauraient être tenus responsables de toute interprétation ou extrapolation excessive des préconisations et résultats présentés au reste du territoire national.**

Les méthaniseurs agricoles sans élevage en Ile-de-France en activité en décembre 2020 étaient au nombre de 11. Leurs caractéristiques principales sont résumées ci-dessous :

- Les méthaniseurs ont été mis en fonctionnement entre 2014 et 2020 et valorisent le biogaz en injection dans le réseau.
- La production de biogaz des méthaniseurs s'étale de 140 Nm<sup>3</sup> à 300 Nm<sup>3</sup>/h.
- La quantité de substrats traités par les méthaniseurs s'étale de 10 000 à 27 000 tonnes annuelles.
- Les méthaniseurs regroupent, tous, plusieurs associés qui, pour la grande majorité, sont agriculteurs, produisent des CIVE qui alimentent le méthaniseur et valorisent le digestat sur leurs parcelles.
- Les agriculteurs associés aux méthaniseurs produisent des grandes cultures, dont des betteraves, et sont pour la majorité en agriculture conventionnelle (quelques-uns en agriculture de conservation des sols), avec des structures de tailles variées, allant de 235 ha à 800 ha.

- Un peu plus des trois quarts des méthaniseurs sont associés à au moins une exploitation qui possède un système d'irrigation. La quasi-totalité des systèmes d'irrigation préexistait à l'installation du méthaniseur.
- La surface consacrée à la production de CIVE pour un méthaniseur donné va de 55 ha à 450 ha, soit entre 20% et 75% environ de la SAU de chaque ferme impliquée, selon les méthaniseurs et selon les années.
- La part de CIVE dans la ration des méthaniseurs est comprise entre 16% et 70% selon les cas et les années.
- Le digestat produit est majoritairement valorisé en sortie d'hiver sur céréales (CIVE ou grain), avec un système d'épandage sans tonne et un pendillard.

**Les enseignements de l'étude, recommandations de bonnes pratiques agricoles et préconisations de recherches complémentaires sont organisés en 3 grands axes thématiques :**

- 1. Les enseignements et recommandations concernant la stratégie d'alimentation du méthaniseur ;**
- 2. Les enseignements et recommandations concernant la conduite des cultures intermédiaires à vocation énergétique ;**
- 3. Les enseignements et recommandations concernant la gestion du digestat de méthanisation.**

## La stratégie d'alimentation du méthaniseur : types de CIVE et autres intrants

### La proportion de CIVE d'été

Selon nos enquêtes, les premières années, beaucoup d'agriculteurs méthaniseurs sans élevage en Ile-de-France basent leur modèle d'approvisionnement du méthaniseur sur une **forte proportion de Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique (CIVE)**. Ainsi, la proportion annuelle de CIVE dans les rations des méthaniseurs enquêtés va de 16% à 70%, avec 9 méthaniseurs sur 11 entre 50 et 70%.

Les agriculteurs privilégient alors le **maïs ensilage en CIVE d'été**, qui n'apporte pas trop de viscosité au mix de méthanisation, produit en moyenne plus de méthane par tonne de matière brute (t MB) récoltée que les CIVE d'hiver (90 Nm<sup>3</sup> de méthane/t MB<sup>2</sup> pour un maïs ensilage CIVE, contre 70 pour un ensilage d'orge CIVE<sup>3</sup>), et offre des espérances élevées en matière de production de biomasse maximale (12 t MS/ha<sup>4</sup> les meilleures années selon nos enquêtes). Par ailleurs, il ne pénalise pas les cultures alimentaires précédentes ou suivantes pour la ressource en eau, puisque la réserve utile est reconstituée lors de l'automne et l'hiver suivant, selon les enquêtes et la littérature technique et scientifique. Afin de semer le plus tôt possible le maïs en CIVE d'été, pour maximiser son rendement, les agriculteurs doivent le semer après un précédent récolté le plus tôt possible, par exemple une orge d'hiver. Cela tend à augmenter la proportion d'orge d'hiver en grain et à réduire la proportion de blé tendre, dont la moisson est plus tardive, dans les assolements des agriculteurs enquêtés.

Cependant, certains essais menés localement, notamment par le GRCETA d'Île-de-France, tendraient à montrer que le rendement maximal du maïs CIVE d'été indiqué ci-dessus est trop optimiste. Le modèle d'approvisionnement basé sur le maïs est d'ailleurs remis en question au bout d'un ou deux ans chez la plupart des agriculteurs enquêtés, face aux chutes importantes des rendements des CIVE d'été dans des contextes de sécheresse estivale, en particulier en 2019 et 2020. Ces dernières années, le rendement moyen interannuel du maïs en CIVE d'été dans les exploitations enquêtées est finalement de 6 t MS/ha. La stratégie des agriculteurs franciliens enquêtés s'oriente alors en général vers une **diversification des périodes de production de CIVE** : été et hiver, en particulier là où il n'y a pas de solution d'irrigation possible.

### Les espèces cultivées comme CIVE

Selon les enquêtes, les agriculteurs méthaniseurs cultivent majoritairement **l'orge en CIVE d'hiver et le maïs en CIVE d'été** (voir aussi partie précédente).

**L'orge cultivée en CIVE** a un rendement assez élevé et stable (9-10 t MS/ha selon nos enquêtes, avec une conduite assez intensive par rapport à un couvert, en termes de fertilisation et de protection phytosanitaire, et une récolte tardive au mois de mai), mais il est assez sensible aux maladies apportées par les insectes (cicadelles, pucerons), et la gestion des adventices n'est pas toujours aisée, ce qui implique l'utilisation d'herbicides chez la plupart des agriculteurs. Une récolte tardive de l'orge CIVE, suivie d'une implantation repoussée de la culture alimentaire suivante (maïs grain en général), pénalise le rendement de cette dernière (-20% selon nos enquêtes, -35% selon la modélisation à l'échelle de la parcelle).

---

<sup>2</sup> Nm<sup>3</sup>/t MB : norme mètre cube par tonne de matière brute

<sup>3</sup> Selon la Base de Données MéthaSim des potentiels méthanogènes et analyses chimiques (co)produits organiques. Version 1.1 – Septembre 2018.

<sup>4</sup> t MS/ha : tonne de matière sèche par hectare

Comme alternative, certains agriculteurs cultivent également **du seigle en CIVE d'hiver**, qu'ils ensilent au stade grain légèrement pâteux. Celui-ci est réputé produire une plus grande quantité de biomasse que l'orge, avoir une capacité d'étouffement des mauvaises herbes supérieure et être moins sensible aux maladies transmises par les insectes (en particulier la jaunisse nanisante transmise par les pucerons). De plus, il ne repousse pas dans la culture suivante s'il est fauché alors qu'il a déjà épié, contrairement à l'orge, selon nos enquêtes et la littérature technique. Certains agriculteurs soulignent cependant sa sensibilité à la verse et à l'ergot. En outre, il a tendance à rendre la ration du digesteur plus visqueuse qu'avec l'orge, ce qui peut être problématique pour le bon fonctionnement du méthaniseur, en fonction de la technologie employée (notamment de la taille de l'incorporateur). Enfin, il aurait tendance à assécher davantage le sol, ce qui peut être préjudiciable pour la culture suivante (généralement, un maïs grain, cf. paragraphe précédent).

D'autres agriculteurs (en particulier dans le cadre de l'association Les Energies Vertes Franciliennes) testent **différentes espèces et variétés de graminées ou des mélanges légumineuses-graminées en CIVE d'hiver**. Ils privilégient parfois les espèces et variétés à semences à bas coût et des techniques de culture les moins coûteuses possibles (semis à la volée, peu ou pas de fertilisation, pas de protection phytosanitaire), à la façon de couverts végétaux classiques. Si la culture intermédiaire est un échec au niveau de la production de biomasse pour le méthaniseur, l'agriculteur peut au moins profiter des bénéfices agronomiques d'un couvert (restitution carbone et azote, réduction lessivage, etc.). Les espèces testées sont entre autres : le triticale, l'orge d'hiver et l'orge d'hiver hybride, le seigle et le seigle hybride, la vesce, le pois d'hiver. D'autres agriculteurs encore essaient l'orge de printemps semée en hiver. **En été, certains agriculteurs font des essais de CIVE en tournesol, en sorgho, ou en mélange**. Ce faisant, ils sont à la recherche d'espèces, variétés ou mélanges les plus adaptés au territoire, c'est-à-dire les moins sensibles aux potentielles agressions (adventices, insectes et champignons) et aux stress (notamment hydrique), et aux coûts de production les moins élevés possible. Ceci étant, les tests effectués semblent montrer qu'il n'y a pour le moment pas d'espèce ou de variété qui ressorte particulièrement en été ou en hiver sur le long terme, que ce soit en termes de performance de rendement ou de potentiel méthanogène tout en limitant le recours aux intrants (fertilisation, irrigation et produits phytosanitaires), ce qui semble confirmer la littérature scientifique et technique.

Les modélisations d'exploitation agricole avec méthaniseur, effectuées dans le cadre de l'étude, confirment **l'intérêt souligné par certains agriculteurs d'essayer de produire des CIVE « bas intrants » et à bas coût** (réduction de moitié de la quantité de phytosanitaires utilisés, quantité d'azote apportée réduite de 30 à 60%). En effet, cultiver des CIVE d'hiver « bas intrants » améliore la rentabilité du système global tout en diminuant de nombreux impacts environnementaux négatifs, y compris lorsque le rendement est 25% inférieur au rendement de CIVE d'hiver conduites de façon plus intensive. Les modèles utilisés ne permettent cependant pas de prendre en compte les impacts des pressions adventices et ravageurs sur le rendement des CIVE et des cultures suivantes, par conséquent **ces résultats doivent être confirmés par des essais agronomiques de moyenne à longue durée**.

Recommandation de bonnes pratiques sur le choix des CIVE pour l'approvisionnement du méthaniseur

**Diversifier la production de CIVE :**

- En cultivant des CIVE en été et en hiver pour répartir le risque entre les deux saisons, en particulier dans un contexte où les étés sont de plus en plus susceptibles d'être chauds et secs et où il n'y a pas de possibilité de recours à de l'irrigation ;
- En cultivant des espèces diversifiées de CIVE d'hiver et de CIVE d'été les plus adaptées au contexte pédoclimatique de l'exploitation,



	<p>pour répartir les risques, car les différentes espèces répondront différemment à des agressions (adventices, insectes, champignons) et stress (notamment hydrique) divers ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En exploitant de façon opportuniste les couverts végétaux, qui peuvent être ensilés pour être méthanisés les bonnes années (où les rendements sont élevés) et qui apporteront <i>a minima</i> leurs bénéfices agronomiques (restitution carbone et azote, etc.) et environnementaux (réduction du lessivage etc.), en particulier en hiver, les années où les rendements ne sont pas suffisants pour la récolte.</li> </ul>
--	---

<p><b>Préconisations de recherches complémentaires sur le choix de CIVE pour l’approvisionnement du méthaniseur</b></p>	<p><b>Poursuivre et encourager les essais agronomiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Portant sur la conduite de différentes espèces et variétés de CIVE dans des contextes pédoclimatiques variés, pour évaluer leur comportement au sein d’une rotation culturale, leur rendement, les dates de récolte optimales pour les CIVE d’hiver (un compromis devra être trouvé entre le rendement de la CIVE et le rendement de la culture suivante) dans différentes situations d’agressions ou de stress et en fonction de différents itinéraires techniques.</li> <li>- Portant sur des nouvelles espèces et variétés de CIVE, et en particulier sur des variétés de CIVE promettant d’être plus résistantes à la sécheresse.</li> </ul>
---	--

### Le choix des cultures précédentes et suivantes

**L’orge d’hiver** est le principal précédent des CIVE d’été en Île-de-France. Cependant, une alternative observée chez quelques agriculteurs est **le pois d’hiver**, considéré comme un bon précédent de maïs CIVE. En effet le pois génère moins de repousses que l’orge, qui sont de ce fait moins concurrentielles avec la culture suivante, et réduit les besoins en azote pour le maïs qui suit (30 à 40 unités d’azote en moins par rapport à un maïs CIVE suivant de l’orge, selon nos enquêtes). En outre, il laisse un sol plus facile à travailler pour le semis de maïs que l’orge (sol plus meuble et pas de chaume). En revanche, le pois couvrant moins le sol que la paille d’orge, il tient un peu moins l’humidité dans le sol, selon les agriculteurs enquêtés. En outre, les rendements sont plus aléatoires que l’orge, en lien avec la sensibilité du pois au gel et à certains ravageurs et maladies (pigeons, Aphanomyces, etc.).

**Le pois de conserve** est également mis en avant comme un bon précédent de maïs CIVE, avec des intérêts similaires au pois d’hiver, laissant un sol frais après récolte dans le cas où il est irrigué, et permettant un semis plus précoce du maïs CIVE, donc une durée de croissance plus longue et un rendement potentiel meilleur, qu’avec l’orge grain.

**Le maïs grain** est la principale culture qui suit les CIVE d’hiver en Île-de-France, selon nos enquêtes. Elle est alors semée fin avril ou début mai en fonction de la date de récolte de la CIVE. Comme indiqué précédemment, le rendement du maïs grain est pénalisé par le semis tardif : -20% de rendement par rapport à un maïs grain classique selon les enquêtes, -35% selon la modélisation à la parcelle.

**Le haricot vert** se cultive également bien après l’orge CIVE, mais est très demandeur en eau. Tout comme le pois de conserve, la culture de haricot ne peut s’envisager que sous contrat avec des industriels pour offrir des débouchés, et reste, dans le contexte des exploitations enquêtées,

dépendante de solutions d'irrigation. Les enquêtes ont par ailleurs montré que, dans les fermes concernées, les cultures sous contrats sont toujours prioritaires pour l'irrigation.

<b>Préconisation de recherches complémentaires sur les rotations de cultures incluant des CIVE</b>	<b>Poursuivre et encourager les essais agronomiques :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A l'échelle des systèmes de culture, portant sur le test de diverses rotations de culture intégrant plusieurs espèces de CIVE d'hiver comme d'été et plusieurs espèces de précédents et de suivants, dans divers contextes pédoclimatiques. En particulier, en matière de précédent de CIVE d'été, il serait pertinent d'étudier l'intérêt de mélanges orge-pois, du point de vue de la conduite (notamment protection) et sur le plan de la filière de valorisation.</li> </ul>
--	---

### La part des CIVE par rapport aux autres intrants dans la ration du méthaniseur

La grande majorité des agriculteurs enquêtés dans le cadre de cette étude ont fait le choix d'approvisionner leur méthaniseur principalement avec des CIVE les premières années, surtout des CIVE d'été (maïs), complétées par des coproduits agricoles (pulpes de betteraves, issues de silo). Les sécheresses estivales impactant les rendements du maïs CIVE, la recherche de substrats méthanogènes moins coûteux que des CIVE et parfois aussi l'émergence d'opportunités locales, amènent les agriculteurs à changer leur stratégie d'approvisionnement. Ainsi, **plus l'ancienneté du méthaniseur augmente, plus l'approvisionnement du méthaniseur se diversifie en moyenne**, avec l'augmentation de la part de coproduits agricoles ou agro-industriels et de biodéchets dans la ration du méthaniseur, en fonction des ressources disponibles dans les environs. Par conséquent, la composition de la ration du digesteur peut être très variable d'une année à l'autre. Pour les méthaniseurs enquêtés, les rations les plus riches en CIVE au moment de l'enquête comportent jusqu'à 70% de CIVE, et les plus pauvres seulement 16% de CIVE.

D'autre part, **l'intégration de cultures alimentaires ou énergétiques cultivées à titre principal**<sup>5</sup> dans la ration des digesteurs est rarement mise en avant comme une stratégie prioritaire, mais est fréquemment évoquée comme une **solution de secours**, pouvant aller jusqu'à 9% de la ration du méthaniseur d'après les enquêtes. Le plus souvent, il s'agit d'une culture d'hiver ou de printemps

<sup>5</sup> Selon le Décret n°2016-929 du 7 juillet 2016, on entend par :

- " cultures alimentaires ", les céréales et autres plantes riches en amidon, sucrières, oléagineuses, et légumineuses, utilisables en alimentation humaine ou animale ;
- " cultures énergétiques ", les cultures cultivées essentiellement à des fins de production d'énergie ;
- " culture principale ", la culture d'une parcelle qui est :
  - soit présente le plus longtemps sur un cycle annuel ;
  - soit identifiable entre le 15 juin et le 15 septembre sur la parcelle, en place ou par ses restes ;
  - soit commercialisée sous contrat ;
- " culture intermédiaire ", culture qui est semée et récoltée entre deux cultures principales

Les installations de méthanisation de déchets non dangereux ou de matières végétales brutes peuvent être approvisionnées par des cultures alimentaires ou énergétiques, cultivées à titre de culture principale, dans une proportion maximale de 15 % du tonnage brut total des intrants par année civile. Cette proportion peut être dépassée pour une année donnée si la proportion des cultures alimentaires ou énergétiques, cultivées à titre de culture principale, dans l'approvisionnement de l'installation a été inférieure, en moyenne, pour les trois dernières années, à 15 % du tonnage total brut des intrants.

A noter que ces définitions sont en cours de révision par les pouvoirs publics en concertation avec la filière, pour notamment préciser les différences entre les cultures principales et intermédiaires.

initialement prévue pour être récolté en grain mais finalement récolté en ensilage pour compléter l'approvisionnement par l'exploitation agricole.

Les stratégies alternatives d'approvisionnement hors CIVE correspondent, comme expliqué ci-dessus, à la recherche de produits méthanisables coûtant le moins cher possible par Nm<sup>3</sup> de biogaz potentiellement produit. Les modélisations d'exploitation agricole avec méthaniseur, effectuées dans le cadre de cette étude, ont mis en évidence que, lorsque des coproduits sont disponibles à bas coût pour le méthaniseur et dans un rayon proche (distance modélisée de 15 km), l'exploitation a tout intérêt, sur le plan économique et même environnemental, à les rechercher en priorité, dans la limite des contraintes de rationnement (en particulier teneur en matière sèche minimale et maximale de la ration et rapport carbone sur azote). En effet, selon nos simulations, même si la production de méthane par tonne de matière brute est très variable en fonction des co-produits, le coût en euros est, dans le contexte de l'étude, souvent faible ou nul, voire négatif, d'où un coût par Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produit souvent très intéressant par rapport aux CIVE. D'autre part, certains substrats utilisés par les méthaniseurs étant considérés comme des déchets, les émissions de GES liées à leur production sont considérées par convention comme nulles, et on ne leur impute alors que les émissions de GES liées à leur transport jusqu'au méthaniseur. Par conséquent les émissions de GES par Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produit sont également souvent très faibles, en comparaison aux CIVE et aux cultures principales modélisées<sup>6</sup> (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 2 : Hypothèses de production de méthane, coût de production/prix d'achat et émissions de GES prises pour les modélisations de l'étude

Type de substrat	Production de méthane (Nm <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> /tMB)	Coût en € par Nm <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> produit	Emissions de GES en kg éq CO <sub>2</sub> par Nm <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> produit
<b>CIVE d'été ou d'hiver</b>	Entre 70 (orge CIVE) et 90 (maïs CIVE)	Entre 0,24 et 0,51	Entre 0,18 et 0,54
<b>Co-produits</b>	Entre 31 et 340	Entre -0,26 et 0,44	Entre 0,012 et 0,31
<b>Maïs culture principale</b>	122	0,19	0,36

<b>Recommandation de bonnes pratiques sur l'approvisionnement du méthaniseur hors CIVE</b>	<p><b>Diversifier l'approvisionnement du méthaniseur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour une meilleure pérennité de la méthanisation agricole sans élevage sur le plan économique, et sur le plan du bilan GES du système ferme + méthaniseur, il faut prévoir d'étudier, en amont du projet de méthanisation, les gisements de coproduits agricoles, agro-industriels ou urbains (prix, disponibilité, pérennité) afin de sécuriser l'approvisionnement du méthaniseur et adapter les équipements en conséquence (taille, ajout d'incorporeurs, broyeurs...etc.).</li> </ul> <p><b>La recommandation précédente, qui s'adresse à des porteurs de projet de méthanisation, pourrait être facilitée par la mise en place d'une</b></p>
--	---

<sup>6</sup> Les hypothèses sont issues de la documentation scientifique ou technique et des enquêtes réalisées dans le cadre de l'étude, elles ne sauraient être extrapolées à un autre cadre que celui de cette étude. Par ailleurs la méthode de calcul des coûts de production et des émissions de GES des CIVE est simplifiée (allocation massique des coûts et émissions de l'itinéraire technique hors récolte entre les 2 produits obtenus lors de la campagne culturale, c'est-à-dire au prorata de la masse de ces produits).

**instance régionale de suivi des ressources en biomasse mobilisables dans la région et des flux associés, y compris inter-régionaux.**

<p><b>Préconisation de recherches complémentaires sur l’approvisionnement du méthaniseur hors CIVE</b></p>	<p><b>Poursuivre et encourager la réalisation d’études d’impact :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Portant sur la méthanisation agricole sans élevage, avec un périmètre plus large que l’exploitation agricole, pour prendre en compte l’effet induit de l’utilisation de substrats extérieurs à l’exploitation (coproduits agricoles, agro-industriels ou urbains) dans la méthanisation agricole. Celle-ci peut en effet éventuellement priver d’autres filières de valorisation qui doivent se tourner vers d’autres produits, avec des impacts évidemment économiques, mais peut-être aussi agronomiques et environnementaux complexes.</li></ul>
--	---

## La conduite des cultures intermédiaires à vocation énergétique

### La fertilisation des CIVE d'été et d'hiver

Selon nos enquêtes auprès des exploitants agricoles, la fertilisation **du maïs CIVE** (CIVE d'été) se fait fréquemment avec de l'azote liquide, enfoui ou non et/ou du 18-46 (diammonium phosphate) au semis (avec un strip-till), pour une quantité totale d'une centaine de kg d'azote par hectare environ, définie pour un objectif de rendement de 12 t MS/ha.

**L'orge d'hiver** cultivée en CIVE est quant à elle fréquemment fertilisée avec une quantité d'azote soit identique, soit un peu inférieure (environ -20 kg d'azote par hectare) à celle de l'orge grain, pour un objectif de rendement d'environ 10 t MS/ha, et un total d'environ 160 kg d'azote par hectare apportés. Dans ce cas, l'azote est apporté sous forme minérale et organique (digestat), avec dans la très grande majorité des cas un premier apport en minéral en sortie d'hiver (en février, sur culture en stade de croissance), et le second apport en digestat (en février ou mars selon la météo, environ 40 m<sup>3</sup>/ha épandus avec pendillard).

Sont invoqués dans les deux cas les manques de références disponibles pour calculer la dose totale d'engrais nécessaire pour un objectif de rendement de la culture en ensilage. Le calcul de la dose à apporter est donc fait en partant de l'objectif de rendement en grain, légèrement réduit compte tenu de la date de semis (retardée pour le maïs CIVE) et de récolte (avancée pour l'orge CIVE). En outre, il manque des références locales sur l'efficacité de l'azote du digestat. En revanche, s'agissant de la quantité d'azote ammoniacal, quasiment tous les agriculteurs font des analyses annuelles de digestat, ce qui les guide pour le pilotage.

Dans les faits, les rendements moyens obtenus pour le maïs CIVE sont de 6 t MS/ha (variabilité de 0 à 12 t MS/ha, en fonction notamment de la pluviométrie estivale). Le rendement objectif utilisé pour le calcul de fertilisation (12 t MS/ha) est donc généralement surestimé. Pour l'orge CIVE, les rendements sont plus réguliers, à environ 9-10 t MS/ha et avec une variabilité bien moindre qu'à l'été.

Les modélisations à l'échelle de la parcelle, effectuées dans le cadre de l'étude, ont permis de simuler des rendements de CIVE d'été et d'hiver (maïs et orge) qui sont bien cohérents avec les rendements moyens constatés sur le terrain (respectivement 5,4 t MS/ha et 9,7 t MS/ha en moyenne). Pour le maïs CIVE, le modèle préconise une fertilisation de 20 kg d'azote par hectare pour un tel rendement moyen, le reste des besoins étant couvert par la minéralisation du sol. Pour l'orge CIVE, le modèle préconise un apport unique de 40 m<sup>3</sup> par hectare de digestat, soit environ 112 kg par hectare d'azote sous forme ammoniacale.

**Si les niveaux de fertilisation modélisés ne doivent pas être pris pour des préconisations strictes, compte tenu des incertitudes liées à l'exercice de la modélisation, ils donnent tout de même un ordre de grandeur pour raisonner la fertilisation.** A noter également que des premiers essais par le GRCETA Ile-de-France semblent indiquer que la fertilisation de CIVE par le digestat uniquement n'est pas suffisante pour obtenir les rendements présentés au paragraphe précédent. Il conviendrait de confirmer ces résultats par d'autres essais au champ. Dans la pratique, la fertilisation des CIVE par du digestat seul est très rare parmi les agriculteurs enquêtés et on ne peut donc pas s'appuyer sur ces très rares cas pour en tirer des enseignements fiables.

Tableau 3 : Niveaux de fertilisation et rendements moyens obtenus par enquêtes et niveaux de fertilisation et rendements moyens modélisés à l'échelle parcelle

	Fertilisation moyenne enquêtée (kg N/ha)	Rendement moyen enquêté (t MS/ha)	Fertilisation moyenne modélisée (kg N/ha)	Rendement moyen modélisé (t MS/ha)
<b>Maïs CIVE d'été</b>	100	6	20	5,4
<b>Orge CIVE d'hiver</b>	160	10	112	9,7

<b>Recommandation de bonnes pratiques pour la fertilisation des cultures intermédiaires à vocation énergétique</b>	<p><b>Prendre en compte le contexte politique et sociétal et s'accorder sur les objectifs des CIVE :</b></p> <p>Les politiques de soutien au développement de la méthanisation s'inscrivent dans <b>diverses politiques publiques mises en œuvre sur les territoires</b> (politique de préservation de la ressource en eau, PCAET, politiques nitrates et Ecophyto, politiques en faveur de la biodiversité, etc.).</p> <p>En outre, pour les décideurs et les porteurs de projet de méthanisation, se pose la question des <b>conditions de l'acceptabilité sociétale de la méthanisation agricole sur les territoires</b>.</p> <p>En tenant compte de ce qui précède et des objectifs de développement de la méthanisation au niveau territorial, <b>différents objectifs prioritaires peuvent être assignés à la production des CIVE</b>, en particulier : production de biomasse pour pourvoir à l'alimentation des méthaniseurs, dans une logique économique, ou couverture du sol pour rendre des services agronomiques et écosystémiques, etc.</p> <p>De ces objectifs découlent des <b>implications fortes sur le plan technique et agronomique</b> (objectif de rendement, gestion des adventices et des maladies sur le long terme) et <b>économique</b> (coût de production, rentabilisation du méthaniseur), et dépendent également un certain nombre de recommandations pratiques. C'est pourquoi des recherches complémentaires sont à mener pour mieux guider ce choix d'objectifs pour les CIVE.</p> <p>Quel que soit l'objectif assigné aux CIVE, il convient de <b>raisonner leur fertilisation et de limiter le recours aux engrais de synthèse</b>, en particulier pour les CIVE d'hiver où les conditions d'apport de digestat sont plus favorables (risques de volatilisation ammoniacale moindres, besoins en azote de la plante élevés et plus grande facilité logistique). Dans le cas des CIVE d'été, les conditions d'apport de digestat sont moins favorables car les risques de volatilisation ammoniacale sont élevés, les besoins de compléter les apports du sol sont moindres et la logistique est plus compliquée.</p> <p><b>Pour le raisonnement de la fertilisation minérale et organique éventuelle des CIVE, il convient d'utiliser la méthode du bilan :</b></p> <p>La méthode du bilan permet un calcul de dose d'azote minéral complémentaire à apporter en fonction du rendement, du type :</p> $X = (Pf+Rf) - (Pi+Ri+Mh+Mhp+Mr+MrCi+Xa+Nirr)$ <p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>X</b> = apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse</li> <li>- <b>Pf</b> = quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan (dépend de l'objectif de rendement)</li> </ul>
--	--

- **Rf** = quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
- **Pi** = quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
- **Ri** = quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
- **Mh** = minéralisation nette de l'humus du sol
- **Mhp** = minéralisation nette due à un retournement de prairie
- **Mr** = minéralisation nette de résidus de récolte
- **MrCi** = minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
- **Xa** = équivalent engrais minéral efficace des apports organiques
- **Nirr** = azote apporté par l'eau d'irrigation

Cependant, il faut être conscient que ni Pf, ni Mh, ni Mr ne sont connus pour les CIVE. Ces paramètres doivent donc pour le moment faire l'objet d'hypothèses, formulées sur la base des coefficients fournis par le GREN<sup>7</sup> pour les mêmes cultures récoltées en grains. De plus, le coefficient Ri peut être compliqué à obtenir, puisqu'il nécessite une analyse de reliquats, qui est difficile à faire avant CIVE d'été, compte tenu de l'enchaînement rapide de la récolte du précédent et des opérations de préparation du sol/ fertilisation et semis de la CIVE. Enfin Xa peut également être compliqué à obtenir (voir aussi ci-dessous la préconisation sur la réalisation d'analyses de digestat fréquentes). **Cette recommandation de pratique est donc indissociable d'une préconisation de réalisation d'essais agronomiques et d'études économiques, énoncées ci – après.**

**La recommandation qui précède implique de mieux ajuster les apports de fertilisation par rapport aux rendements moyens à atteindre (qui détermine le paramètre Pf) :**

Les rendements moyens obtenus ces dernières années en CIVE, en particulier sur le maïs CIVE, plaident pour une diminution importante (à préciser par des essais agronomiques) des doses d'azote apportées par rapport à la même culture récoltée en grain, sans effet sur le rendement (voir les résultats d'apport d'azote obtenus par modélisation dans le Tableau 2, qui, on le rappelle, ne peuvent être tenus pour des préconisations ou des bornes). En effet, le risque avec une trop grande quantité d'azote apportée par rapport aux besoins, est que l'éventuel azote excédentaire puisse générer davantage de volatilisation sous forme ammoniacale durant le printemps ou l'été, ou puisse être lessivé à l'automne ou l'hiver suivant, induisant des risques de pollution des eaux.

**Systématiser les analyses de reliquats azotés (post récolte, entrée et sortie d'hiver) :**

En sortie d'hiver pour ajuster les apports sur les cultures d'hiver (y compris CIVE), mais aussi en post-récolte de cultures d'hiver pour ajuster les apports sur la culture suivante (y compris sur CIVE d'été).

**Réaliser des analyses de digestat fréquentes :**

Dans le calcul de la dose d'azote à apporter sur les cultures, la contribution du digestat, prise en compte dans le paramètre Xa, est déterminée grâce à sa composition et à un coefficient Keq, tel que :

<sup>7</sup> Groupement Régional d'Expertise Nitrates : Ce groupe a pour objectif de proposer les références techniques nécessaires à la mise en œuvre opérationnelle de certaines mesures du programme d'actions national qui s'applique dans les zones vulnérables aux nitrates d'origine agricole. Ces références concernent plus particulièrement l'analyse de sol et le calcul de la dose prévisionnelle d'azote à apporter.

<b>Préconisation de recherches complémentaires sur la fertilisation des cultures intermédiaires à vocation énergétique</b>	<p><b><math>Xa</math> (digestat) = %Ndigestat x Keq x Qdigestat</b></p> <p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- %Ndigestat : teneur en azote total du digestat (% par unité de volume ou de masse)</li> <li>- Kéq : coefficient d'équivalence engrais minéral efficace</li> <li>- Q : volume ou masse de digestat épandue par hectare</li> </ul> <p>Pour connaître la teneur en azote total du digestat, il convient de réaliser des analyses au plus proche de la date d'épandage. Le Kéq d'un digestat de CIVE doit être déterminé par des essais agronomiques.</p> <p><b>Enfin il conviendra de chercher à maximiser la place de légumineuses dans les rotations, par exemple avec du pois d'hiver en précédent de CIVE, ou des mélanges légumineuses-céréales en CIVE d'hiver.</b></p>
--	---

<b>Préconisation de recherches complémentaires sur la fertilisation des cultures intermédiaires à vocation énergétique</b>	<p><b>Poursuivre et encourager les essais agronomiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Portant sur les itinéraires techniques de conduite de CIVE d'hiver et d'été, dans des contextes pédoclimatiques variés, en focalisant en particulier sur la problématique de la fertilisation : test de différents niveaux de fertilisation et mesure de l'impact sur les rendements et reliquats, test de CIVE de mélanges de légumineuses et de céréales, pour bénéficier de l'azote symbiotique.</li> <li>- Portant sur l'épandage de digestats provenant de rations composées de CIVE et de coproduits agricoles et agro-industriels, dans différents contextes pédoclimatiques, notamment dans l'objectif de déterminer le coefficient d'équivalence engrais minéral efficace (Kéq) de ces digestats pour fertiliser les cultures principales et les CIVE (voir</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>- La gestion <span style="float: right;">p.21).</span></li> </ul> <p><b>Poursuivre et encourager les études économiques portant sur les coûts de production des CIVE avec différentes stratégies de production et les répercussions sur la rentabilité de la filière méthanisation.</b></p>
--	---

### La protection phytosanitaire des CIVE d'été et d'hiver

Selon nos enquêtes, **l'orge cultivée en CIVE d'hiver** est fréquemment protégée contre les insectes, les adventices et les maladies, avec toutefois une protection moindre que pour l'orge grain. Le désherbage chimique d'automne est souvent évoqué comme nécessaire, tout comme un à deux insecticides d'automne, en fonction de la pression « insectes » et un traitement fongicide printanier à plus faible dose que sur l'orge grain. Certains agriculteurs évoquent cependant la possibilité de gérer les adventices dans l'orge uniquement grâce à l'ensilage, qui permet de retirer la plupart des adventices de la parcelle car elles sont récoltées en même temps que l'orge et avant dissémination des graines. Certains estiment également que le fongicide n'est pas utile, compte tenu de la précocité de la récolte.



Les variétés tolérantes à la jaunisse nanisante limitent également le besoin d'une protection insecticide contre les pucerons.

**Le seigle** est plus rarement cultivé comme CIVE d'hiver chez les agriculteurs enquêtés (voir Les espèces cultivées comme CIVE p.6). Le cas échéant, il est soit moins protégé que l'orge CIVE, soit pas du tout protégé. Selon les quelques agriculteurs concernés, les rendements seraient comparables à ceux de l'orge d'hiver, mais le faible nombre de témoignages ne permet pas de savoir s'il est possible de généraliser.

**Certains mélanges d'hiver cultivés en CIVE opportunistes** (voir Les espèces cultivées comme CIVE p.6), ne sont également pas protégés, pouvant ainsi soit constituer un couvert végétal classique, déclaré en Culture Intermédiaire Piège à Nitrates (CIPAN<sup>8</sup>) ou en Surface d'Intérêt Ecologique (SIE<sup>9</sup>) si le rendement n'est pas assez élevé pour que la récolte soit économiquement rentable en valorisation énergétique (seuil de rentabilité autour de 3 t MS/ha selon les agriculteurs enquêtés, mais cela dépend évidemment beaucoup des coûts de production), soit être ensilé et méthanisé dans le cas contraire.

**Concernant le maïs CIVE**, d'après les enquêtes sur terrain, la technique de préparation du sol (avec un strip-till) est très fréquente mais ne permet pas de gérer les adventices. Une autre stratégie enquêtée consiste en un travail superficiel au chisel et un passage au rouleau pour resserrer le sol avant de passer le semoir monograinne assez profondément (10 cm). Une autre encore combine un déchaumage légèrement profond (permettant à la fois d'enfouir du digestat et de désherber), et le semis au strip-till. Globalement, pour le maïs CIVE, l'enjeu majeur du désherbage mécanique (chisel, déchaumage plus profond) avant le semis est d'arriver à le concilier avec la préservation de l'humidité du sol. En outre, le semis du maïs cultivé comme CIVE se fait avec un écartement de 50 à 60 cm entre les rangs pour maximiser la couverture du sol et minimiser la place pour les mauvaises herbes. La plupart des agriculteurs font tout de même état de difficultés à gérer les repousses d'orge dans le maïs<sup>10</sup> et évoquent la nécessité, au moins certaines années, de recourir à 1 voire 2 désherbages chimiques (antigraminées mais aussi antidicotylédones), parfois à dose réduite. A noter que la pression adventice est moindre pour un maïs CIVE derrière un pois d'hiver ou un pois de conserve, car ceux-ci concurrencent peu le maïs, contrairement à l'orge grain. Dans ce cas l'herbicide est rarement nécessaire. Chez la plupart des agriculteurs, la faible pression pyrale sur les maïs CIVE ne justifie pas une quelconque intervention.

<b>Recommandation de bonnes pratiques de protection phytosanitaire des cultures intermédiaires à</b>	<b>S'accorder sur l'objectif des CIVE :</b> Comme expliqué précédemment, selon le choix qui sera fait, en fonction du contexte politique et sociétal, de considérer que les CIVE doivent avoir pour objectif prioritaire de produire de la biomasse ou produire des services agronomiques et écosystémiques en tant que couverts, la façon d'aborder leur conduite et les recommandations de bonnes pratiques seront différentes. Ce choix est d'ordre politique et sociétal et ne relève pas des compétences des auteurs de ce document. De ces choix découlent des implications fortes sur le
--	--

<sup>8</sup> CIPAN : Une culture intermédiaire piège à nitrates (CIPAN) est une culture implantée en hiver entre d

<sup>8</sup> SIE : Les surfaces d'intérêt écologique (SIE) désignent un ensemble d'habitats semi-naturels eux cultures principales de printemps dans le but de consommer les nitrates présents en excès dans les sols, permettant ainsi leur stockage sous forme organique et limitant les fuites de nitrates vers les eaux. Une CIPAN n'est ni récoltée ni pâturée (à l'inverse d'une culture dérobée).

<sup>9</sup> SIE : Les surfaces d'intérêt écologique (SIE) désignent un ensemble d'habitats semi-naturels ou naturels de haute valeur écologique, situés dans les espaces agricoles.

<sup>10</sup> Le problème est alors que l'orge concurrence le maïs de façon importante en début de cycle (ce qui compromet le développement du maïs) mais supporte ensuite moins bien la chaleur et la sécheresse estivale. Le résultat très probable est une récolte nulle ou très inférieure aux attentes.

<p><b>vocation énergétique</b></p>	<p>plan technique, agronomique et économique. Des recherches complémentaires sont à mener pour mieux guider ce choix.</p> <p>Quel que soit l'objectif assigné aux CIVE, il conviendra de chercher à combiner les solutions de lutte : choix d'espèces, de variétés ou de mélanges, dates, densités et écartement de semis, travail mécanique ou, éventuellement, protection chimique.</p> <p>Dans le cas d'un objectif de production de biomasse, il conviendra d'utiliser la protection chimique en dernier recours et avec un objectif de réduction d'IFT par rapport à l'IFT de la culture alimentaire. L'IFT maximal à ne pas dépasser doit être défini par les pouvoirs publics en concertation avec les acteurs de la filière. Dans le cas d'un objectif de production de services agronomiques et écosystémiques, sans objectif de production de biomasse, l'utilisation de produits phytosanitaires pourra être proscrit.</p> <p><b>Comme indiqué ci-dessus, différentes solutions de lutte contre les ravageurs, maladies et adventices sont à combiner dans tous les cas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour les CIVE d'hiver, il s'agit du choix d'espèces plus couvrantes (seigle), de variétés plus résistantes (en particulier à la jaunisse nanisante) ou de mélanges et de l'ajustement de la période de l'ensilage (le plus tôt possible tout en conservant un potentiel de production de biomasse, par exemple fin avril au plus tard, en fonction des conditions météorologiques de l'année) pour mieux gérer les adventices et supprimer le besoin de fongicide.</li> <li>- Pour les CIVE d'été (maïs), il s'agit de la préparation du sol (travail superficiel, strip-till), un écartement des rangs inférieur à la normale pour du maïs (50-60 cm), pour maximiser la couverture du sol et minimiser la place pour les adventices et le choix du précédent (pois d'hiver lorsque c'est possible, qui réduit les risques de concurrence des repousses).</li> </ul>
------------------------------------	---

<p><b>Préconisation de recherches complémentaires sur la protection phytosanitaire des cultures intermédiaires à vocation énergétique</b></p>	<p><b>Poursuivre et encourager les essais agronomiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Portant sur les itinéraires techniques de conduite de différentes espèces et variétés de CIVE d'hiver et d'été, dans des contextes pédoclimatiques variés, en focalisant en particulier sur la problématique de la protection phytosanitaire (test d'espèces, variétés et mélanges résistants aux insectes et maladies, de périodes de récolte, de modalités de travail du sol et de désherbage mécanique).</li> </ul>
---	--

## Le semis et la récolte

Selon nos enquêtes et la littérature, les gros enjeux en termes de semis et de récolte des CIVE portent sur la **date de récolte des CIVE d'hiver et la date de semis des CIVE d'été**.

Les enquêtes et la documentation technique indiquent que la teneur en MS de la biomasse au stade de la récolte est un point particulièrement important pour la qualité de l'ensilage et sa bonne conservation. Les plantes à ensiler doivent être récoltées avec une teneur en MS suffisante pour éviter les productions de jus importantes et permettre une bonne stabilité de la qualité de l'ensilage (et du pouvoir méthanogène) au cours du temps. Les taux de MS recherchés sont généralement :

- > 30% pour le sorgho,
- > 33% pour le maïs,
- > 30 % pour l'herbe et les CIVE

**Les enquêtes et la documentation mettent en évidence que plus on récolte tôt les CIVE d'hiver (par exemple, première quinzaine d'avril), moins le rendement en matière sèche est élevé et moins la production de méthane lors de la digestion est élevée, mais moins la culture suivante (souvent du maïs grain) est pénalisée.** La culture suivante peut être pénalisée pour deux raisons : durée de croissance écourtée et épuisement des réserves en eau. En moyenne, les enquêtes ont permis de relever une diminution de 20% du rendement du maïs grain (semé début mai) post CIVE d'hiver par rapport à un maïs grain classique semé début avril. Ces résultats sont confirmés par la modélisation à l'échelle de la parcelle, qui donne même 31% de réduction de rendement du maïs suivant pour une récolte de l'orge CIVE début mai (rendement de l'orge CIVE simulé : 9,7 t MS/ha), contre 12% de perte de rendement du maïs suivant pour une date de récolte de l'orge CIVE au 20 avril (rendement de l'orge CIVE simulée : 5,3 t MS/ha).

Selon la documentation technique, une récolte de CIVE d'hiver précoce, avec des teneurs en MS faibles, peut être compensée par le **préfanage**<sup>11</sup> du produit récolté. Sa mise en œuvre est très dépendante des conditions météorologiques et complexifie l'opération d'ensilage, entraînant des coûts supplémentaires. De plus, si la durée du préfanage n'est pas optimisée, elle peut entraîner une diminution de la concentration en sucre, ce qui peut être pénalisant pour l'étape d'ensilage. Il est également possible d'ajouter des agents d'ensilage (produits sucrés, produits bactériostatiques ou acides).

Du côté des CIVE d'été, les enquêtes montrent que les agriculteurs cherchent à semer le plus tôt possible, pour pouvoir bénéficier de la plus longue période de croissance possible et ne pas semer dans des conditions trop sèches. Ils cherchent donc un précédent qui permet de ne pas trop épuiser la réserve d'eau et qui se récolte tôt (comme l'orge). Leur choix se tourne aussi vers des variétés de maïs plus précoces. La précocité exprime la durée de développement du maïs, du semis à la récolte. Plus un maïs est précoce, plus son cycle est rapide et moins il a besoin de chaleur cumulée (ou degrés-jours) pour arriver au stade de la maturité de la récolte. Les variétés de maïs très précoces ont des indices de précocité faibles (<240). Quant aux méthodes de semis, la majorité des agriculteurs privilégient l'utilisation du strip-till, pour travailler uniquement la ligne de semis, permettant ainsi une action localisée de préparation du sol, tout en préservant l'humidité du sol. Enfin ils utilisent un écartement des rangs plus faible (50-60 cm d'écartement au lieu de 75-80 cm habituellement) pour compenser la relativement faible durée de croissance par une meilleure couverture du sol (voir aussi

La protection phytosanitaire des CIVE d'été et d'hiver p.15). La récolte a lieu mi-fin octobre en général.

**Recommandation de bonnes pratiques de semis et de récolte des CIVE**

**Bien prendre en compte la réduction de rendement de la culture suivante dans le raisonnement de la date de récolte de la CIVE d'hiver :**

- Alors que le simple examen du rendement de la CIVE plaiderait pour une récolte tardive, la prise en compte du rendement de la culture suivante et le raisonnement économique sur la campagne culturale dans son intégralité peut pousser à sacrifier un peu de rendement de CIVE pour gagner un peu plus de rendement de culture principale. Cette stratégie de récolte précoce (avant fin avril, selon conditions

<sup>11</sup> Technique consistant à laisser sécher du fourrage au champ juste après fauche et avant ensilage ou mise en botte.

<p>météorologiques de l'année) peut être combinée avec une conduite peu intensive de la CIVE d'hiver (voir</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La protection phytosanitaire des CIVE d'été et d'hiver p.14).</li> </ul> <p><b>En cas de teneurs en matière sèche trop faibles à la récolte, considérer le préfanage ou l'emploi d'agents d'ensilage.</b></p>
---

<p><b>Préconisation de recherches complémentaires sur le semis et la récolte des CIVE</b></p>	<p><b>Poursuivre et encourager les essais agronomiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A l'échelle des systèmes de culture, portant sur le test de diverses successions : CIVE d'hiver – culture alimentaires ou cultures alimentaires – CIVE d'été, dans divers contextes pédoclimatiques.</li> </ul>
---	---

### L'irrigation des CIVE d'été et des cultures suivant les CIVE d'hiver

Selon nos enquêtes, les agriculteurs qui disposent de matériel d'irrigation irriguent pour la plupart (mais pas tous et pas systématiquement) leurs CIVE d'été (0 à 2 tours d'eau de 25-30 mm en général, en fonction des conditions et des sols). **Ces apports d'eau permettent de sécuriser la culture du maïs, en particulier au démarrage, dans des conditions parfois très séchantes en juillet et août**, en particulier les dernières années (2019-2020). Dans tous les cas, les CIVE ne sont pas prioritaires pour l'irrigation : sont irriguées d'abord les cultures à forte valeur ajoutée (par exemple : pommes de terre) ou les cultures sous contrat (par exemple : haricots verts, petits pois), le cas échéant. La raison invoquée pour cette non priorisation est le coût relatif de l'irrigation par rapport au bénéfice apporté par la CIVE. Le matériel d'irrigation peut également être utilisé pour irriguer les maïs grain suivant une CIVE d'hiver. La question de l'irrigation ne se pose pas du tout pour les CIVE d'hiver en Ile-de-France.

La modélisation à l'échelle de la parcelle montre qu'un apport d'eau par l'irrigation de 2 fois 25 mm sur le maïs CIVE permet d'augmenter les rendements moyens d'environ 1,2 t MS/ha et les rendements sont plus réguliers. On trouve aussi que l'irrigation du maïs grain suivant une CIVE d'hiver permet de tamponner la réduction de rendement de ce maïs grain (-7% par rapport à un maïs grain classique, au lieu de -31% sans irrigation).

Mais, selon nos hypothèses (coût de l'irrigation à 125 € pour 50 mm/ha), la modélisation à l'échelle de la ferme montre que l'insertion de maïs CIVE irrigué suivant orge grain dans la rotation (y compris avec un rendement moyen de 10 t MS/ha pour le maïs CIVE) est moins rentable économiquement que la production d'orge en CIVE d'hiver, y compris en conduite intensive, suivie de maïs grain. En revanche, à 7,5 t MS/ha de rendement moyen (hypothèse plus optimiste que le résultat de la modélisation à la parcelle), l'insertion de maïs CIVE irrigué suivant orge grain dans la rotation est plus intéressante économiquement que la culture d'orge grain suivie de maïs CIVE non irrigué (rendement moyen 6 t MS/ha) (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Lorsque le rendement du maïs CIVE irrigué atteint 11 t MS/ha, il commence à être intéressant économiquement de l'insérer dans la rotation.

Tableau 4 : Comparaison de l'intérêt économique de 3 types de successions CIVE-culture principale ou Culture principale-CIVE selon les hypothèses de l'étude

Moins intéressant économiquement .....	Plus intéressant économiquement	
Orge d'hiver (9 t/ha) – maïs CIVE non irrigué (6 t MS/ha)	Orge d'hiver (9 t/ha) – maïs CIVE irrigué (7,5 à 10 t MS/ha)	Orge d'hiver CIVE conduite intensive (10 t MS/ha) – maïs grain non irrigué (8 t/ha)

A noter que les outils de modélisation utilisés ne permettent pas d'évaluer l'impact de l'irrigation du maïs cultivé en CIVE d'été ou de la culture qui suit l'orge CIVE sur les ressources en eau.

<b>Recommandations de bonnes pratiques concernant l'irrigation</b>	<b>Bien réfléchir l'irrigation éventuelle des CIVE d'été en fonction des objectifs qui lui sont assignés, ainsi que celle du maïs grain suivant une CIVE d'hiver :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Dans tous les cas il faut faire une utilisation raisonnée et limitée de l'irrigation, grâce à une réflexion globale.</li><li>- La réflexion doit se faire en fonction du coût de l'irrigation, de l'objectif assigné à la CIVE (production de biomasse et/ou production de services agronomiques et écosystémiques) du gain de rendement possible pour la CIVE, des besoins et de la marge relative d'autres cultures de l'assolement et des pressions locales sur la ressource en eau, de la possibilité d'intégrer des CIVE d'hiver dans l'assolement.</li><li>- La quantité maximale d'eau à fournir aux CIVE ou aux cultures de printemps/été est une question locale, à évaluer selon la pression locale sur les ressources en eau.</li></ul>
--	---

<b>Préconisation de recherches complémentaires sur les questions liées à l'irrigation</b>	<b>Encourager les recherches plus approfondies sur :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- La sensibilité au stress hydrique des systèmes de culture, avec ou sans CIVE dans les rotations, en Ile-de-France, dans un contexte de changement climatique.</li><li>- La gestion de l'eau et des besoins pour la conduite de CIVE et les évolutions des rendements des rotations incluant des CIVE en situation de risque climatique ;</li><li>- La sensibilité des ressources en eau utilisables ou utilisées pour l'irrigation de CIVE ou de cultures dans des rotations incluant des CIVE.</li><li>- Les espèces, autres que le maïs<sup>12</sup>, ou les variétés les plus résistantes au stress hydrique et adaptées au contexte de l'Ile-de-France, à cycle court (90 à 120 jours), cultivables en CIVE d'été.</li></ul>
---	---

<sup>12</sup> Le maïs est une plante qui utilise très efficacement l'eau et qui est très résistante au stress hydrique en fin de cycle, grâce à son métabolisme particulier, à l'efficacité de sa photosynthèse et à sa faculté à limiter la transpiration et les pertes d'eau.

## La gestion du digestat de méthanisation

### Composition physico-chimique

Des analyses des caractéristiques physico-chimiques des digestats prélevés dans les méthaniseurs enquêtés (9 digestats bruts, 2 solides et 2 liquides) ont été effectuées dans le cadre de cette étude. **Elles ont montré que les digestats bruts et liquides étaient assez similaires, avec des caractéristiques (teneurs en matière sèche, carbone organique, azote minéral et azote total, phosphore et potassium) proches de celles d'un lisier porcin. Quant aux digestats solides, ils sont proches d'un fumier bovin.** Il n'a pas été constaté d'influence significative du type d'intrants sur les caractéristiques des digestats. Les teneurs en azote total et minéral et en phosphore sont cependant assez variables, allant du simple à presque le double pour l'azote, et du simple au triple pour le phosphore, en fonction du type de digestat.

### Minéralisation de l'azote et valeur fertilisante du digestat

L'étude de la minéralisation de l'azote organique des digestats en laboratoire a montré que la valeur fertilisante des digestats bruts et liquides était principalement due à la quantité d'azote ammoniacal. Ainsi, pour 40 m<sup>3</sup>/ha de digestat brut apporté (dose usuelle constatée sur le terrain), on a estimé en moyenne que 113 kg d'azote sous forme ammoniacale étaient directement disponibles (sur 199 kg d'azote total), et seulement 7 kg d'azote/ha sont fournis par la minéralisation de l'azote organique (sur 85 kg d'azote organique/ha au total) au cours de l'année. Pour le digestat solide, la proportion d'azote sous forme ammoniacale (donc directement disponible) est très faible, et la minéralisation nulle voire négative. **Par conséquent, les digestats bruts et liquides peuvent être utilisés comme des fertilisants, alors que le digestat solide peut être utilisé comme un amendement.**

### Valeur amendante du digestat

Aux doses usuelles d'apport (40 m<sup>3</sup>/ha en moyenne pour les digestats bruts et liquides et 10 t/ha pour les digestats solides), **la contribution des digestats bruts à la matière organique du sol a été évaluée par modélisation comme assez faible en comparaison à un apport moyen de fumier (30 t/ha) ou à de la paille de blé non récoltée.** Cependant, le carbone apporté par le digestat (environ 2,1% de carbone organique dans la matière brute du digestat brut), cumulé au carbone apporté par les racines des couverts, permet aux systèmes de culture avec CIVE de stocker un peu de carbone (2,3 t C/ha stockés au bout de 30 ans pour 40 m<sup>3</sup>/ha de digestat apportés 5 années sur 10), quoique ce stockage soit significativement moindre qu'avec un apport de 30 t/ha tous les 5 ans de compost de déchets verts (7,2 t C/ha stockés au bout de 30 ans) . Ce stockage a des effets positifs, mais limités, sur l'amélioration de la fertilité physique et biologique du sol.

<b>Recommandation de bonnes pratiques en termes de prise en compte de la composition et de la minéralisation du digestat</b>	<p><b>Utiliser les digestats bruts et liquides comme fertilisants et les digestats solides comme amendements.</b></p> <p><b>Réaliser des analyses de digestat fréquentes et les plus proches possibles de la date d'épandage</b> pour connaître précisément les teneurs en éléments fertilisants des digestats (notamment azote et phosphore) et adapter les apports et l'agro-équipement en conséquence. Compte tenu des éléments présentés précédemment, l'azote disponible pour les cultures peut être assimilé à l'azote ammoniacal du digestat.</p> <p><b>Pour une amélioration plus significative de la fertilité du sol sur l'ensemble des surfaces, y compris celles où le digestat n'est pas épandu ou bien où l'on</b></p>
--	--

**ne cultive pas de CIVE**, on peut soit continuer à apporter de la matière organique exogène (type compost) ou bien soigner / optimiser ses couverts autres que les CIVE (CIPAN, SIE) pour en restituer la biomasse au sol.

### Le stockage du digestat

Plusieurs agriculteurs enquêtés ont des dispositifs leur permettant de **stocker le digestat pendant 6 à 12 mois** (au-dessus du minimum réglementaire) : post digesteurs, lagunes de stockage (sur l'exploitation et sur des parcelles plus éloignées). Cela leur donne de la flexibilité pour l'épandage du digestat : au niveau de la temporalité et géographiquement. En général, ils font alors le choix de l'épandre prioritairement en sortie d'hiver sur céréales, car ils ont du temps pour le faire, les conditions d'épandage sont correctes (pas trop de chaleur et de l'humidité) et les céréales d'hiver ont besoin d'azote à ce moment-là. D'autres agriculteurs ne peuvent stocker que 6 mois ou un peu plus. Certains mettent en avant que cela leur permet d'avoir des dispositifs de stockage moins nombreux ou plus petits et de privilégier des stockages couverts. Dans ce cas ils ont moins de flexibilité pour l'épandage mais n'auraient pas ou peu de volatilisation d'azote ammoniacal lors du stockage<sup>13</sup>. Sur ce dernier point, il y a un manque de connaissances sur le comportement spécifique (notamment volatilisation ammoniacale) du digestat de méthanisation agricole sans élevage au stockage avec ou sans couverture. Certains agriculteurs et bureaux d'étude avancent que le digestat formerait une croûte en surface au stockage, limitant naturellement les émissions d'ammoniac et limitant l'intérêt de l'investissement dans une couverture de fosse ou lagune par ailleurs onéreuse et complexifiant les opérations d'épandage. La documentation scientifique atteste au contraire d'émissions d'ammoniac au stockage d'autres types de digestat (digestats d'effluents d'élevage par exemple), et ce malgré la présence d'une croûte.

#### Préconisation de recherches complémentaires sur le stockage du digestat

**Encourager les recherches plus approfondies** sur la mesure d'émissions au stockage du digestat avec ou sans couverture naturelle (croûte) ou artificielle (type bâche).

**Encourager les recherches sur la participation de l'ammoniac émis lors du stockage et de l'épandage des digestats à la pollution de l'air et sa dynamique saisonnière et les recherches sur les leviers pour atténuer ces émissions.**

### La séparation de phase

La séparation des phases du digestat produit une **fraction solide et une fraction liquide avec des propriétés très différentes**. La fraction solide concentre la matière organique et le phosphore, et avec eux le pouvoir amendant. La fraction liquide concentre l'azote sous forme ammoniacale et le potassium, et avec eux le pouvoir fertilisant. Peu de méthaniseurs enquêtés (2 sur 11) font de la séparation de phases du digestat, les agriculteurs impliqués invoquant principalement le coût de

<sup>13</sup> Depuis Juillet 2021, les prescriptions applicables aux installations de méthanisation au titre de la rubrique 2781 de la nomenclature des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) (Arrêté du 12 août 2010) ont évolué. Ainsi, selon l'article 34 : Les ouvrages de stockage des digestats solides et liquides sont couverts. Cette disposition ne s'applique pas pour le digestat solide stocké en bout de champ moins de 24 heures avant épandage, ni aux lagunes de stockage de digestat liquide ayant subi un traitement de plus de 80 jours.

Pour les installations dont le dossier complet de demande d'enregistrement a été déposé avant le 1er juillet 2021, les stockages non couverts doivent, au 1er janvier 2022, faire l'objet de mesures organisationnelles prenant en compte les situations météorologiques décennales (et notamment le niveau de réduction nécessaire des quantités de digestat produites avant les événements pluvieux importants) permettant d'éviter les débordements.

l'opération de séparation de phase et leur volonté de garder un produit (le digestat brut) qui permette à la fois de fertiliser et amender les parcelles. Les agriculteurs qui font de la séparation de phase ont parfois un parcellaire éclaté et trouvent alors un intérêt économique et agronomique à amender les parcelles les plus éloignées avec le digestat solide (plus sec, transportable sur de plus longues distances à plus faible coût) et les fertiliser avec de l'azote minéral (moins cher à transporter que le digestat liquide), et à fertiliser les parcelles les plus proches avec le digestat liquide. La documentation technique et scientifique indique par ailleurs que le digestat liquide a une meilleure capacité d'infiltration, ce qui en maximiserait le pouvoir fertilisant (réduction de volatilisation ammoniacale).

### Le matériel d'épandage

Selon nos enquêtes, tous les digestats bruts ou liquides sont épandus principalement avec un **système d'épandage sans tonne** (tracteur ou automoteur équipé d'un enrouleur connecté à une tonne à lisier, une lagune ou un caisson en bord de champ) et un pendillard, par un entrepreneur. Les digestats solides sont épandus avec un épandeur à fumier. Là où c'est possible, la distribution du digestat brut ou liquide se fait grâce à des réseaux d'irrigation enterrés. Sinon, les agriculteurs utilisent soit des lagunes au champ, soit des caissons déportés approvisionnés par camion, pour apporter le digestat à proximité des parcelles à épandre. L'épandage à la tonne à lisier est pratiqué de façon très marginale. Plusieurs agriculteurs réfléchissent à investir en commun dans du matériel d'épandage sans tonne, car ils perdent en flexibilité en devant faire intervenir un entrepreneur.

L'intérêt de l'épandage de digestat par un système sans tonne à lisier est la possibilité qu'il offre d'entrer sur la parcelle dans des conditions où la tonne à lisier ne peut pas entrer par manque de portance du sol (tôt en sortie d'hiver, dès que la réglementation le permet), mais où la valorisation de l'azote est bonne car la plante est en demande. Cette période est également moins propice aux émissions d'ammoniac par le digestat, car il fait frais et relativement humide. Cependant, les agriculteurs privilégient en général le deuxième apport d'azote sur céréale en digestat, car le premier leur paraît encore risqué pour la structure du sol (le tracteur fait plus de passage car la rampe d'épandage est moins large que la rampe d'épandage d'engrais minéral liquide). Dans ces conditions et selon les modélisations à l'échelle de la parcelle effectuées dans le cadre de l'étude, les émissions d'ammoniac restent non négligeables, même avec un pendillard.

### La période d'épandage

**L'épandage du digestat brut ou liquide est réalisé très majoritairement sur céréales en sortie d'hiver (début février à début mars)**, en général en deuxième apport d'azote. Une telle stratégie d'épandage parfois quasiment exclusive est permise par d'importants dispositifs de stockage de digestat (voir Le stockage du digestat p.22). Le digestat peut aussi être épandu à l'été ou à l'automne soit au semis du colza ou des CIPAN, soit dans les CIPAN en cours de développement automnal, dans les limites imposées par la réglementation. La valorisation de l'azote peut alors être limitée dans ce cas et les pertes azotées augmentées (risque de volatilisation important sans enfouissement immédiat, faible prélèvement d'azote si le couvert se développe peu). De façon beaucoup plus rare, il peut être épandu juste avant le maïs CIVE avec un enfouissement au déchaumeur, mais la plupart des agriculteurs invoquent des difficultés logistiques. En effet, à cette période, l'enjeu est de semer au plus vite après la récolte de la culture alimentaire d'hiver pour perdre le minimum d'humidité du sol, ce qui s'envisage difficilement en calant un chantier d'épandage entre récolte et semis. Les risques de volatilisation ammoniacale sont également forts à cette période (température élevée).

Recommandation  
de bonnes

Privilégier des modes d'épandage du digestat qui permettent de réduire les émissions d'ammoniac et de maximiser l'efficacité de l'azote :



<p><b>pratiques en termes de mode d'épandage du digestat</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lorsque c'est possible sur le plan technique et réglementaire, faire le premier apport en digestat plutôt que le second sur céréales d'hiver et privilégier les conditions les moins émissives (fraîcheur, peu de vent) ;</li> <li>- Enfouir le digestat lorsque c'est possible et le plus rapidement possible (immédiatement après épandage), en particulier privilégier l'injection avant maïs CIVE ;</li> <li>- Eviter les apports de digestat brut ou liquide sur CIPAN pour limiter la volatilisation de l'azote sous forme ammoniacale ;</li> <li>- Lorsque c'est possible et cohérent par rapport aux besoins de l'exploitation, faire de la séparation de phase (meilleure infiltration du digestat liquide par rapport au brut, meilleure gestion des propriétés fertilisantes et amendantes en fonction des besoins des parcelles).</li> </ul>
--	---

<p><b>Préconisation de recherches complémentaires concernant les modes d'épandage du digestat</b></p>	<p><b>Poursuivre et encourager les essais agronomiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur l'épandage de digestat, pour évaluer l'efficacité du digestat de CIVE en comparaison à de l'engrais minéral, et en particulier évaluer le Coefficient Apparent d'Utilisation du digestat<sup>14</sup> (CAU) et le Coefficient d'équivalence engrais minéral efficace<sup>15</sup> (Kéq) dans des contextes pédoclimatiques variés, pour différentes cultures (dont des CIVE) et pour mesurer les émissions à l'épandage selon différents modes d'épandage, en particulier innovants.</li> </ul> <p><b>Encourager les recherches et les innovations :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur les équipements d'épandage innovants facilitant l'épandage le plus tôt possible sur céréales d'hiver et l'injection avant maïs CIVE ou dans l'inter-rang.</li> </ul> <p><b>Encourager la création d'un observatoire long terme de la qualité des sols</b> recevant des digestats de méthanisation, en se focalisant sur les aspects suivants : stockage de carbone, biodiversité, acidité, réserve utile, structure, minéralisation de l'azote.</p> <p><b>Encourager les recherches sur la participation de l'ammoniac émis lors du stockage et de l'épandage des digestats à la pollution de l'air et sa dynamique saisonnière.</b></p>
---	--

<sup>14</sup> Le coefficient apparent d'utilisation (CAU) correspondant au rapport entre le gain d'absorption d'azote lié à l'apport d'engrais et la dose d'engrais. Il permet de quantifier l'efficacité de l'apport.

<sup>15</sup> Le coefficient d'équivalence engrais minéral (Kéq) sert à estimer la part d'azote d'un produit organique disponible l'année n, prenant en considération l'azote minéral présent dans le produit au moment de l'épandage et l'azote organique minéralisable dans l'année, ainsi que les pertes (volatilisation, lixiviation). Il est donc lié à la culture et à la période d'apport (conditions d'épandage et climat après apport).

## Récapitulatif des recommandations et préconisations

Recommandations de bonnes pratiques	
Sur le choix des CIVE pour l'approvisionnement du méthaniseur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diversifier la production de CIVE (saison, espèces et exploitation opportuniste des couverts).</li> </ul>
Sur l'approvisionnement du méthaniseur hors CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diversifier l'approvisionnement du méthaniseur en étudiant les gisements de co-produits agricoles, agro-industriels ou urbains.</li> <li>Mettre en place une instance régionale de suivi des ressources en biomasse mobilisables dans la région et des flux associés.</li> </ul>
Sur la fertilisation des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prendre en compte le contexte politique et sociétal et s'accorder sur les objectifs des CIVE.</li> <li>Raisonner leur fertilisation et de limiter le recours aux engrais de synthèse.</li> <li>Pour le raisonnement de la fertilisation minérale et organique éventuelle des CIVE, utiliser la méthode du bilan.</li> <li>Mieux ajuster les apports de fertilisation par rapport aux rendements moyens à atteindre.</li> <li>Systématiser les analyses de reliquats azotés (post récolte, entrée &amp; sortie d'hiver).</li> <li>Réaliser des analyses de digestat fréquentes.</li> <li>Chercher à maximiser la place des légumineuses dans les rotations.</li> </ul>
Sur la protection phytosanitaire des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combiner les solutions de lutte (choix d'espèces, variétés, mélanges plus adaptés ; ajustement de la période d'ensilage des CIVE d'hiver ; techniques de préparation du sol pour la CIVE d'été).</li> </ul>
Sur le semis et la récolte des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bien prendre en compte la réduction de rendement de la culture suivante dans le raisonnement de la date de récolte de la CIVE d'hiver.</li> <li>En cas de teneurs en matière sèche trop faibles à la récolte, considérer le préfanage ou l'emploi d'agents d'ensilage.</li> </ul>
Sur l'irrigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bien réfléchir l'irrigation éventuelle des CIVE d'été en fonction des objectifs qui lui sont assignés, ainsi que celle du maïs grain suivant une CIVE d'hiver.</li> </ul>
Sur la prise en compte de la composition et de la minéralisation du digestat pour la fertilisation et l'amendement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser les digestats bruts et liquides comme fertilisants et les digestats solides comme amendement.</li> <li>Réaliser des analyses de digestat fréquentes et les plus proches possibles de la date d'épandage et adapter les apports et l'agro-équipement en conséquence.</li> <li>Pour une amélioration plus significative de la fertilité du sol sur l'ensemble des surfaces, y compris celles où le digestat n'est pas épandu ou bien où l'on ne cultive pas de CIVE, on peut soit continuer à apporter de la matière organique exogène (type compost) ou bien soigner ses couverts autres que les CIVE (CIPAN, SIE) pour en restituer la biomasse au sol.</li> </ul>
Sur le mode d'épandage du digestat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Privilégier des modes d'épandage du digestat qui permettent de réduire les émissions d'ammoniac et de maximiser l'efficacité de l'azote.</li> </ul>

Préconisations de recherches complémentaires	
Sur le choix de CIVE pour l’approvisionnement du méthaniseur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager les essais agronomiques sur la conduite de différentes espèces et variétés de CIVE dans des contextes pédoclimatiques variés et sur des nouvelles espèces et variétés de CIVE</li> </ul>
Sur les rotations de culture incluant des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager les essais agronomiques à l’échelle des systèmes de culture, portant sur le test de diverses rotations de culture intégrant plusieurs espèces de CIVE d’hiver comme d’été et plusieurs espèces de précédents et de suivants, dans divers contextes pédoclimatiques.</li> </ul>
Sur l’approvisionnement du méthaniseur hors CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager la réalisation d’études d’impact portant sur la méthanisation agricole sans élevage, avec un périmètre plus large que l’exploitation agricole.</li> </ul>
Sur la fertilisation des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager les essais agronomiques portant sur les itinéraires techniques de conduite de CIVE d’hiver et d’été, dans des contextes pédoclimatiques variés ; l’épandage de digestats provenant de rations composées de CIVE et de coproduits agricoles et agro-industriels ;</li> <li>• Poursuivre et encourager les études économiques portant sur les coûts de production des CIVE avec différentes stratégies de production et les répercussions sur la rentabilité de la filière méthanisation.</li> </ul>
Sur la protection phytosanitaire des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager les essais agronomiques portant sur les itinéraires techniques de conduite de différentes espèces et variétés de CIVE d’hiver et d’été, dans des contextes pédoclimatiques variés.</li> </ul>
Sur le semis et la récolte des CIVE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager les essais agronomiques à l’échelle des systèmes de culture, portant sur le test de diverses successions CIVE d’hiver – culture alimentaires ou cultures alimentaires – CIVE d’été, dans divers contextes pédoclimatiques.</li> </ul>
Sur les questions liées à l’irrigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encourager les recherches plus approfondies sur la sensibilité au stress hydrique, la gestion de l’eau et les besoins, les évolutions des rendements, des systèmes de culture dans un contexte de changement climatique, et sur la sensibilité des ressources en eau.</li> <li>• Encourager les recherches sur les espèces ou variétés de CIVE d’été résistantes au stress hydrique et adaptées au contexte de l’Île-de-France.</li> </ul>
Sur le stockage du digestat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encourager les recherches plus approfondies sur la mesure d’émissions au stockage du digesta et sur la participation de l’ammoniac émis lors du stockage et de l’épandage des digestats à la pollution de l’air et sa dynamique saisonnière et sur les leviers pour atténuer ces émissions.</li> </ul>
Sur les modes d’épandage du digestat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuivre et encourager les essais agronomiques sur l’épandage de digestat (efficacité et émissions à l’épandage selon différents modes d’épandage).</li> <li>• Encourager les recherches et les innovations sur les équipements d’épandage innovants.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Encourager la création d'un observatoire long terme de la qualité des sols recevant des digestats de méthanisation.</li><li>• Encourager les recherches sur la participation de l'ammoniac émis lors du stockage et de l'épandage des digestats à la pollution de l'air et sa dynamique saisonnière.</li></ul>
--	--

## Pour aller plus loin, projets et thèses en cours

Cette partie vise à faire la liste des projets et thèses en cours qui vont permettre de répondre à tout ou partie des questions qui se posent à l'issue de ce document.

Projets :

Titre	Organisme principal impliqué / financement	Descriptif bref	Durée
<b>BioCIGES</b>	INRAE / ADEME	Biomasse des cultures intermédiaires et atténuation des émissions de gaz à effet de serre : quelles voies de valorisation, pour quels potentiels d'atténuation à l'échelle française ?	2019-2022
<b>CARBOCIMS</b>	INRAE / GRDF	Etude du stockage de carbone dans les sols agricoles associé à la culture de CIVE et au retour de digestat de CIVE	2020-2022
<b>CRUST</b>	INRAE / ADEME	Etude des mesures d'émissions de digestat en stockage lagune	2022-2024
<b>FertiDIG</b>	INRAE / ADEME	Guide de bonnes pratiques d'utilisation des digestats de méthanisation pour maximiser leurs intérêts agronomiques et limiter les impacts sur les fertilités chimique, physique et biologique des sols	2021-2024
<b>FuturCIMS</b>	BioValo / Semenciers	Evaluation des performances environnementales et énergétiques de semences CIMS (Cultures Intermédiaires Multi-Services)	En demande de financement ADEME (AAP GRAINE)
<b>Métha3G</b>	INRAE / ADEME	3e génération de méthaniseurs : Comment utiliser la méthanisation pour optimiser les services de régulation liés au sol au sein d'un territoire agricole	
<b>MethaBioSol</b>	AgroSup Dijon / CASDAR, ADEME	Impacts des digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols	2021-2024
<b>RECITAL</b>	Arvalis / ADEME, GRDF	Capitaliser et valoriser les informations sur les pratiques de conduite des Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique, réalisation d'une ACV sur les CIVE	2020-2023

Thèses

Doctorant(e)	Organisme(s)	Titre
<b>Camille Launay</b>	INRAE, GRDF	Evaluation et optimisation des bilans d'eau, d'azote et de carbone dans les systèmes de culture incluant des cultures intermédiaires à vocation énergétique et le retour au sol de digestats de méthanisation
<b>Nicolat Malet</b>	ADEME (projet BioCIGES)	Stockage de Carbone dans les sols ou méthanisation agricole : quelle est la voie la plus efficace pour atténuer les émissions de CO <sub>2</sub> ?