ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

Méthaniseurs et digestats en Grand Est : Suivis techniques, agronomiques et économiques

Version janvier 2023

CHAMBRES D'AGRICULTURE GRAND EST

Avec le soutien de

climaxion anticiper • économiser • valoriser

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Liberté Égalité Fraternité

ADEME AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

La Région Grand Est

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE Liberté Égalité Fraternité

Introduction, présentation des rédacteurs et remerciements

Introduction

La synthèse présentée dans ce document a été réalisée à partir de données recueillies par les conseillers agronomes, d'entreprises, réseaux d'élevages et énergies des 10 Chambres d'agriculture du Grand Est.

L'objectif est de présenter des résultats multicritères à partir de données réelles recueillies sur le terrain au terme d'un suivi de 3 années sur 30 méthaniseurs représentatifs de la filière en Grand Est, de 60 exploitations agricoles liées à ces méthaniseurs et de parcelles recevant des digestats, liées à d'autres méthaniseurs.

Accéder au site de la Chambre d'agriculture Grand Est :

Les données technico-économiques des méthaniseurs ont été analysées avec l'outil national du réseau des Chambres d'agricultures « PRODIGE » afin de comparer les données du Grand Est avec celles du panel France. Sur les 30 méthaniseurs, 26 ont été finalement utilisés pour la synthèse pour des questions de complétude et de cohérence des résultats. Un rapport complet de ces résultats est disponible sur le site de la Chambre d'agriculture du Grand Est.

Sur la partie "exploitations agricoles", des enquêtes ont été réalisées avec la méthode "réseau d'élevage" pour les données technico-économiques afin de comparer le système actuel avec une trajectoire sans méthaniseur, dans le but de relever les différences au niveau économique, main d'œuvre, ateliers animaux et végétaux ainsi qu'une approche gaz à effet de serre. Un focus a été fait par les conseillers agronomes et sol sur l'évolution des pratiques culturales, l'épandage des digestats et la stratégie de fertilisation, l'évolution de la matière organique et du fonctionnement biologique des sols.

Rédacteurs

Résultats technico-économiques méthanisation
Solène DEMANGE et Damien L'HUILLIER - Chambre d'agriculture des Vosges

Résultats approche globale des exploitations agricoles
Damien L'HUILLIER - Chambre d'agriculture des Vosges

Évolutions et recommandations sur les pratiques culturales et fertilisations
Thiébaut SIMON - Chambre d'agriculture du Grand Est

Retour au sol des digestats : points de vigilance
Sophie MAILLANT - Chambre d'agriculture du Grand Est
et les conseillers du "groupe sol" des Chambres d'agriculture du Grand Est

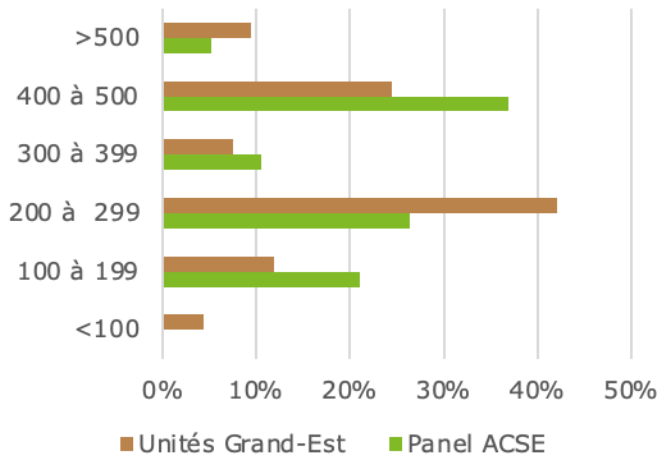
Remerciements

Aux financeurs du programme ACSE 2020-2022 : la Région Grand Est et l'ADEME Grand Est.
Aux équipes énergies, agronomie et sols, entreprises et réseaux d'élevages, bas carbone des Chambres d'agriculture du réseau Grand Est
A la Chambre d'agriculture France et Bretagne pour le partage de l'outil PRODIGE
A Aurore BECHTEL pour la mise en forme et la diffusion.

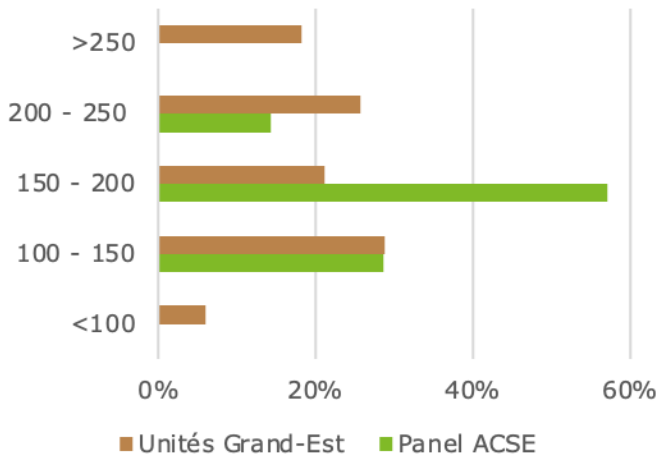
L'enquête, l'outil et le panel

L'enquête technico-économique menée dans le cadre du programme ACSE 2020-2022 sur un panel d'unités de méthanisation du Grand-Est a pour but d'évaluer les performances des unités. Les enquêtes ont été réalisées par les conseillers des Chambres d'agriculture du Grand-Est grâce à l'outil PROdige 2. Cet outil permet de comparer les performances des unités en évinçant les échanges entre les unités et les exploitations porteuses.

Puissance en KW en fonction du pourcentage du nombre d'unités dans les panels



Capacité max en Nm3/h en fonction du pourcentage du nombre d'unités dans les panels



Les graphiques ci-dessus présentent la répartition du panel interrogé en fonction de leur puissance en comparaison à l'ensemble des unités du Grand Est. L'échantillon enquêté représente 26 unités soit 11% des installations de méthanisation à la ferme en Grand Est. L'échantillon est composé de **19 unités** valorisant le biogaz grâce à un système de **cogénération**. Le reste du panel est composé de **7 unités** valorisant le biogaz grâce à un système d'**injection**.
D'après les graphiques ci-dessus le panel enquêté en cogénération et en injection correspond sensiblement aux unités du Grand Est. La catégorie de puissance de 150 à 200 Nm3/h semble surreprésentée mais en prenant en compte les unités en construction, le panel est représentatif.
Sur les 26 unités enquêtées, 14 unités sont portées par une seule exploitation agricole et 12 par un collectif.
Les unités enquêtées ont été mises en route pour 2 d'entre elles avant 2016. Aucune unité valorisant le biogaz directement en injection ne date d'avant 2016. 11 de ces unités ont démarré en 2018 soit 42% de notre panel.

Les exploitations porteuses
Les enquêtes réalisées ont permis de faire un état des lieux du profil des exploitations porteuses d'unité de méthanisation. Lorsque les unités sont portées par une seule exploitation agricole, celle-ci dispose d'en moyenne 374 ha de Surface Agricole Utile (SAU). Lorsque l'unité de méthanisation est portée par plusieurs exploitations, chacune d'entre elles disposent d'en moyenne 219 ha. En moyenne, 81% des unités de méthanisation sont attachées à une exploitation, ou au moins à une des exploitations associées, possédant une activité d'élevage.

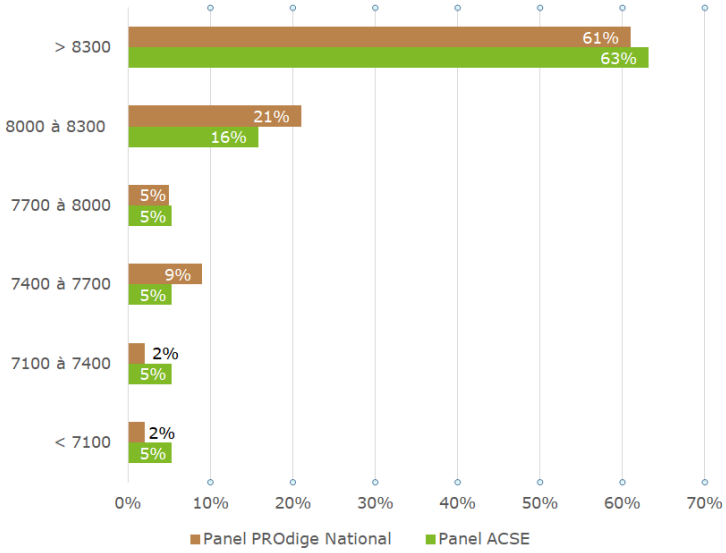
Résultats techniques

Production

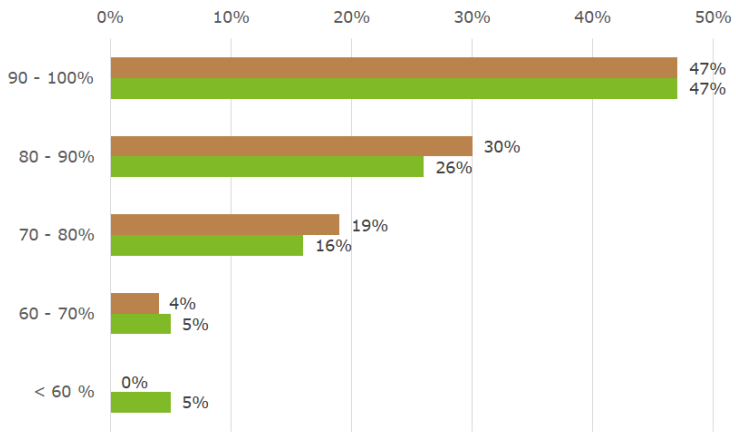
Unités en cogénération

La production des unités en cogénération est évaluée par le nombre d'heures de fonctionnement du ou des moteurs. Si ceux-ci sont prévus pour fonctionner pratiquement en permanence, l'objectif est d'assurer un fonctionnement de plus de 8000 heures/an. Les graphiques suivants présentent la répartition des unités des différents panels en fonction du nombre d'heures de fonctionnement du moteur et de leur indice de productivité.

Heures de fonctionnement du cogénérateur des unités des panels par an



Pourcentage d'unités des panels en fonction de leur productivité en électricité



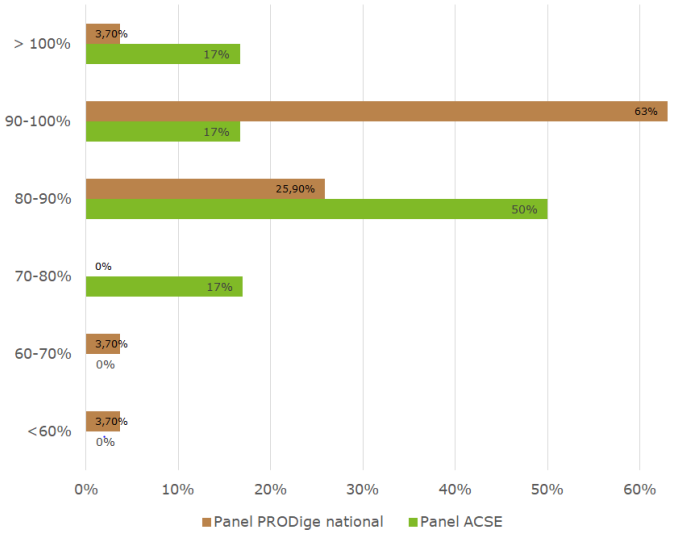
Le nombre d'heures de fonctionnement et la consommation des auxiliaires influent sur l'indice de productivité des unités en cogénération.

Cet indicateur permet d'évaluer la productivité de l'unité comparée à un maximum théorique représentant le fonctionnement maximal de l'unité. La **productivité moyenne** des unités en **cogénération** est de **87%**. Le maximum atteint 98% et le minimum 58%. **47% des unités** ont dépassé un niveau de 90% ce qui témoigne d'un **fonctionnement régulier** et **à forte charge tout au long de l'année**. 53% des unités sont en situation de sous-production par rapport à la capacité de leur(s) cogénérateur(s).

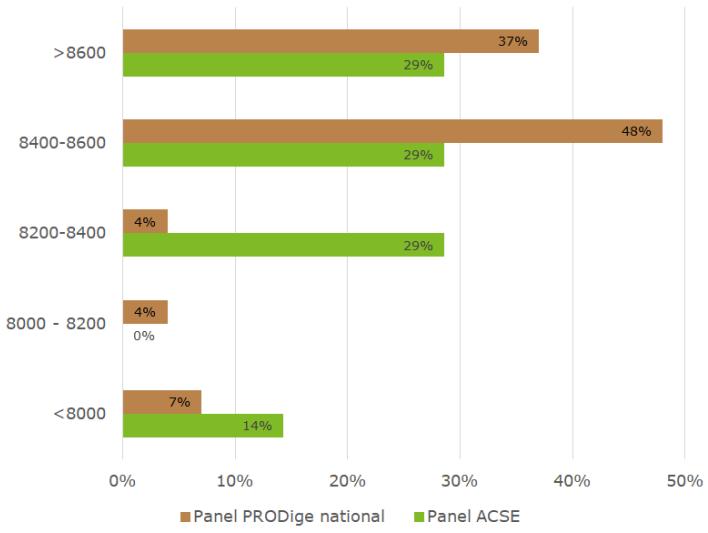
Unités en injection

Pour les unités en injection, la production des unités est évaluée suivant le nombre d'heures d'injection dans le réseau à la capacité maximale. Tout comme en cogénération, les conceptions permettent un fonctionnement pratiquement en permanence. Les graphiques suivants présentent la répartition des unités des différents panels en fonction du nombre d'heures d'injection et de leur indice de productivité.

Indice de productivité en biométhane



Heure d'injection dans le réseau / an



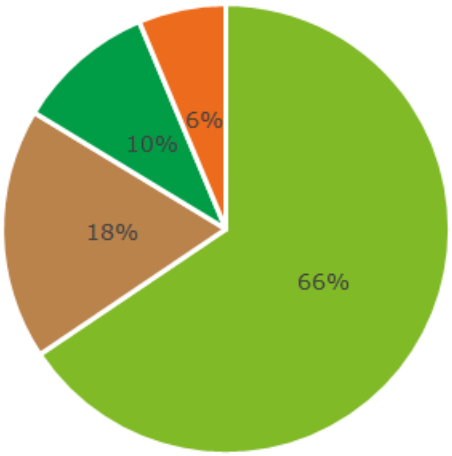
Pour les unités en **injection**, l'indice de productivité vise à comparer la quantité de biométhane injecté avec celle qui le serait dans les conditions optimales. D'après les résultats des enquêtes, **83%** des unités ont un **indice de productivité supérieur à 80%**, ce qui témoigne d'un **fonctionnement régulier à forte charge tout au long de l'année**.

Alimentation

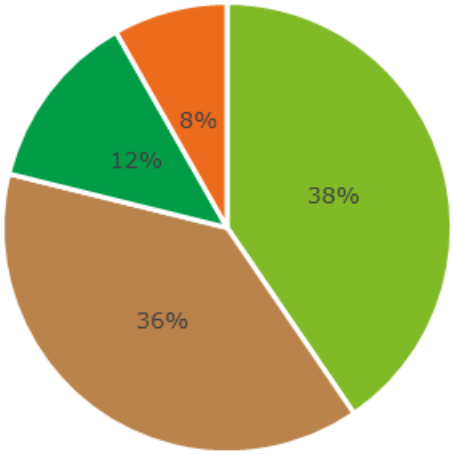
La quantité, les types de substrats, la provenance et les coûts ont fait l'objet d'une attention particulière lors des enquêtes.

Quantité et type de substrats

Ration moyenne des unités en cogénération (en % de t de MB)



Ration moyenne des unités en injection (en % de t de MB)



Effluents d'élevage | CIVE et résidus de culture | Cultures énergétiques | Déchets organiques

Les graphiques ci-dessus présentent la répartition des catégories de substrats dans les rations des unités en cogénération et en injection.
Concernant les types de substrats utilisés, la répartition diffère sensiblement entre les unités en cogénération et celles en injection.

Pour les unités **en cogénération**, en moyenne **66 %** du tonnage brut est constitué par des **effluents d'élevage**. Dans 63% des cas, cette proportion dépasse 60%, ce qui permet de percevoir la totalité de la prime liée à l'utilisation d'effluents d'élevage du tarif d'achat de l'électricité livrée au réseau. Le complément majoritaire en tonnage est à base de Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE) et de résidus de cultures. Les cultures énergétiques ne représentent quant-à-elles que 10% des types de substrats. Pour finir, 6 % de la ration en tonnage brut est composé de déchets organiques. Cette valeur est fortement influencée par une des unités du panel dont la ration repose à 56% sur ce type d'effluent. 63% des unités du panel ne reposent pas sur ce type d'intrants.

Pour les unités **en injection**, la moyenne **d'effluents d'élevage** dans le total de la ration est de **38%**. Ce pourcentage est cependant très hétérogène puisque 2 unités sur les 7 du panel, soit 28%, dépassent le seuil des 60%. Sans prendre en compte ces 2 unités le pourcentage descend à 28%. Le deuxième poste représentant le plus gros pourcentage de la ration est les **CIVE et les résidus de cultures** à hauteur de **36 %** en moyenne, mais il est très dépendant du contexte annuel. Enfin, 8% de la ration est dédié à des déchets organiques.

Provenance des substrats

L'enquête a révélé que les **substrats utilisés** pour la production d'énergie en méthanisation proviennent **très majoritairement des exploitations agricoles porteuses de l'unité de méthanisation**. Sur les unités en cogénération, 7 unités du panel ont une autonomie de ration supérieure à 90%. Sur les unités en injection, 3 unités ont une autonomie de 100% de la ration.

Consommation d'électricité

Une partie de l'électricité consommée par les unités est directement prélevée sur la production pour les unités en cogénération mais une autre partie est directement consommée sur le réseau, la totalité pour les unités en injection. Les enquêtes ont mis en évidence une consommation de **2 à 10% de la production électrique livrée** pour les unités **en cogénération**. D'après certains exploitants, la variation la plus importante de la consommation d'électricité est liée à la qualité des intrants.
Pour les unités **en injection**, le poste le plus consommateur d'électricité est le poste d'injection. La consommation représente en moyenne **9% de la production en kWh PCS** [1] vendus. Dans le contexte actuel, certaines unités ont des projets d'autoconsommation avec des panneaux photovoltaïques ou encore avec l'installation d'un moteur de cogénération pour consommer l'électricité produite.
Les unités en injection disposent d'une production d'électricité et de chaleur. 37% de la chaleur totale produite est valorisée.

Gestion des digestats

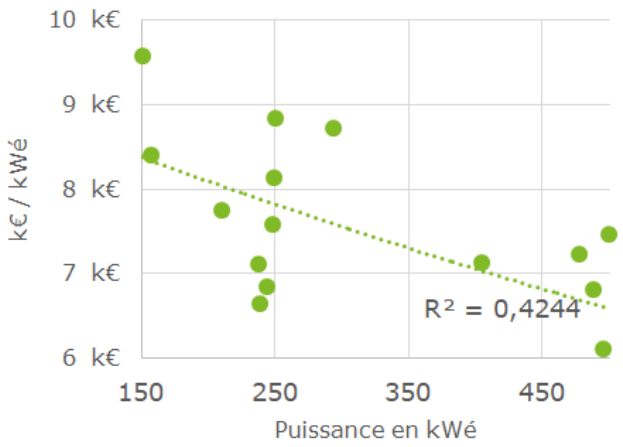
À la suite de la production d'énergie, le digestat obtenu est stocké sur les unités pour être ensuite valorisé.
En **cogénération**, la **capacité de stockage** permet de stocker le digestat liquide pendant en moyenne **6,1 mois**. 44% des unités disposent de plus de 6 mois de stockage.
Pour les unités en **injection**, les unités disposent en moyenne de **5,8 mois** de stockage. 58% de l'ensemble des stockages de digestat liquide sont couverts. Concernant le stockage de digestat solide, la surface disponible sur les unités est de 5,8 mois. Dans 67% des cas ce stockage est couvert. Pour ce qui est du matériel d'épandage, une majorité des unités est équipée au minimum d'une rampe à pendillard pour épandre le digestat liquide (détail dans la partie pratiques agronomiques de cette synthèse).

Résultats économiques

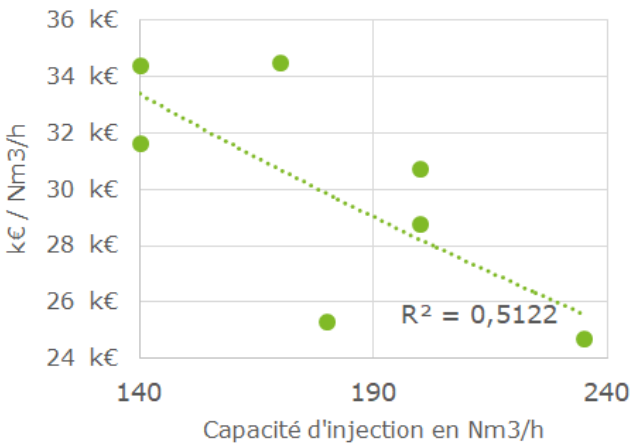
L'investissement économique

En **cogénération**, le montant des investissements est en moyenne de **7 517€/kWé de puissance actuelle**. Dans le panel, 79% des unités ont bénéficié de subventions à l'investissement, soit 15 unités sur 19. Le montant des investissements moyen après déduction des subventions est de 6 228€/kWé. En moyenne, la subvention représente 17% du montant de l'investissement global.

Investissement des unités en cogénération en fonction de la puissance



Investissement des unités en injection en fonction de la capacité d'injection



Pour les unités en **injection**, en moyenne l'installation représente un investissement de **30 014 €/Nm3/h** avec une large fourchette de variation, puisque l'investissement le plus faible est à 24 723 €/Nm3/h et le plus élevé à 34 498 €/Nm3/h. 86% des unités ont bénéficié de subventions à l'investissement. Après déduction des subventions, l'investissement représente en moyenne 25 427 €/Nm3/h.

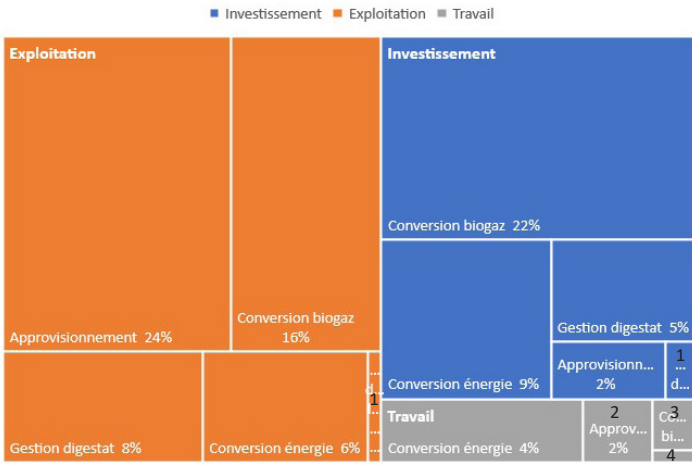
La précision de l'enquête a permis de mettre en lumière les postes pesant le plus lourd dans l'investissement. De fortes variations de cette moyenne sont liées à un effet d'économie d'échelle liée à la puissance de l'unité ou à sa capacité d'injection. La **dégressivité en fonction de la puissance ou de la capacité d'injection** apparait sur les graphiques ci-dessus, présentant le coût de l'investissement en k€/kWé et en k€/Nm3/h en fonction de la puissance et des capacités d'injection des unités. Il existe toutefois de fortes disparités pour les mêmes tailles d'unités.

Coûts de production

Les graphiques ci-dessous présentent la répartition des coûts de production des unités. Les blocs oranges représentent la répartition des coûts liés à l'exploitation de l'unité. Les blocs en bleu correspondent aux annuités liées à l'investissement. Les blocs en gris représentent le coût lié au travail. Pour chacun de ces blocs les coûts sont décomposés en fonction des postes d'approvisionnement, de conversion en biogaz, de conversion en énergie, de gestion du digestat et en valorisation de chaleur (ce dernier pour la cogénération).
(Une description plus détaillée est présentée dans le rapport complet.)

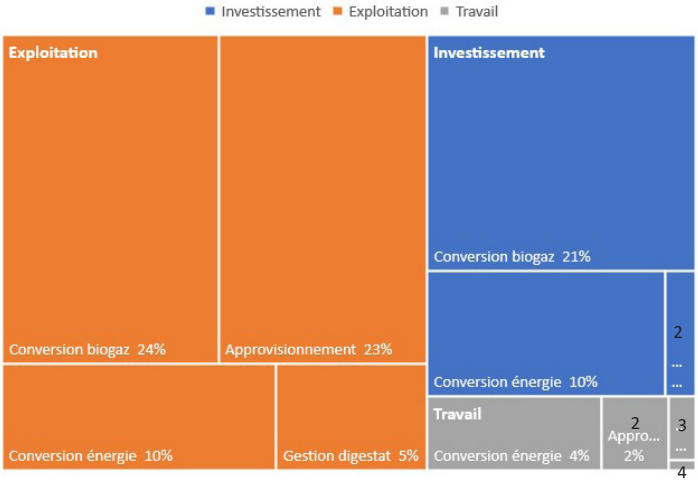
[1] *Pouvoir Calorifique Supérieur, unité de vente du biométhane*

Répartition des coûts de production de l'électricité (cogénération)



1. Valorisation de chaleur 2. Approvisionnement 3. Conversion biogaz

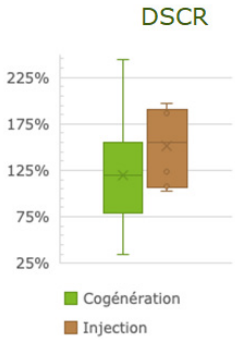
Répartition des coûts de production du biométhane (injection)



4. Gestion du digestat

Recouvrement de la dette

L'enquête a permis de calculer les **Taux de recouvrement de dette** des unités en fonctionnement. Le ratio de 130%, fréquemment imposé par les banques, est dépassé par 39% des unités en cogénération. Le DSCR[1] moyen est de 115%. En injection, le ratio de 130% est dépassé sur plus de 70% des unités. Le DSCR moyen est de 153%.

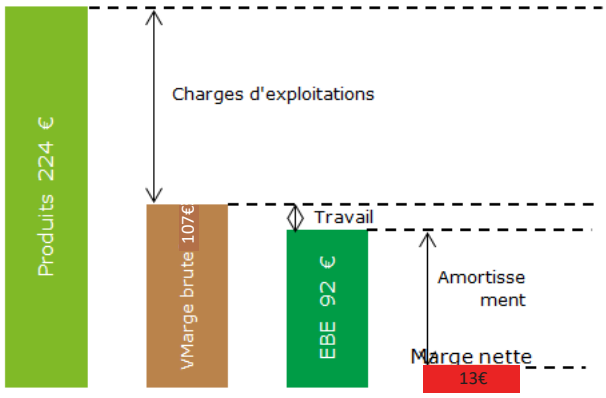


Marge nette standardisée

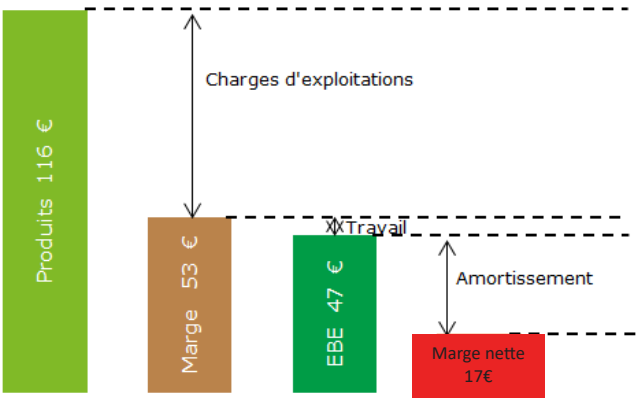
Le calcul de la marge nette, d'après les résultats des enquêtes en €/ MWh et en prenant en compte les gains connexes à la vente d'électricité, est de **13 € par MWh livré** pour les unités en **cogénération**.
Les graphiques ci-dessous présentent la décomposition des marges nettes obtenues. Pour 31% des unités, cette marge est négative. La marge nette en comptant uniquement les produits liés à la vente d'électricité est quant à elle de 0 €. La marge croit en fonction de la puissance des unités. Cette évolution des marges en fonction de la puissance n'est pas due à une augmentation des produits de vente d'énergie ou de gains connexes mais plutôt à une dilution du coût des charges au MWh.

Sur les unités en **injection**, les totalités des marges calculées sont positives. La marge moyenne des unités est de **17 €/ MWh PCS vendus**. La vente d'énergie en tant que seul produit est largement prédominante par rapport aux gains connexes. En comptant la vente d'énergie comme le seul produit la marge est de 16 €/MWh PCS vendus.

Résultats économiques cogénération en € / MWh



Résultats économiques injection en € / MWh PCS



Le Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Le TRI des projets a été calculé d'après les résultats de l'enquête.
En **cogénération**, le TRI est en moyenne de **7 %** (**9%** pour les unités en **injection**). La médiane du TRI des unités en cogénération est de 6 %, (10% pour les unités en injection). En cogénération, 50% des unités ont des TRI compris entre 3 et 10%. En injection, 50% des unités ont des TRI compris entre 5 et 11%.

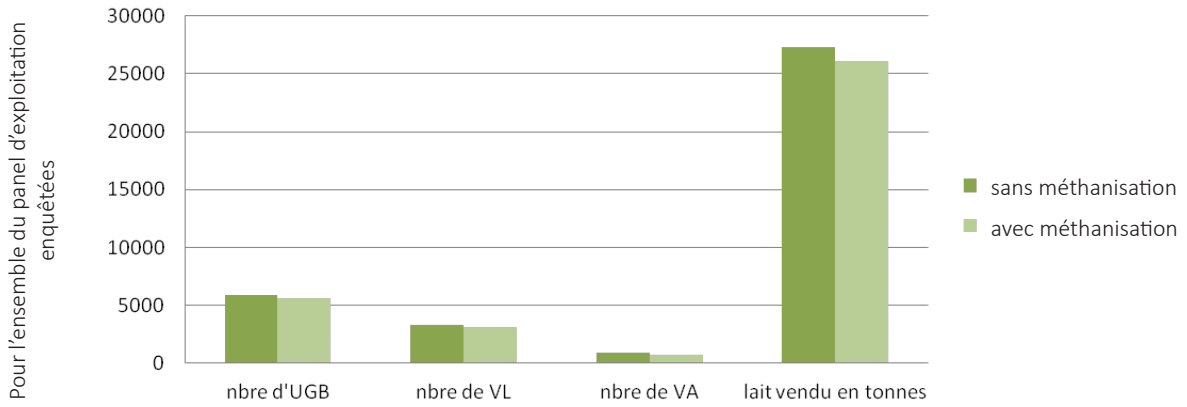
Différentes simulations de hausses de charges (électricités et substrats), de diminution de subvention ou de prix de rachat ont été effectuées pour évaluer la rentabilité des projets en fonction des évolutions constatées et prévues. Le rapport complet où ces résultats sont présentés est disponible sur le site de la Chambre d'agriculture du Grand Est.

[1] *Rapport entre l'excédent brut d'exploitation et le service de la dette. Il permet d'évaluer la capacité d'une entreprise à générer suffisamment d'EBE pour couvrir les annuités.*

Synthèse des approches technico-économiques sur des exploitations agricoles du Grand-Est liées à un méthaniseur

Dans le cadre du programme ACSE 2020-2022, le réseau des Chambres d'agriculture a enquêté sur la région Grand Est 62 exploitations agricoles liées à des méthaniseurs du panel PRODIGE. Ces exploitations ont ouverts leurs portes pour l'étude, afin de mesurer les externalités positives ou négatives de la méthanisation sur leurs activités. La comptabilité de 37 d'entres elles a été analysée pour mesurer les évolutions liées aux méthaniseurs et réaliser des simulations économiques pour avoir une vision de ce qu'aurait été ces mêmes exploitations sans la méthanisation. Les résultats économiques présentés correspondent aux résultats des exploitations agricoles, les chiffres propres aux unités de méthanisation étant déjà présentés dans dans la première partie de cette synthèse.

1. Evolution des productions animales



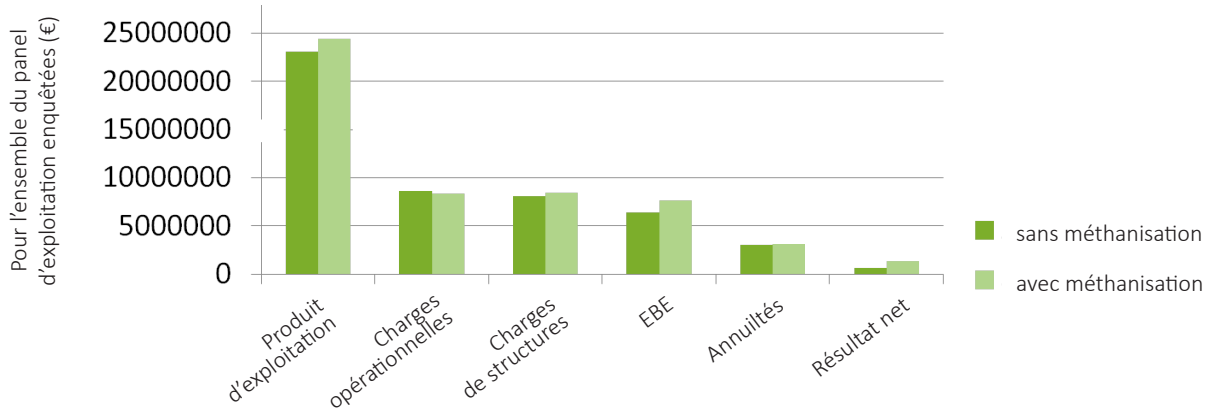
Sur l'ensemble du panel on note une baisse de la production laitière de 12 % avec l'arrivée de la méthanisation. L'effectif de vaches laitières (VL) baisse quant-à-lui de 7%. 3 exploitations agricoles sur 37 ont fait le choix de supprimer la production laitière. D'un autre coté, 2 exploitations ont augmenté leur production laitière mais dans une moindre mesure. Notons qu'une exploitation a diminué d'environ un quart sa production laitière lors de son passage en agriculture biologique.

Dans ce cas précis, la méthanisation aura empêché une plus forte baisse de cette production grâce notamment à l'utilisation du digestat à la place des engrais de synthèse dans le système bio.

Dans le panel étudié, les troupeaux allaitants représentent un quart de l'effectif de vaches laitières. 3 exploitations sur 17 ont supprimé cet atelier. L'effectif global diminue de 12 %.
Les ateliers d'engraissements sont plutôt maintenus avec seulement un arrêt de production de taurillons.

En comparant ces données à celles collectées lors du programme ACSE 2017-2019, une baisse globale des effectifs de 5% sur 3 ans est constatée, alors que pour le précédent suivi, une hausse de 5% sur 5 années était observée.
Par ailleurs et hors cadre méthanisation, ces dernières années, les aléas climatiques ont poussé les agriculteurs à décapitaliser leur cheptel et reconstituer leur stock de fourrages ; ce qui fait que globalement les effectifs bovins ont diminué en Grand Est.

2. Evolution des résultats économiques



Le **produit d'exploitation a progressé de 6 %**, soit une augmentation moyenne d'environ 130 €/ha. Plusieurs raisons expliquent cette progression.
La première, est une meilleure valorisation des productions végétales avec l'introduction de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) et le remplacement de cultures céréalières et oléagineuses par des surfaces fourragères bien valorisées en méthanisation. Certains ateliers de productions animales ont aussi progressé et une exploitation agricole s'est convertie en agriculture biologique.
Globalement, on peut dire que les changements de système ont fait mieux que compenser la baisse de production animale.
Les **charges opérationnelles diminuent très légèrement** (-3,4%). Cela s'explique en partie par la baisse des UGB qui entraine une baisse des charges pour les aliments et autres frais d'élevage. Le remplacement des cultures céréalières par des cultures fourragères permet également de diminuer le nombre d'intervention, dont l'épandage de produits phytosanitaires et celui d'engrais azoté. L'utilisation du digestat permet également des économies d'engrais mais les pratiques sont très hétérogènes en fonction des exploitations. D'un autre côté, l'implantation de CIVE crée quant-à-elle de nouvelles charges.

Les **charges de structures progressent de 4,7 %** avec la méthanisation. L'implantation de CIVE, l'épandage de digestat (pour les installations collectives) et la livraison des effluents entrainent une augmentation de l'utilisation du matériel et du carburant. Dans l'ensemble, il y a également plus de transports sur les cultures fourragères que sur les cultures céréalières. Souvent l'épandage de digestat demande un réinvestissement dans une tonne à lisier équipée de pendillards ou d'enfouisseurs ainsi que du matériel de traction. D'un autre côté, la méthanisation permet d'éviter des travaux parfois lourds de mise aux normes. En synthèse, cette partie progresse mais peut-être moins que s'il n'y avait pas de méthanisation.

Globalement, il est donc observé une meilleure rentabilité avec la méthanisation qui se confirme avec une **progression de 19 % de l'EBE en moyenne**.
Les **annuités ont progressé de 4,4 %** et permettent de mesurer l'impact de l'investissement lié à la méthanisation.

Tout cela se traduit par une **augmentation distincte du résultat net ou plutôt de la capacité d'autofinancement** avec une progression de 129 % avec l'arrivée de la méthanisation.
Il est intéressant de noter que sur 37 exploitations, 9 avaient un résultat négatif sans la méthanisation.
Sur les 9 exploitations, 7 sont repassées en positif et 2 ont largement réduit leur déficit.

3. La main d'œuvre

Au sein des 37 exploitations du panel, la **main d'œuvre passe de 125 ETP à 128 ETP** avec l'arrivée de la méthanisation et des différents changements d'ateliers. Si l'évolution est globalement sans impact, il convient de préciser que les calendriers peuvent être très bousculés par rapport à la situation initiale. Le raclage ou vidage des effluents peuvent être plus resserrés. Le transport de ces effluents dans le cadre d'une méthanisation collective, les épandages de digestat et les périodes de récoltes d'ensilages sont autant d'éléments qui peuvent amener à réorganiser la main d'œuvre.

4. En conclusion

L'intégration de la méthanisation n'a, **en général, que peu d'impact sur les schémas de fonctionnement** sauf dans le cas de grosses reconversions comme l'arrêt ou la création d'un atelier ou le passage en agriculture biologique. Dans ces derniers cas, la méthanisation aura servi de levier, ou de compensation d'un processus déjà initié ou envisagé. Pour autant, la méthanisation permet globalement d'améliorer de manière significative la gestion des effluents d'élevage ainsi que les résultats technico-économiques des exploitations concernées.
Les résultats observés dans cette enquête nous permettent également de voir que malgré l'intégration de la méthanisation, le potentiel nourricier est largement préservé.
Dans le cadre de cette enquête, il apparait qu'un besoin de mise aux normes, une volonté de changement, un mouvement de personnel et/ou des besoins de diversification ont poussé les agriculteurs à initier leur projet.
Les données remontées dans ce programme ACSE 2020-2022 confirment en grande partie la tendance observée dans le précédent programme.

Pratiques agronomiques liées à l'épandage de digestat

La mise en place d'un méthaniseur au sein d'une exploitation ou d'un groupe d'exploitations implique de nombreux changements dans l'organisation des exploitations et par conséquent dans le conseil qui est associé. Pour identifier ces changements, un observatoire a été mis en place sur le panel des 62 exploitations associées aux 30 méthaniseurs présentés dans les parties précédentes de cette synthèse. Une enquête de pratiques a ainsi été réalisée sur plusieurs années afin d'identifier les changements (rotation, assolement, fertilisation, …) liés à la mise en service de la méthanisation. Une attention particulière a été portée à la gestion des digestats afin d'identifier les cultures réceptrices, les périodes d'apport ainsi que le matériel utilisé pour l'épandage.
En parallèle, plus d'une centaine d'analyses de digestat ont été réalisées afin de compléter les références régionales et d'améliorer la valorisation agronomique de ces produits.

12 T/HA

Dose moyenne de digestat solide épandue

24M³ /HA

Dose moyenne de digestat liquide épandue

78%

Part des épandages réalisés avec pendillards ou injecteurs / enfouisseurs
→ Limite les pertes ammoniacales

- 4,5%

Baisse de la surface en maïs ensilage

- 20 KG N / HA

Dose d'azote minéral sur maïs soit 117 kg éq. CO_2 économisés par hectare

ques en lien avec la méthanisation

45%

Part des épandages réalisés avec un contrôle de la dose apportée (DPAE ou pesée)

+ 3,4%

Augmentation de la SAU des fermes

- 32 KG N /HA

Dose d'azote minéral sur blé soit 185 kg éq. CO_2 économisé par hectare

+ 16 JOURS

Nombre de jours/an où le sol est couvert

+ 1

Légumineuse dans la rotation en moyenne

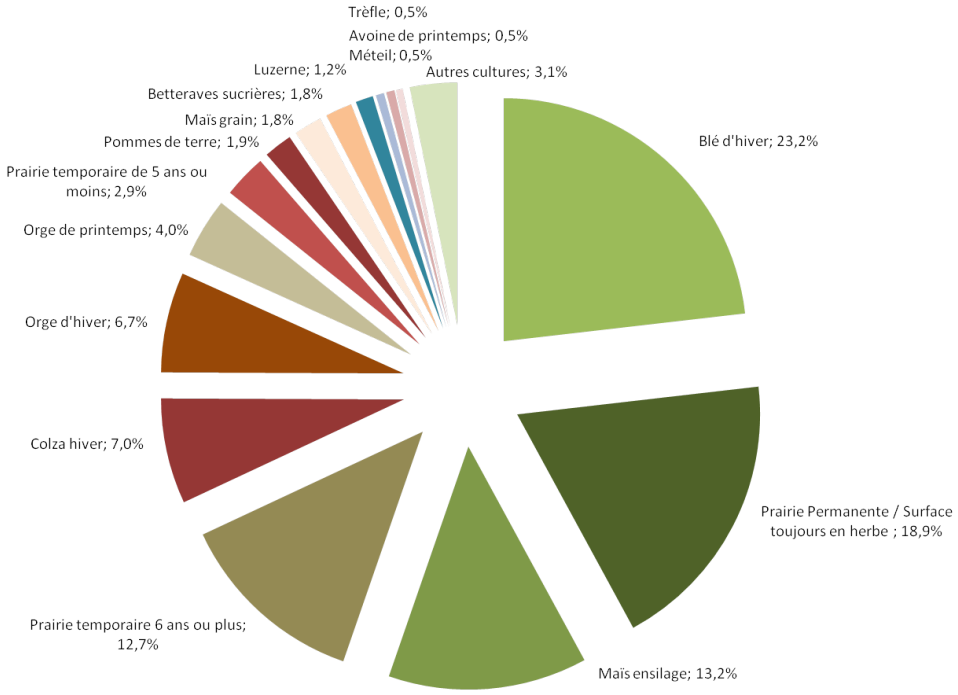
+ 25%

Nombre de cultures dans la rotation

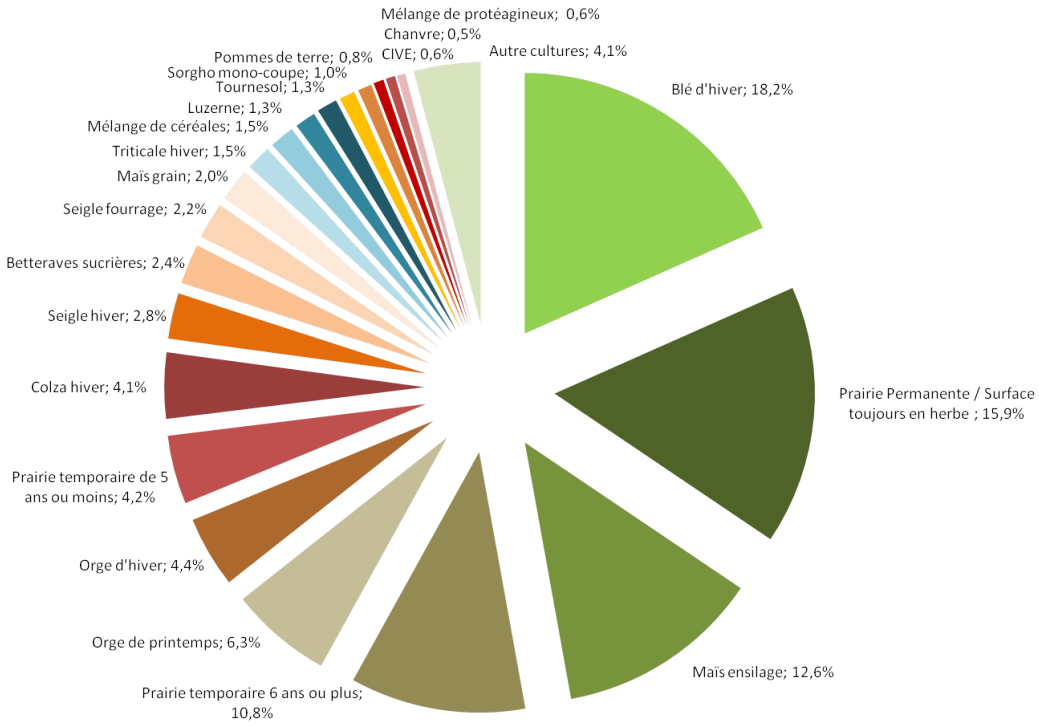
Une diversification de l'assolement

La **SAU des fermes suivies augmente** légèrement (+3,4%). Cette augmentation est comparable à l'augmentation moyenne des exploitations de la région. On constate une baisse de 3,1% de la part de prairies permanentes dans l'assolement, expliqué au 2/3 par des modifications parcellaires (échanges, ventes de parcelles) et 1/3 par un changement d'affectation des surfaces. La part des prairies temporaires reste stable. La **part de surfaces fourragères dans l'assolement augmente de 5,5 %**, avec une diversification de l'assolement et sans augmentation de la part de maïs ensilage. On observe notamment plus de surfaces fourragères récoltées en immature (par exemple des seigles fourragers, des méteils).

Assolement moyen avant la mise en place de la méthanisation (en % de la SAU)



Assolement moyen après la mise en place de la méthanisation (en % de la SAU)

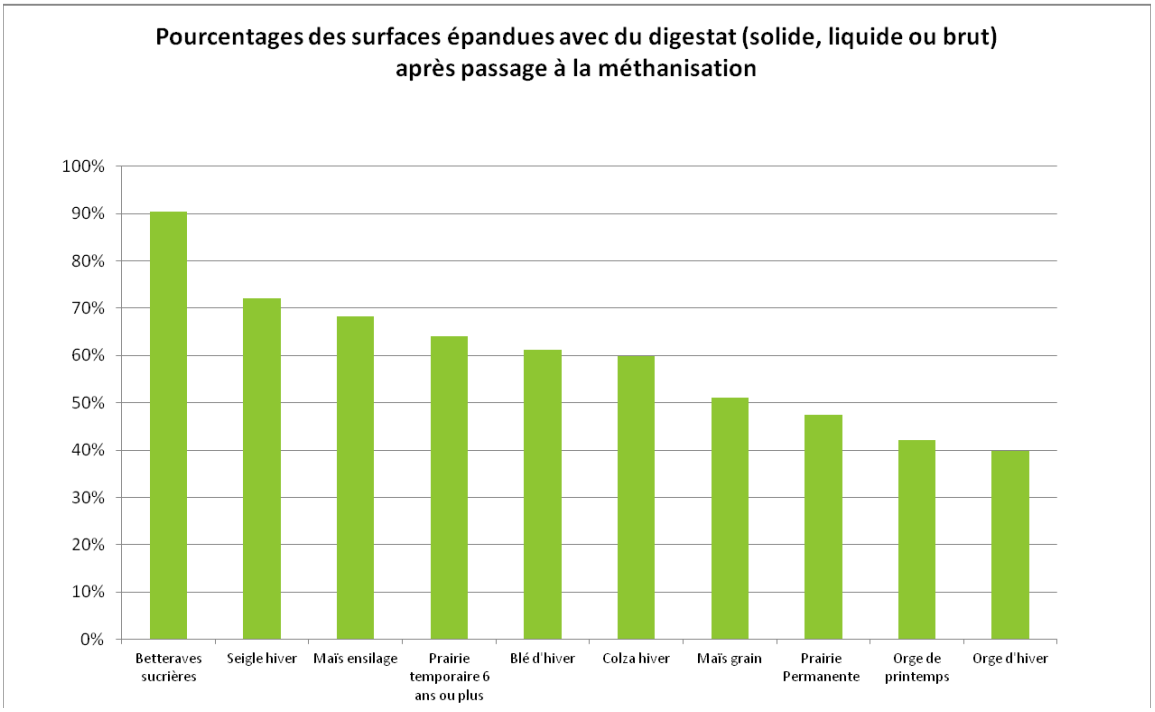


La **part de légumineuses dans l'assolement reste stable** avec un nombre d'espèces cultivées qui augmente légèrement avec l'apparition par exemple, du soja et de la lentille dans la liste des cultures. Par ailleurs, la **diversité des cultures augmente au sein des rotations (+25%). La part de cultures de vente dans l'assolement diminue** (blé, orge hiver, colza) mais avec plus de diversité de cultures avec une part de cultures de printemps et d'été qui augmente (tournesol, orge de printemps…). A noter également cette diversification d'assolement conduit à une baisse de la pression phytosanitaire, limitant le recours aux produits phytosanitaires.

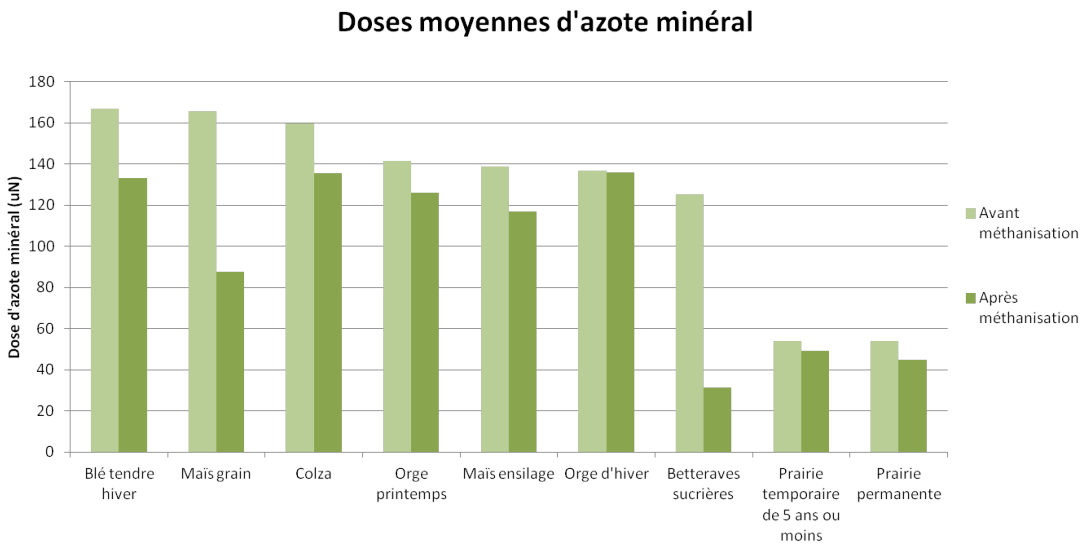
Ces changements ont des conséquences sur la **couverture du sol qui est améliorée** : 16 jours de plus par an. Le développement des doubles cultures qui consiste à récolter un mélange ou une céréale en immature courant avril avant de semer la culture principale dans la foulée contribue à diminuer la période où les sols sont nus.

Des effets sur la fertilisation

L'utilisation du digestat comme fertilisant se développe de manière très variable selon les exploitations et les cultures.



Les digestats sont majoritairement **épandus sur des cultures qui valorisent globalement bien l'azote** qu'ils contiennent. Plus de 40% des surfaces des principales cultures de l'assolement moyen (blé, prairie temporaires, maïs, prairies permanentes, et orge d'hiver et de printemps) sont fertilisées avec du digestat. Les cultures plus spécifiquement rattachées à certains territoires de la région (betteraves, colza et maïs grain) profitent elles aussi d'apports de digestats sur plus de 50% de leurs surfaces respectives (jusqu'à 90% pour les betteraves). Toutefois ces données doivent être consolidées car les surfaces enquêtées pour ces cultures ne sont pas aussi importantes que celles des cultures principales.



L'utilisation de digestat sur des cultures qui valorisent bien l'azote apportée lors de ces épandages permet de **réduire la quantité d'azote minéral apporté**. La diminution de la dose est particulièrement marquée sur le maïs grain et les betteraves, toutefois ces cultures ne sont pas présentes partout dans la région.

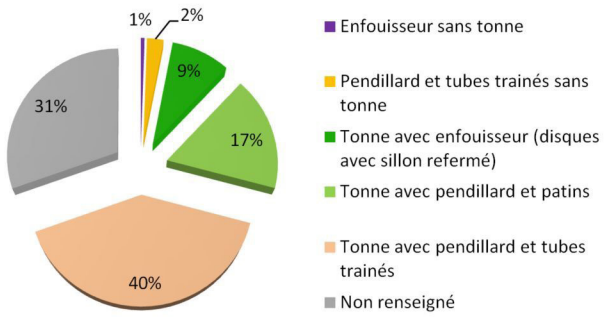
Si l'on pondère les doses d'azote apportées sur blé, culture présente dans (presque) toutes les exploitations, par rapport aux surfaces cultivées en blé au sein des exploitations enquêtées, l'économie d'azote est équivalente à 5666 big bags de 600 kg d'ammonitrate, soit une réduction des émissions en équivalent CO_2 de 19 920 t.

Le digestat est un produit avec lequel la plupart des exploitants n'ont pas une longue expérience (comparativement aux autres Produits Résiduaires Organiques), mais nous constatons que l'introduction du digestat permet de passer à un système valorisant plus de matières organiques. Une meilleure appropriation de ces produits, en lien l'expérience acquise permettra d'améliorer l'efficacité agronomique des digestats en optimisant les apports par rapport au stade/besoins de la culture, au type de sol et au précédent notamment.

Les pratiques d'épandages

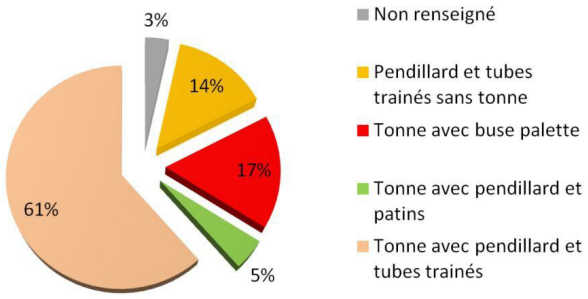
L'épandage des digestats (comme des autres produits organiques et minéraux) est susceptible de provoquer des fuites dans l'environnement en particulier sous la forme d'ammoniac par volatilisation d'une partie de l'azote. Pour les **formes « fluides »** (digestat **brut** et **phase liquide** en séparation de phases) la majorité des épandages se fait à l'aide d'une **rampe à pendillards ou en injection/enfouissement** (graphique 1 et 2). Ces deux techniques permettent de réduire les émissions d'ammoniac lors de l'épandage. La dose moyenne épandue est de **24 m³/ha** pour le **liquide** et de **21 m³/ha** pour le **brut**.
La buse palette (technique générant le plus de volatilisation) n'est utilisée que sur certains épandages de digestat brut (en raison de sa teneur en matière sèche plus élevée). Par ailleurs, l'utilisation de la buse palette se fait essentiellement dans des secteurs montagneux où la pente contraint l'utilisation de rampes. Les apports se font essentiellement en sortie d'hiver et au printemps (78% des épandages du digestat brut et 81 % pour les digestats liquides sur cette période) sur les prairies (temporaires et permanentes), blé et maïs.

1. Techniques d'épandage - digestats liquides



Données exprimées en pourcentage des surfaces épandues

2. Techniques d'épandage - digestats bruts



Données exprimées en pourcentage des surfaces épandues

Concernant l'épandage des **formes « solides » de digestat** la dose moyenne appliquée est de **12 t/ha/an**. La répartition des apports est différente des formes plus fluides (environ 30% en sortie hiver, 30% en été, 20% en automne et 20% au printemps), ce sont principalement les **cultures de printemps et le colza** qui sont concernées. Les épandages se font avant semis (ou juste après) et dans 45 % des cas un contrôle de la quantité appliquée à l'aide d'un système de **DPAE** (débit proportionnel à l'avancement) ou de pesée embarquée est effectué.

Lors de l'épandage des digestats, il existe un risque non négligeable de provoquer un tassement du sol en raison de la masse des matériels utilisés. Ce phénomène peut être accentué lorsque les conditions d'humidité et la nature du sol augmentent la vulnérabilité de ce dernier à la compaction. Pour réduire la masse des engins il est possible d'avoir recours à un système sans tonne : le digestat est transféré vers l'appareil d'épandage porté par le tracteur via un tuyau relié directement soit à l'unité de méthanisation soit à un réservoir mobile situé en bord de champ.

Mieux connaître les digestats pour optimiser leur utilisation

Les **caractéristiques agronomiques** des digestats sont fortement **dépendantes de la composition de la ration du méthaniseur**. La disponibilité des matières premières peut varier au cours de l'année, en particulier lorsque le méthaniseur est alimenté (même partiellement) par des produits externes (résidus agro-alimentaires ou agro-industriels, déchets verts, ...). Le suivi régulier, à l'aide d'analyses, permet de connaître les caractéristique du produit à épandre, et d'optimiser la dose et la période d'apport en fonction des besoins des cultures.

Quelques chiffres sur les apports de digestat

Doses appliquées et teneurs issues des moyennes **pour le Grand Est** ! *Résultats exprimés en unités ou kg par hectare.*

550 kg de C organique

100 uN d'azote

Dont **30** uN de N-NH_4

110 kg de potassium

20 kg de soufre

50 kg de phosphore

63 uN d'azote

Dont **5** uN de N-NH_4

2 380 kg de C organique

12 t de digestat solide c'est **28,5 m³** de matière !

34 kg de soufre

48 kg de phosphore

69 kg de potassium

110 uN d'azote

Dont **40** uN de N-NH4

40 kg de phosphore

505 kg de C organique

130 kg de potassium

30 kg de soufre

Retour au sol du digestat : points de vigilance techniques

Les effets de l'apport de digestats sur le fonctionnement biologique et les matières organiques des sols sont souvent mis en cause. Dans le cadre du programme ACSE 2020-2022, des mesures ont été réalisées dans des parcelles dont une zone ne reçoit pas de digestat. Quelques résultats sont présentés ici ainsi que des rappels pour bien valoriser les digestats et ne pas pénaliser les sols.

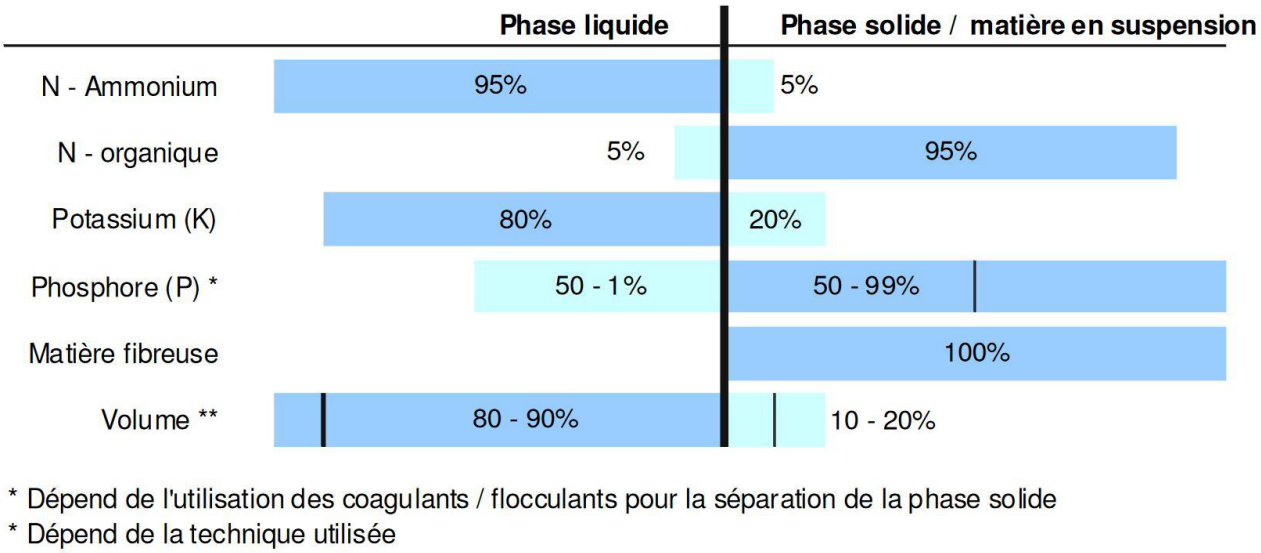
Du fait de la diversité des exploitations agricoles de la région, les intrants disponibles pour alimenter les méthaniseurs sont aussi très variés. Les effluents d'élevage sont fortement représentés. On retrouve aussi des résidus de l'agro-industrie (pulpes de betteraves, de pommes de terre) là où l'élevage est plus rare. Ces intrants majoritaires sont complétés par de nombreux autres produits : déchets verts, biodéchets, CIVE, résidus de laiterie, maïs ensilé…

La composition de la ration d'entrée va avoir une forte influence sur les caractéristiques agronomiques du digestat résultant du processus de méthanisation. Le processus transforme une partie du carbone, récupéré sous forme de méthane, mais les autres éléments (N, P, K, Mg, S …) ne sont pas affectés par le processus. Ils se retrouvent donc dans le digestat en sortie d'unité et peuvent être valorisés comme fertilisants.

L'INRAE et l'AAMF (Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France) ont développé un outil en ligne, Concept-Dig, permettant de simuler les caractéristiques agronomiques des digestats à partir de la ration d'entrée du méthaniseur. L'outil est accessible via ce lien : https://shiny.biosp.inrae.fr/app/concept-dig.

Dans un souci d'optimisation des volumes de digestat, certaines unités sont équipées d'un **système de séparation du digestat** permettant de récupérer un produit liquide d'une part et la matière solide d'autre part. La séparation impacte profondément les **caractéristiques agronomiques des digestats** et leur **valorisation**.

Lors de ce processus, les éléments se répartissent de la manière suivante entre les deux phases :



Source : Etat de l'art des méthodes pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne. EREP SA, EAWAG, 2009

Ces données doivent être consolidées avec des analyses plus récentes. Dans toutes les situations, **une analyse des deux phases du digestat est recommandée pour optimiser sa valorisation**.

D'une manière générale, on peut considérer que la séparation aboutit à deux produits bien différenciés :

- Le **digestat solide**, à utiliser comme **amendement**,
- Le **digestat liquide** à utiliser comme un **engrais**.

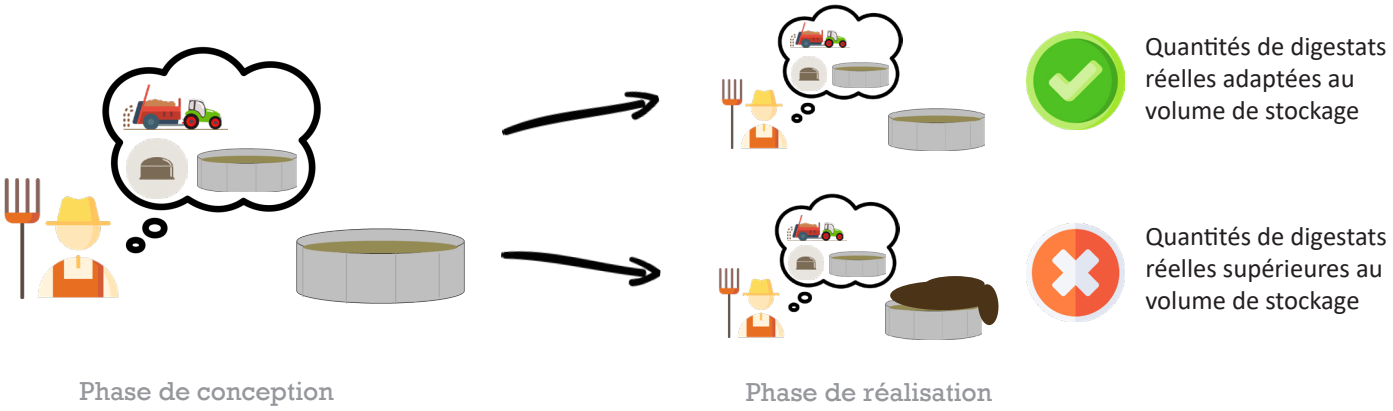
Eléments fertilisants : bien utiliser son plan d'épandage

Interêt de la valeur fertilisante des digestats :

- L'**azote** des digestats doit être pris en compte dans le plan de fertilisation azotée.
- Le **digestat brut** est **basique** et contient de **l'azote minéral** (souvent 50 à 65% NH4+) et son **C/N** est **bas**.
- La valeur fertilisante des digestats en **N-P-K-Ca-Mg-S** représente une **belle valeur économique**.
- Le **plan d'épandage** permet, outre l'aspect réglementaire, de **bien valoriser cette ressource**.

Dimensionnement du stockage :

Bien évaluer le **volume de stockage du digestat** pour pouvoir épandre au bon moment (comme pour du fumier ou du lisier!) est essentiel. Le volume initial (ou prévu) doit être cohérent avec les dimensions du méthaniseur, l'approvisionnement et le plan d'épandage.

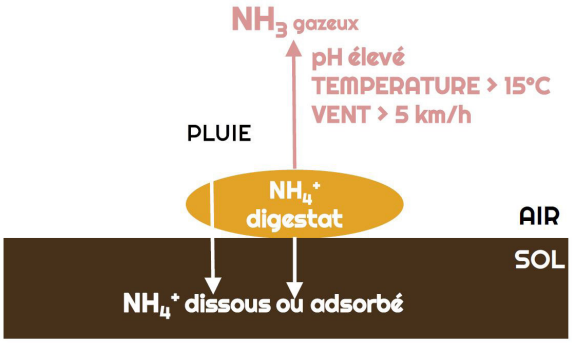


Il prend en compte les surfaces, les doses, et la période d'épandage en fonction des aptitudes des sols.
Le digestat = 1/3 du volume du substrat de départ en plus liquide.
Choisir la bonne dose : 15 à 35 m³ selon la texture du sol et selon la teneur en éléments fertilisants du digestat. Les sols argileux peuvent recevoir davantage que les sols sableux drainants.

Le cahier des charges des Organismes Indépendants (OI) pour prendre en compte l'aptitude des sols est disponible en ligne : https://bit.ly/epandage-dechets.
Attention aux sols très filtrants ou engorgés/hydromorphes.

Limiter la volatilisation au printemps et en été et le lessivage en hiver :

Digestat brut
NH4+ = 50 à 65% du Ntot



Pour limiter la volatilisation ammoniacale, il est recommandé d'épandre. dans de bonnes conditions (prise en compte de la météo, matériel adéquat...) ou enfouir sous 4h.

Buse palette :
Pertes potentielles de 90% de N-NH_3

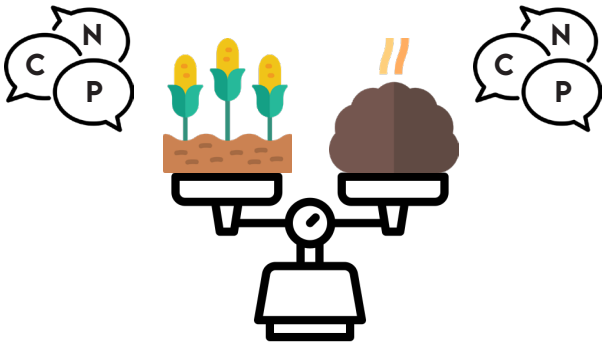
Enfouisseur :
Pertes potentielles de 10% de N-NH_3

Pendillard :
Pertes potentielles de 30% de N-NH_3

Des traitements existent pour limiter les pertes ammoniacales des lisiers et des digestats à l'aide d'additifs de compositions minérales ou organo-minérales : bentonite, calcite, mélanges microbiens actifs ou passifs.

Compenser les exportations de biomasse par des apports de matières organiques (digestat ou autres)

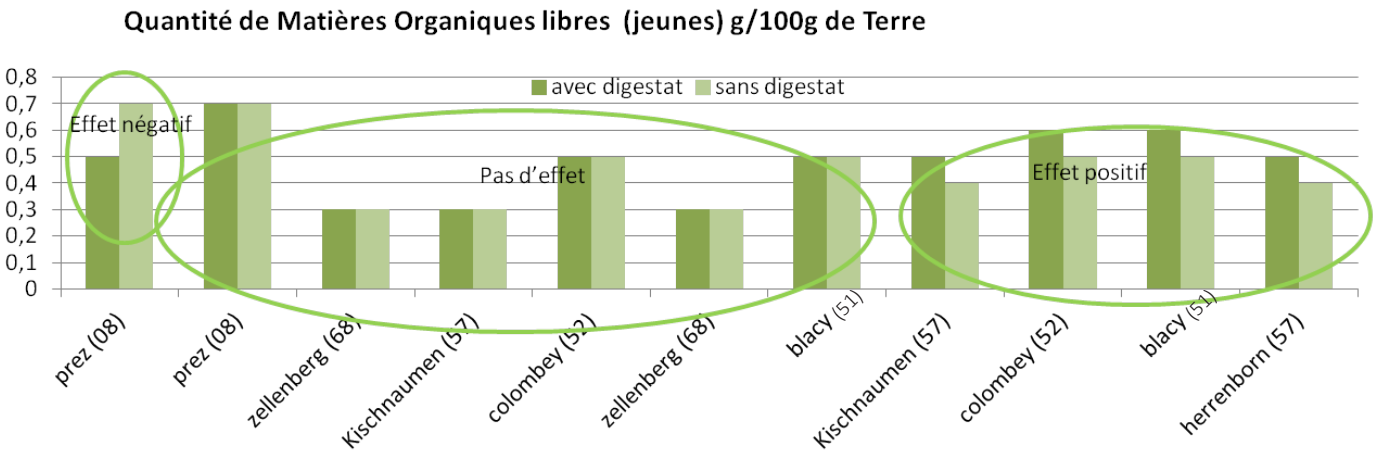
Comme pour les exportations de paille et le retour de fumier, **l'exportation de la biomasse** à destination d'un méthaniseur, qui contient des **éléments nutritifs** et du **carbone**, doit être **compensée par des apports**, soit de digestats soit d'autres produits organiques.

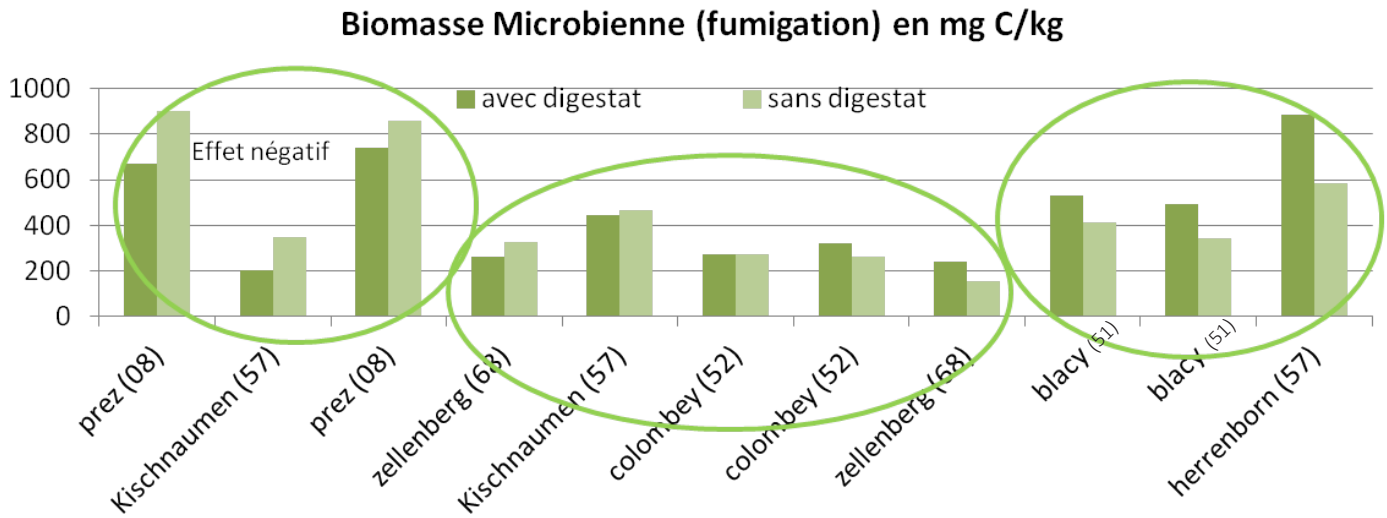


Les rendements de CIVE varient selon le climat de l'année, le type de sol, les pratiques… Ces rendements peuvent être donc différents de la référence prise initialement. Il est recommandé de suivre les quantités de biomasse exportées pour estimer le besoin de retour au sol.

Effet du digestat sur les matières organiques du sol

La **comparaison** d'une quinzaine de **parcelles en cultures et en prairie avec et sans digestat** a montré un **effet très variable du digestat** après plus de 5 ans d'apports.
En cultures, la zone avec digestat contient plus ou moins de matière organique, de microorganismes, d'activité de ces organismes, par rapport à la zone sans digestat.





Aucun impact net du digestat n'est visible sur la fertilité organo-biologique au champ, probablement en raison de toutes les autres pratiques sur les parcelles. En prairie, la teneur en MO totale a tendance à augmenter dans la zone avec digestat, au profit de la fraction « libre ».

Pour pallier la variabilité intraparcellaire (visible sur le graphique), il est nécessaire de répéter les mesures avant de conclure.

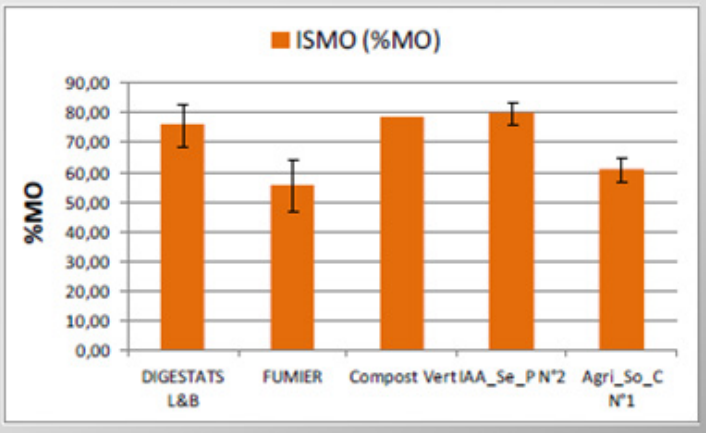
Répartir les apports sur plusieurs parcelles

Le plan d'épandage doit **optimiser l'utilisation de la valeur fertilisante en fonction des cultures** présentes sur les parcelles et des **contraintes des différents types de digestats**. Les apports doivent être répartis sur différentes parcelles et ne pas être concentrés sur les parcelles les plus proches du méthaniseur.
Le digestat solide est plus facilement transportable que le digestat liquide.

Analyses possibles sur les Produits Résiduaires Organiques

Pour comparer les produits organiques entre eux, il est nécessaire de rapporter les quantités à la tonne de matière sèche.
Pour évaluer les apports à la parcelle, il est conseillé d'utiliser les quantités d'éléments par tonne de matière brute.

- L'**indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO)** permet d'apporter une indication sur la proportion de matière organique du produit initial restant dans le sol un an après l'apport.



Source du graphique : Celesta lab

L&B : Digestat brut
IAA_SE : Digestat brut séché
Agri_So : Digestat solide après séparation de phase

- **L'analyse de digestat** renseigne sur : carbone, taux de MS, quantité et qualité du N, P, K, C/N, S

Rapport d'analyses
DIGESTAT

CHAMBRE RÉGIONALE AGRICULTURE GRAND EST
9 rue de la Vologne - Bâtiment i
54520 LAXOU CEDEX

Informations Client
Exploitation: CRAGE
Type échantillon : Digestat
Référence Commande : IRD_SADEF_2020-008-00_TERQUAAI
Réf. échantillon : SA012.114.1 23/09/2021
Date de prélèvement : 23/09/2021
SADEF est exonérée de toute responsabilité quant à l'exactitude des informations fournies par le client.

Informations Laboratoire
Dossier : LAB21-28726 Numéro Labo. : D-19304-21
Date de réception : 28/09/2021
Date début analyses : 28/09/2021
Date fin analyses : 11/10/2021
Date d'édition : 11/10/2021

Masse Volumique et pF	Résultats (/brut)	Unités	Méthodes
Masse Volumique compactée	1.007	Kg/l	NF EN 13040

Caractérisation Agronomique	Résultats : / sec	/ brut	Unités	Méthodes
Matière Sèche		10.4	%	NF EN 13040
pH eau		8.1	-	NF EN 13037 (Extr.eau 1/5)
Azote Total (N)	69.3	7.18	o/oo	Méthode Kjeldahl méthode interne MA7-77
Azote Ammoniacal (N-NH4)	28.2	2.92	o/oo	NF EN 13652 (Extr.eau 1/5 / frais)
Azote Nitrique (N-NO3)	< 0.01	< 0.01	o/oo	NF EN 13652 (Extr.eau 1/5 / frais)
Azote Organique (N)	41.1	4.27	o/oo	Calcul (N total - N minéral)
Matière Organique par Perte au Feu	358	37.1	o/oo	NF EN 13039
Carbone Organique (C)	179	18.6	o/oo	Calculé à partir de la perte au feu (MO/2)
Rapport C/N	2.6		-	Calcul : C organique / N total
Rapport MO/N	8.7		-	Calcul : Matière organique / N organique
Phosphore (P2O5)	15.3	1.59	o/oo	Méth. interne MOP601 selon NF EN 16174 ; Dos. ICP MS NF EN ISO 17294
Potassium (K2O)	35.5	3.68	o/oo	Méth. interne MOP601 selon NF EN 16174 ; Dos. ICP MS NF EN ISO 17294
Calcium (CaO)	17.4	1.80	o/oo	Méth. interne MOP601 selon NF EN 16174 ; Dos. ICP MS NF EN ISO 17294
Magnésium (MgO)	4.69	0.49	o/oo	Méth. interne MOP601 selon NF EN 16174 ; Dos. ICP MS NF EN ISO 17294
Soufre Total (SO3)	8.5	0.9	o/oo	Méth. interne MOP601 selon NF EN 16174 ; Dos. ICP MS NF EN ISO 17294

Contacts Chambres d'agriculture

Énergie / Valorisation des digestats

PILOTE ENERGIES GRAND EST **Damien L'huillier :** 03.29.29.23.07 - damien.lhuillier@vosges.chambagri.fr

ALSACE
Céline VEIT - 03.88.19.17.08
Responsable d'équipes Energie et Gestion des déchets
celine.veit@alsace.chambagri.fr

Camille DOLINAR - 03.88.19.17.85
Conseillère spécialisée énergies
camille.dolinar@alsace.chambagri.fr

ARDENNES
Claire PIGNON - 03.24.36.64.54
Conseillère PACTE Ardennes
claire.pignon@ardennes.chambagri.fr

AUBE
Audry CROENNE - 03.25.43.72.72
Chargé de mission méthanisation
audry.croenne@aube.chambagri.fr

HAUTE-MARNE
Pauline BONNET - 03.25.35.03.22
Chargée de mission bioénergies
pbonnet@haute-marne.chambagri.fr

MARNE
François LATRU - 03.26.64.08.13
Chargé d'études expert ICPE - Energies - Méthanisation - Environnement
francois.latru@marne.chambagri.fr

Alice BARON - 03.26.64.95.12
Conseillère énergie
alice.baron@marne.chambagri.fr

MEURTHE-ET-MOSELLE
Cosette PEREZ - 03.83.93.34.10
Conseillère spécialisée énergies
Agronomie Environnement
cosette.perez@meurthe-et-moselle.chambagri.fr

Florian BAZIN
Conseiller Agronomie - Environnement
florian.bazin@meurthe-et-moselle.chambagri.fr

MOSELLE
Lise MULTEAU - 03.87.66.12.30
Conseillère énergie
lise.multeau@moselle.chambagri.fr

Nicolas HEMERY - 06.07.03.10.84
Conseillé spécialisé
nicolas.hemery@moselle.chambagri.fr

MEUSE
Sandra BOBAN - 03.29.83.30.58
Conseillère énergie
sandra.boban@meuse.chambagri.fr

Louis-Michel ROUX - 03.29.76.81.28
Conseiller énergie
louis-michel.roux@meuse.chambagri.fr

Jacques-Nicolas KLEIN - 06.79.97.06.71
Conseiller agronome
jacques-nicolas.klein@meuse.chambagri.fr

VOSGES
Damien L'HUILLIER - 03.29.29.23.07
Chargé de mission énergie
damien.lhuillier@vosges.chambagri.fr

Solène DEMANGE - 06.10.65.32.11
Conseillère méthanisation
solene.demange@vosges.chambagri.fr

Sols

ANIMATRICE SOLS GRAND EST **Sophie Maillant :** 06.29.27.26.32 - sophie.maillant@grandest.chambagri.fr

ALSACE
Christophe BARBOT - 06.74.56.45.75
Conseiller spécialisé mission déchets et matières organiques
christophe.barbot@alsace.chambagri.fr

ARDENNES
Nicolas BLASZCZYK - 06.23.38.78.45
Conseiller Sol et DEPHY
nicolas.blaszczyk@ardennes.chambagri.fr

HAUTE-MARNE
Frédéric BERHAUT - 06.14.13.62.97
Conseiller Agriculture Biologiques
fberhaut@haute-marne.chambagri.fr

MARNE
Cassandre GAUDNIK - 06.15.79.74.94
Chargée d'études Recherche et Développement
cassandre.gaudnik@marne.chambagri.fr

Sylvain DUTHOIT - 06.07.36.41.23
Conseiller de développement
sylvain.duthoit@marne.chambagri.fr

MEURTHE-ET-MOSELLE
Frédéric ARNAUD - 06.82.69.83.34
Conseiller Agronomie - Environnement
frederic.arnaud@meurthe-et-moselle.chambagri.fr

MEUSE
Lorine COLIN - 06.72.28.90.97
Conseillère productions végétales
lorine.colin@meuse.chambagri.fr

MOSELLE
Xavier PIQUARD - 06.46.52.33.15
Conseiller Agronomie - Environnement
xavier.piquard@moselle.chambagri.fr

VOSGES
Amélie LAUMOND - 06.88.01.95.45
Conseillère spécialisée
amelie.laumond@vosges.chambagri.fr

GRAND EST
Sophie MAILLANT - 06.29.27.26.32
Chargé de mission sol et agronomie
sophie.maillant@grandest.chambagri.fr