

## Objectifs

L'Action 3 du projet Meth@+.com visait, d'une part, à caractériser la valeur fertilisante des produits issus de la méthanisation et, d'autre part, à analyser la façon dont les flux de matières en amont et en aval des méthaniseurs étaient structurés. Ce second objectif associé à l'Action 3 a été confié à Bordeaux Sciences Agro (coordination par Thomas Nesme), sur la durée du projet. Ce rapport présente les activités menées dans ce cadre.

L'analyse des flux de matières servant de substrats (i.e., à destination des méthaniseurs) ou de digestats (i.e., depuis les méthaniseurs) était motivée par différentes raisons. D'une part, l'identification de ces flux aide à cartographier puis analyser les stratégies d'approvisionnement en substrats et d'écoulement des digestats qui mettent en place les gestionnaires de méthaniseurs. D'autre part, la quantification de ces flux (en termes de masse ou de distance parcourue) permet d'affiner l'évaluation agronomique et environnementale des méthaniseurs, notamment en portant attention (i) à la consommation énergétique et aux émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) associées au transport des substrats et digestats et (ii) aux stratégies de substitution des engrais minéraux par les digestats que mettent en place les agriculteurs.

Le travail sur les flux de matière a été mené en deux activités principales :

- D'une part, un travail bibliographique a été mené pour (i) proposer un cadre d'analyse de la performance environnementale des méthaniseurs qui replace ceux-ci au sein de leur "écosystème" (cf plus bas) et (ii) appliquer ce cadre d'analyse à la diversité des méthaniseurs rencontrée dans la littérature scientifique. Ce travail a été réalisé conjointement par Benjamin Nowak (post-doctorant) et Thomas Nesme.
- D'autre part, un travail d'enquête auprès de quatre méthaniseurs actuellement en fonctionnement en Dordogne afin (i) d'identifier et quantifier les flux de matières à destination et depuis les méthaniseurs, (ii) de cerner les stratégies de différents acteurs concernés dans la gestion de ces flux de matières (gestionnaires de méthaniseurs, fournisseurs divers de substrats, agriculteurs récepteurs de digestats) et (iii) d'évaluer les performances environnementales des méthaniseurs replacés au sein de leur "écosystème". Ce travail a été confié à un groupe de quatre élèves-ingénieurs agronomes de Bordeaux Sciences Agro<sup>1</sup>, sous la responsabilité scientifique et pédagogique de Thomas Nesme.

Ces deux activités sont décrites ci-dessous.

---

<sup>1</sup>La collecte, le traitement et la rédaction des résultats ont été réalisés par Marie Pichon, Nina Pelletier, Vincent Doat et Willian Vieira.

## Analyse bibliographique : proposition d'un cadre d'analyse et application

Comme évoqué ci-dessus, cette activité avait pour objectif de proposer un cadre d'analyse de la performance environnementale des méthaniseurs et d'appliquer celui-ci à une gamme de méthaniseurs. La démarche s'est appuyée sur une revue la plus large possible de la littérature scientifique sur le sujet.

La littérature scientifique au sujet des performances environnementale des méthaniseurs est abondante en ce qui concerne les unités de méthanisation elles-mêmes. Elle est en revanche beaucoup plus lacunaire en ce qui concerne les méthaniseurs pris dans leurs relations avec leur amont (la fourniture de leurs substrats) et leur aval (la gestion de leurs digestats). En effet, lorsque les méthaniseurs sont ainsi replacés dans leur "écosystème", leurs performances globales (par exemple en termes de production énergétique ou d'émission de GES nettes), apparaissent nettement plus instables et variables. Or c'est bien l'ensemble de cet "écosystème" qu'il faut évaluer, notamment si l'on cherche à apprécier le bénéfice environnemental global que peut apporter la méthanisation. Cela est encore plus vrai lorsque la méthanisation s'inscrit dans une démarche collective qui concerne de multiples acteurs (dont des agriculteurs), et qui prend place dans un territoire.

L'analyse a donc cherché à proposer un cadre d'analyse de la performance environnementale globale des méthaniseurs pris dans leur écosystème. Elle a d'abord cherché à représenter les méthaniseurs pris dans leur relation d'échanges de matières (substrats et digestats) avec l'amont et l'aval. Elle a en particulier montré que, si différents types de substrats peuvent être mobilisés, la distance avec laquelle ceux-ci sont récupérés dépend du pouvoir méthanogène de ces substrats. De même, l'analyse a montré que les différents produits de la méthanisation (digestats, électricité ou biogaz et chaleur) avaient des rayons d'échanges différents (Figure 1).

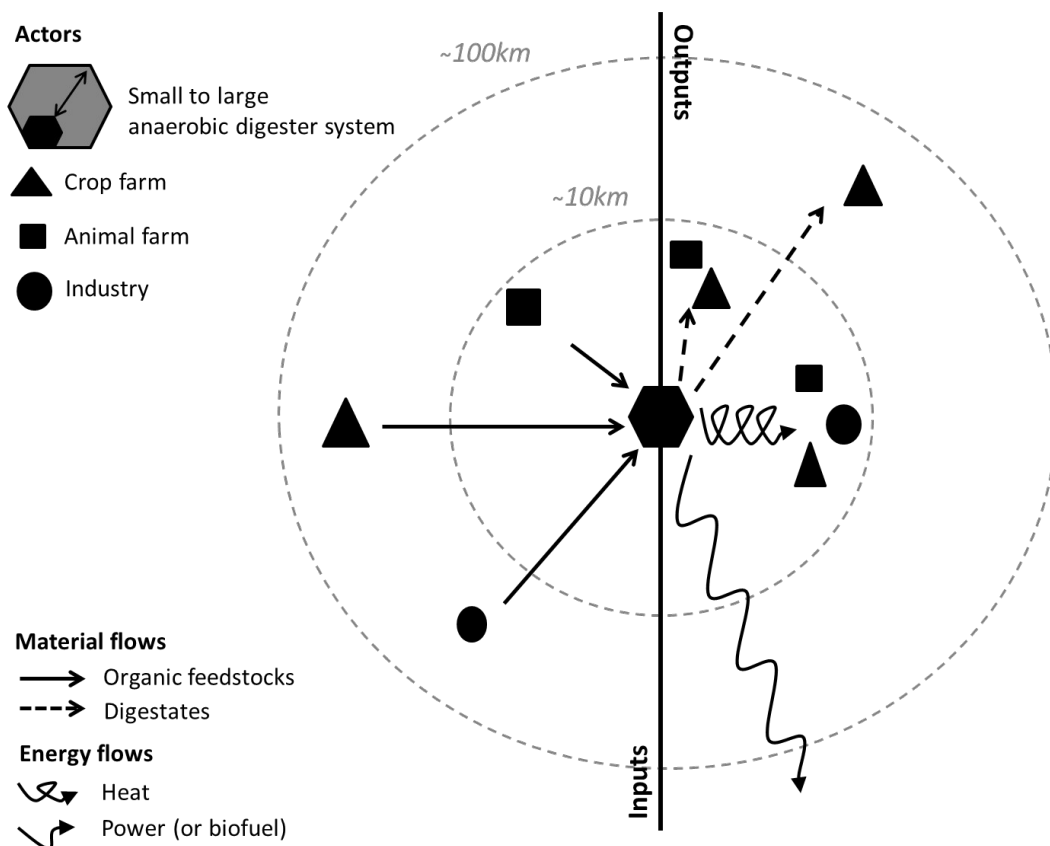


Figure 1 : Représentation type d'un méthaniseur replacé dans son écosystème amont/aval

Ce cadre d'analyse a ensuite été appliqué à la diversité des méthaniseurs rencontrée dans la littérature. En effet, il apparaît que différents types de méthaniseurs collectifs existent et se différencient selon leurs objectifs et leurs stratégies d'approvisionnement en substrats et de gestion de leurs produits. Il est ainsi possible d'organiser cette diversité en trois grandes classes de méthaniseurs replacés dans leur écosystème (Figure 2). On peut ainsi identifier les classes suivantes :

- Des méthaniseurs destinés à atténuer les émissions de GES en s'approvisionnant localement en substrats (notamment auprès de fermes d'élevage, ce qui limite les émissions de CH<sub>4</sub> lors du stockage des effluents d'élevage) et en veillant à substituer des engrais minéraux N par des digestats épandus localement dans des fermes de culture (ce qui limite les émissions de CO<sub>2</sub> associés à la fabrication des engrais N minéraux).
- Des méthaniseurs destinés à produire beaucoup d'énergie, qui cherchent à s'approvisionner, parfois au prix d'importantes distances de transport, en substrats fortement méthanogènes, en particulier auprès d'industries agroalimentaires. En revanche, la valorisation des digestats ne répond pas à une stratégie particulière.
- Des méthaniseurs destinés à exporter des éléments minéraux en excédent dans le territoire. Ceux-ci s'approvisionnent quasi-exclusivement auprès de fermes d'élevage présentant des excédents d'effluents. Ces méthaniseurs valorisent alors la chaleur et/ou l'électricité produite par le méthaniseur pour déshydrater les digestats générés et évacuer ceux-ci –avec les éléments minéraux fertilisants qu'ils contiennent- auprès de fermes de culture localisées à distance.

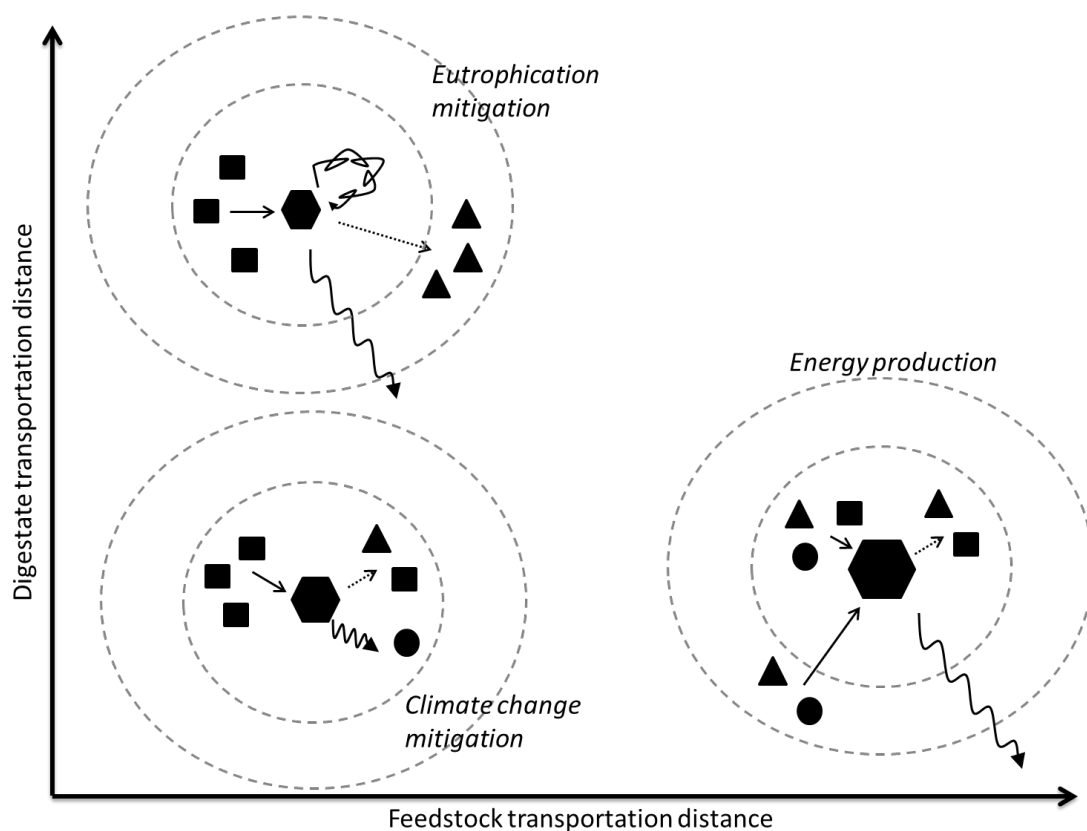


Figure 2 : Classification des méthaniseurs selon la distance de transport de leurs substrats (en abscisse) et de leur digestats (en ordonnées)

L'ensemble de ces résultats a donné lieu à la production d'un manuscrit scientifique qui devrait être soumis à une revue savante (probablement le Journal of Cleaner Production) dans les jours qui viennent.

## **Analyse par enquête des flux de matières associés à quatre méthaniseurs en fonctionnement en Dordogne**

L'objectif de cette activité était d'analyser les flux de matières associés à quatre méthaniseurs collectifs agricoles et ruraux situés en Dordogne. Plus précisément, il s'agissait d'identifier les flux de matières amont et aval des méthaniseurs, d'en analyser la nature, l'intensité, l'origine et le type d'acteur associé et d'évaluer la contribution de ces flux aux bilans environnementaux des méthaniseurs. L'analyse s'est concentrée sur quatre méthaniseurs agricoles actuellement en fonctionnement en Dordogne (d'une puissance allant de 150 à 350 kW).

L'analyse des flux de matières entrant dans les méthaniseurs confirme que ceux-ci valorisent une large diversité de substrats fermentescibles puisque, en moyenne, 9 substrats différents sont utilisés par les méthaniseurs. Au total, 15 substrats différents ont été identifiés, dont 8 d'origine agricole (effluents d'élevage, cultures dédiées et déchets végétaux issus d'entreprise de première transformation), et 7 d'origine agro-industrielle (boues de caves viticoles ou de fromageries, déchets d'abattoirs, graisses alimentaires). Cette diversité de substrats est le reflet de la diversité des productions agricoles rencontrées en Dordogne. Elle se traduit naturellement par une diversité d'acteurs (en moyenne 11) avec lesquels les gestionnaires de méthaniseurs sont en relation, et de motivation pour fournir des substrats.

L'approvisionnement des méthaniseurs se réalise en moyenne dans un rayon de 25 km. Cette moyenne ne doit cependant pas masquer l'existence de stratégies diversifiées d'approvisionnement puisque certains méthaniseurs assurent leur collecte de substrat dans un rayon de 10 km (avec un fort recours aux substrats produits sur la ferme) tandis que d'autres explorent un rayon moyen de 47 km. Cette diversité s'explique notamment par des différences en termes d'acquisition des substrats les plus méthanogènes tels que les graisses alimentaires (Figure 3).

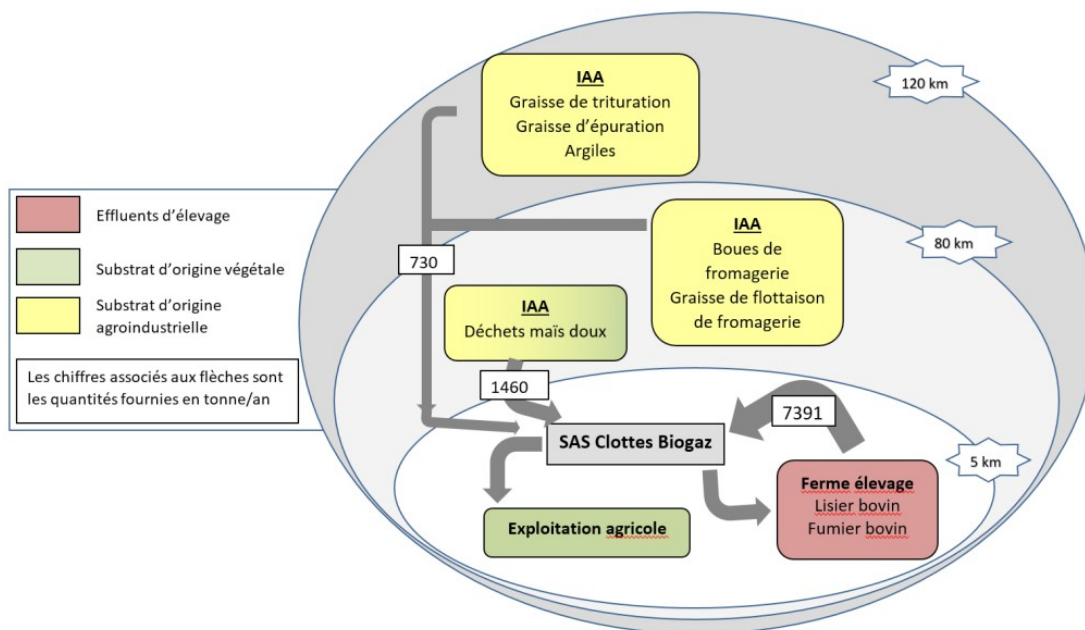


Figure 3 : Flux de matières associés à un méthaniseur visant l'approvisionnement en substrats fortement méthanogènes

L'ensemble des digestats fournis par les méthaniseurs est valorisé sur les sols agricoles, en priorité sur les exploitations qui accueillent les méthaniseurs, plus secondairement sur les exploitations partenaires des méthaniseurs. Pour trois des cas étudiés, le flux de digestat envoyé vers les exploitations agricoles est déterminé sur la base de la valeur fertilisante (en azote et/ou phosphore) des substrats agricoles fournis au méthaniseur (en moyenne de l'ordre de 60 t de N et 12 t de P par an et par méthaniseur). Cette forme de contractualisation aboutit à un degré de bouclage important du cycle de l'azote, comme l'illustre la Figure 4.

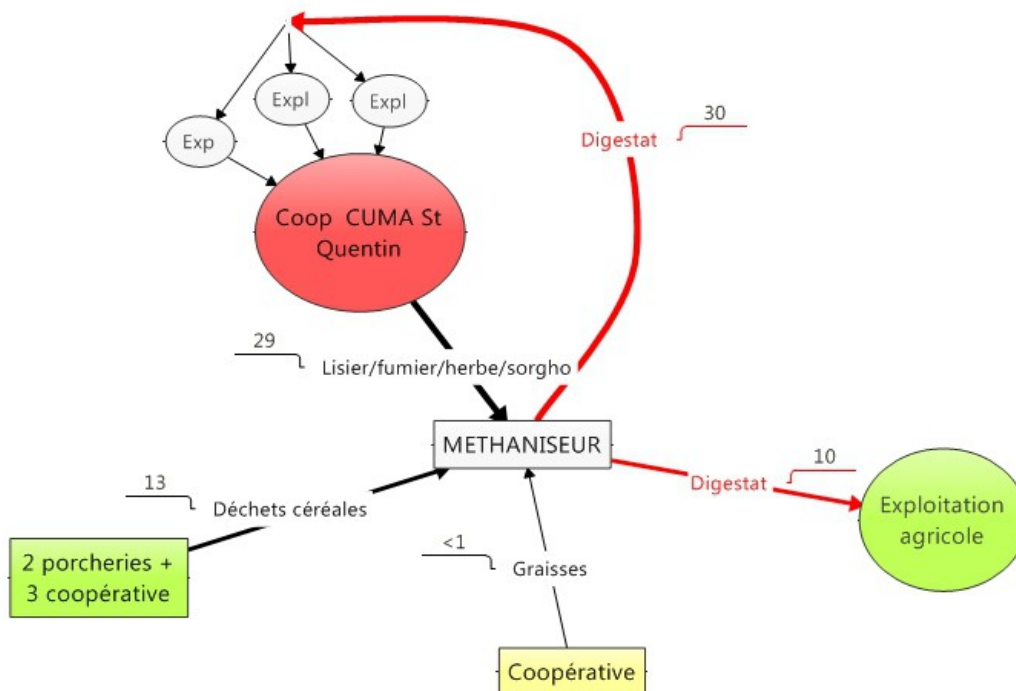


Figure 4 : Flux de N associés au méthaniseur de la Coop CUMA de Saint Quentin (les valeurs sont exprimées en t N/an)

Néanmoins, l'analyse de l'utilisation des digestats fait apparaître une valorisation agronomique modeste des éléments minéraux qu'ils contiennent puisque la majorité des utilisateurs de digestat affirme ne pas tenir compte de la valeur fertilisante des digestats dans le calcul de la fertilisation azotée minérale à appliquer aux cultures. Cette faible valorisation agronomique pèse lourd dans l'efficacité énergétique de "l'écosystème méthaniseur" puisqu'une substitution à 100% de l'azote minéral apporté par les engrais de synthèse par l'azote contenu dans les digestats représenterait en moyenne une économie de 830 MWh par méthaniseur<sup>2</sup>, soit un peu moins de la moitié des 2170 MWh vendus en moyenne à ERDF par méthaniseur.

Enfin, l'analyse des flux de matières montre que le transport des substrats et l'épandage des digestats représentent un coût énergétique moyen de 100 MWh, ce qui est peu par rapport au produit énergétique moyen de 2170 MWh sous forme d'électricité commercialisée par méthaniseur. En revanche, les résultats montrent que le transport des substrats et l'épandage des digestats ont un coût énergétique similaire (de l'ordre de 60 MWh pour le transport des substrats et de 40 MWh pour l'épandage des digestats), ce qui n'était pas attendu initialement.

L'analyse a également porté sur les freins relatifs au développement de la méthanisation, notamment au sujet de l'approvisionnement en substrats. Ces freins sont d'ordre logistique (en particulier lorsque l'approvisionnement se réalise sur de longues distances) et d'ordre contractuels puisque de nombreux gisements de substrats ne sont pas sécurisés par des accords écrits.

L'ensemble des résultats de cette activité a donné lieu à la production d'un rapport par les étudiants de Bordeaux Sciences Agro livré au coordinateur du projet CASDAR en février 2016.

## En conclusion

Au final les travaux menés dans cette Action 3 restent originaux par le point de vue adopté au sujet de "l'écosystème méthaniseur". Ils offrent des outils aux gestionnaires de méthaniseurs pour réaliser et évaluer la zone d'influence de leur activité, et à l'ensemble des partenaires impliqués dans les projets de méthanisation pour expliciter les enjeux et contraintes que porte chacun.



---

<sup>2</sup>Cette économie d'énergie repose sur le fait que la production d'engrais azotés de synthèse a un coût énergétique important, de l'ordre de 17 kWh par kg d'azote minéral.