

ETAT DES CONNAISSANCES DES IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR ET DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES INSTALLATIONS DE VALORISATION OU DE PRODUCTION DE METHANE

Juin 2015

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : *I Care Environnement, Enviroconsult et Solagro*
N° de contrat : 1462c0011

Coordination technique ADEME : *GALSOMIES Laurence* – Direction\Service : *VANVES DVTD SEQA*



RAPPORT D'ETUDE

REMERCIEMENTS

Cette étude est réalisée pour le compte de l'ADEME par un groupement de bureaux d'études : I Care Environnement (Benjamin LEVEQUE, Lénaïc MONIOT), EnvirOconsult (Léo GENIN) et Solagro (Claire RUSCASSIE).

Le comité de pilotage de l'étude : Laurence GALSOMIÈS (Service Evaluation de la Qualité de l'Air - SEQA) et Guillaume BASTIDE (Service Maîtrise et Valorisation des Déchets - SMVD) qui sont les copilotes de l'étude pour l'ADEME, avec la participation de leurs collègues Thomas EGLIN et Marc BARDINAL du Service Agriculture et Forêts (SAF).

Les membres du comité de suivi réunis sous le pilotage de l'ADEME et l'animation du groupement I Care Environnement/EnvirOconsult/Solagro sont :

- Sophie AGASSE (APCA)
- Thierry BIOTEAU (IRSTEA)
- Lionel LAUNOIS (MAAF/DGPAAT/SSADD/SDBE/BSECC)
- Fannie LAVOUE (ATEE – Club Biogaz)
- Joseph LUNET (MEDDE/DGEC/SCEE)
- Léa MOLINIE (MAAF/DGPAAT/SSADD/SDBE/BBE)
- Carine PESSIOT (APCA)
- Pascale VIZY (MEDDE/DGPR/SPNQE/DPGD/BPGD)
- Aurélie VOLOKHOFF (MEDDE/DGEC/SCEE/SD5/5B)

Le comité de suivi de l'étude a contribué à la relecture de ce rapport.

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME. 2015. Etat des connaissances des impacts sur la qualité de l'air et des émissions de gaz à effet de serre des installations de valorisation ou de production de méthane – Rapport d'étude (Marché ADEME n°1462c0011), 88 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr, rubrique Médiathèque (URL)

En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

TABLE DES MATIERES

Résumé	5
1. Enjeux et objectifs	6
1.1. Enjeux.....	6
1.2. Objectifs de l'étude	6
1.3. Périmètre de l'étude	6
1.3.1. Les émissions atmosphériques.....	7
1.3.2. Etapes du cycle de vie de la méthanisation.....	7
1.3.3. Typologie des installations de production de biogaz	7
1.3.4. Périmètres de l'étude sur les impacts directs et indirects.....	8
2. Éléments méthodologiques globaux	8
2.1. Comité de suivi de l'étude	9
2.2. Revue bibliographique	9
2.2.1. Rapports, publications et autres articles.....	9
2.2.2. Projets de recherche.....	9
2.2.3. La réglementation sur les valeurs limites à l'émission.....	10
2.3. Entretiens avec des experts	11
3. Impacts directs de la méthanisation et pistes de recommandations pour limiter les émissions atmosphériques	11
3.1. La filière de méthanisation et ses principales étapes.....	11
3.2. Synthèse sur les impacts directs de la méthanisation et les pistes de recommandations.....	12
3.2.1. Synthèse qualitative des connaissances	13
3.2.1.1. Dynamique des émissions atmosphériques dans une installation de méthanisation.....	13
3.2.1.2. Etat des connaissances actuelles sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation	14
3.2.1.3. Identification des enjeux en termes d'approfondissement des connaissances	15
3.2.2. Synthèse sur les pistes de recommandations techniques.....	17
3.2.3. Synthèse des dynamiques d'émissions par type d'installations de méthanisation	17
4. Les impacts indirects de la méthanisation agricole.....	23
4.1. Identification des impacts indirects.....	23
4.2. Modifications causées par la méthanisation agricole	23
4.2.1. Modifications concernant les productions animales	24
4.2.2. Modifications concernant la gestion des intrants	25
4.2.3. Modifications concernant les productions végétales	26
4.2.4. Modifications concernant les consommations énergétiques	27
4.2.5. Modifications à l'échelle du territoire.....	27

5.	Application à deux cas d'exploitation agricole : quantification des impacts directs et indirects.....	32
5.1.	Présentation de l'approche proposée.....	32
5.2.	Quantifications des émissions de gaz à effet de serre.....	34
5.2.1.	Cas de l'installation n°1 (de type agricole individuelle).....	34
5.2.2.	Cas de l'installation n°2 (de type agricole centralisée).....	35
5.3.	Quantification des émissions de polluants atmosphériques.....	37
5.4.	Identifications des impacts indirects observés (cas des installations agricoles n°1 et n°2).....	37
5.5.	Enseignements et limites d'un exercice de quantification (appliqué aux cas-type n°1 et n°2).....	39
6.	Freins sociétaux.....	39
6.1.	Les freins sociétaux associés à un projet de méthanisation.....	39
6.1.1.	Quels sont ces freins ?.....	39
6.1.2.	Analyse sociétale des déterminants d'une opposition potentielle.....	41
6.2.	Des freins sociétaux spécifiques aux émissions de gaz à effet de serre, de polluants et d'odeurs.....	42
6.3.	Les solutions pour prendre en compte la réaction sociétale.....	43
7.	Pistes de recherche pour l'approfondissement des connaissances.....	43
7.1.	Enjeux de recherche.....	43
7.2.	Projets de recherche identifiés.....	44
7.2.1.	Projets de recherche dans le domaine de la méthanisation.....	44
7.2.2.	Projets de recherche dans des domaines connexes.....	46
7.3.	Propositions thématiques pour les projets de recherche.....	46
8.	Conclusion.....	48
	Références bibliographiques.....	51
	Index des tableaux et figures.....	57
	Sigles et acronymes.....	58
	Annexe 1 – Liste des membres du comité de suivi.....	59
	Annexe 2 – Projets de recherche identifiés par l'analyse bibliographique.....	60
	Annexe 3 – Liste des experts interrogés (entretiens par téléphone).....	62
	Annexe 4 – Fiches synthétiques sur les impacts directs de la méthanisation et les pistes de recommandations techniques pour limiter les émissions atmosphériques.....	63
	Annexe 5 – Fiches synthétiques sur les pistes de recherche dans le domaine de la méthanisation.....	79

Résumé

Le fort potentiel de développement des activités de méthanisation invite à se poser la question des impacts réels de la filière. La présente étude établit un état des connaissances des impacts des installations de valorisation ou de production de méthane sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Cet état des lieux dresse un constat des impacts directs (pour toute installation de production et de valorisation de biogaz, tout au long de son cycle de vie) et indirects (dans le cas particulier de la méthanisation agricole) afin de proposer, d'une part des pistes de recommandations techniques visant une meilleure maîtrise des émissions atmosphériques et, d'autre part des pistes de recherche visant à préciser les connaissances.

L'état des connaissances des impacts directs des installations de méthanisation sur les émissions atmosphériques a mis en évidence quatre thématiques à approfondir : les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote pour la valorisation du digestat, les émissions non maîtrisées de méthane au niveau du digesteur, les émissions de composés odorants lors du stockage des substrats ainsi que les émissions d'ammoniac et de méthane lors du stockage et du traitement du digestat. Les connaissances sur les impacts indirects sont aujourd'hui très limitées et ne permettent pas de les identifier et de les quantifier précisément. Une cartographie des modifications engendrées par la mise en place d'unités de méthanisation sur une exploitation agricole est proposée dans cette étude. Elle constitue une base de réflexion méthodologique en vue de futurs approfondissements. L'étude quantitative réalisée sur deux cas d'installations de méthanisation agricole est une première tentative pour chiffrer les impacts en se basant sur les enseignements issus de l'état des connaissances.

Des pistes de recommandations selon les étapes du processus de méthanisation sont proposées et analysées d'après leur faisabilité technique, leur maturité, leur efficacité et le niveau d'investissement nécessaire.

Enfin, différentes pistes de recherche sont présentées : elles visent à réaliser des campagnes de mesure sur des installations en fonctionnement, à produire des valeurs de références et à développer des méthodologies d'évaluation des impacts.

ABSTRACT

The high potential of biogas activities development raises the question of the real impacts of the biogas sector. This study establishes the state of knowledge of impacts of biogas production and recovery plants on air pollutants and greenhouse gases emissions. This state of art is a statement of direct impacts (for any biogas plant, throughout his life cycle) and indirect impacts (for the particular case of agricultural biogas plants), aiming to propose technical recommendations to control air emissions and research subjects to further knowledge.

To date, four priority thematic areas to deepen have been identified: ammonia and nitrous oxide emissions for the digestate recovery step, the uncontrolled emissions of methane in the biogas plant, odorous compounds emissions during feedstock storage and ammonia and methane emissions during digestate storage and treatment. Knowledge about indirect impacts is limited and does not allow to identify and quantify them into details. A mapping of the changes caused by the establishment of anaerobic digestion plant on a farm is proposed in the study. This is a methodological basis for reflection for further developments. The quantitative study of two cases of agricultural biogas plants is a first attempt to quantify the impacts, based on the lessons learned from the state of knowledge.

Recommendations by step of anaerobic digestion process are proposed and analyzed according to their technical feasibility, maturity, efficiency and the level of investment needed.

Finally, research subjects are presented : they aim at achieving measurement campaigns in installations which are functioning, at producing reference values and at developing methodologies of assessment of the impacts.

1. Enjeux et objectifs

1.1. Enjeux

La méthanisation¹ recèle un fort potentiel de développement dans les domaines du traitement des déchets organiques, de la valorisation énergétique et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Le procédé de méthanisation est utilisé depuis de nombreuses années dans le nord de l'Europe (Suède, Allemagne notamment). En France, en revanche, son développement est à ce jour encore assez mesuré. Il est principalement axé sur le secteur des boues d'épuration urbaines et industrielles. Il existe pourtant un fort potentiel pour les installations de méthanisation à la ferme et centralisées. De nouveaux objectifs, comme le plan Energie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA) et la mesure² sur la réduction des émissions polluantes du secteur agricole issue de la feuille de route 2015 de la conférence environnementale, peuvent contribuer à un développement plus large de la filière de méthanisation, et ainsi créer de nouvelles niches économiques, en particulier pour les installations agricoles.

À l'horizon 2020, il est espéré pour les installations de méthanisation un objectif de production de chaleur à hauteur de 550ktep et un objectif de capacité de production d'électricité de 600MWe. Selon le plan EMAA, l'objectif est aussi de développer en France, à l'horizon 2020, 1 000 méthaniseurs à la ferme. Il y a donc un enjeu stratégique important pour accompagner le développement de certaines filières de valorisation ou de production de biogaz. Mais ce développement doit se faire sans pour autant être préjudiciable aux efforts qu'il convient de réaliser pour diminuer l'effet de serre ou respecter les normes de qualité de l'air.

1.2. Objectifs de l'étude

L'étude dresse un état des connaissances sur les impacts potentiels ou avérés des activités de méthanisation sur l'effet de serre et la qualité de l'air, en vue de prévenir et de limiter les éventuelles émissions de gaz à effet de serre et de polluants dans l'air. Cette étude a également pour objectif de définir les freins (odeurs, bruit, transport, polluants, etc.) à l'acceptabilité sociale du développement des installations de méthanisation, et d'identifier si la dégradation de la qualité de l'air due à ces activités serait un critère à mieux connaître. En se basant sur une actualisation de l'état des connaissances, il est proposé des recommandations pour limiter les émissions atmosphériques, d'une part, sur le domaine de la recherche et le développement et, d'autre part, sur les critères techniques.

L'étude, nommée aussi Metha GA-GES dans la suite du document, vise à produire :

- Un **état des connaissances des impacts directs** des activités de méthanisation sur les émissions atmosphériques, en donnant de premiers éléments chiffrés dans la mesure du possible ;
- Un **état de l'art des impacts indirects de la méthanisation agricole**, à travers les modifications qu'elle peut entraîner sur une exploitation agricole et un territoire, en apportant si possible des estimations chiffrées ;
- **Des recommandations au niveau technique** pour les unités de méthanisation afin de limiter les émissions (GES, polluants), **des pistes de recherche** afin d'améliorer l'état des connaissances et **des leviers d'actions** afin de lever les éventuels freins sociétaux à l'implantation d'unités de méthanisation.

1.3. Périmètre de l'étude

La terminologie permettant de caractériser les impacts des installations de méthanisation sur la qualité de l'air et les émissions de gaz à effet de serre est précisée dans cette partie du document et détaillée pour les éléments suivants :

¹ La méthanisation est un processus biologique naturel permettant de valoriser des matières organiques (déchets organiques, effluents d'élevage, résidus de cultures, etc.) qui permet de produire du biogaz pouvant être valorisé sous forme d'électricité et de chaleur (cogénération) ou par injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel (biogaz épuré).

² Mesure 59 de la feuille de route 2015 issue de la table ronde « Environnement et santé » de la Conférence environnementale 2014 : « *Le Gouvernement étudiera les mesures, aux niveaux français et européen, permettant de diminuer les émissions des principaux polluants de l'air, des opérations pilotes de réduction des rejets atmosphériques du secteur agricole seront mises en œuvre, accompagnées d'un soutien financier de l'ADEME et du ministère de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt.* »

- Les types d'émissions atmosphériques concernées par la méthanisation ;
- Les différentes étapes du cycle de vie de la méthanisation ;
- Les types d'installations de méthanisation existants ;
- Le périmètre des études des impacts directs et indirects.

1.3.1. Les émissions atmosphériques

Les émissions de la méthanisation visées dans cette étude sont :

- **Gaz à effet de serre** : CO₂ (dioxyde de carbone), CH₄ (méthane), N₂O (protoxyde d'azote) ;
- **Polluants atmosphériques** réglementés : NH₃ (ammoniac), NO_x (oxydes d'azote), SO_x, (oxydes de soufre) COVNM (composés organiques volatils non méthaniques), particules (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}), Métaux, H₂S (sulfure d'hydrogène) ;
- **Emissions olfactives** et odorantes : COVNM, dont composés soufrés et azotés.

Les émissions atmosphériques sont caractérisées dans cette étude selon trois approches complémentaires :

- L'approche « **mesure** », à travers la réalisation de campagnes de mesures sur site, dont les méthodes (normées ou non) présentent des degrés de maturité variables ;
- L'approche « **Analyse du Cycle de Vie** », qui permet d'avoir une vision globale de l'impact environnemental de la méthanisation, mais dont les données utilisées sont peu précises puisque génériques ;
- L'approche « **facteurs d'émissions** », qui constitue une donnée clé pour la réalisation d'inventaires de type ACV.

1.3.2. Etapes du cycle de vie de la méthanisation

Dans une logique filière et analyse de cycle de vie, le concept d'unité de méthanisation (principalement constituée du digesteur pour la production de biogaz et du système de traitement, stockage et valorisation du biogaz) est élargi dans le cadre de cette étude aux phases d'approvisionnement et de stockage des substrats, ainsi qu'au traitement/stockage et valorisation du digestat.

Les principales étapes techniques retenues dans le processus de méthanisation sont rappelées dans la Figure 1 :

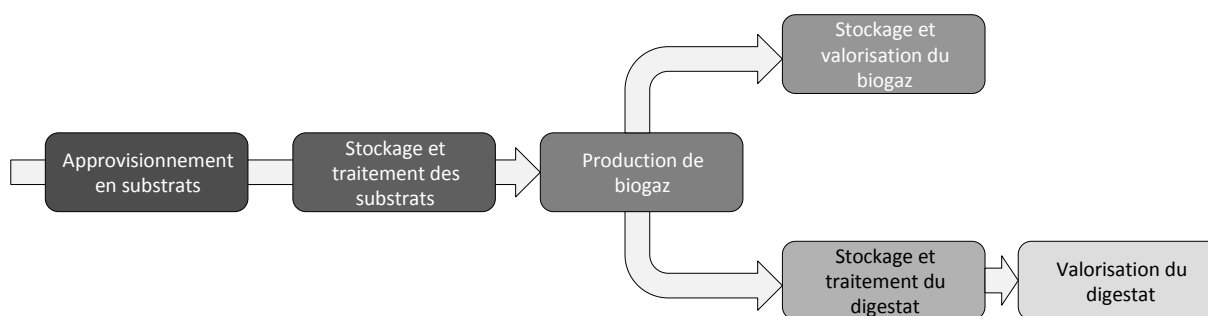


Figure 1 : Les principales étapes du cycle de vie d'une installation de méthanisation

1.3.3. Typologie des installations de production de biogaz

La méthanisation est un processus qui s'inscrit dans une filière de traitement des déchets ou produits associés. La typologie des installations de production de biogaz retenue dans cette étude est fonction de la nature des matières entrant dans le méthaniseur :

- Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) ;
- Unités de TMB (Tri Mécano-Biologique) traitant des ordures ménagères (OMR) ;
- STEP (boue de stations d'épuration des eaux) ;
- Industries agroalimentaires (IAA) ;
- Installation agricole à la ferme (individuelle) ;
- Installation agricole collective (à la ferme + autres déchets agricoles) ;
- Installation centralisée (recevant des déchets de différentes origines, y compris agricoles).

1.3.4. Périmètres de l'étude sur les impacts directs et indirects

La première partie de l'étude s'attache à réaliser un état de l'art des **impacts directs** de la méthanisation sur les émissions atmosphériques. Cette partie s'intéresse donc aux émissions qui ont lieu au niveau de chacune des étapes du cycle de vie de la méthanisation vues précédemment. En revanche, la seconde partie traite des **impacts indirects** de la méthanisation sur les émissions atmosphériques, dans le cas particulier de la méthanisation agricole. Il s'agira donc de s'intéresser aux émissions atmosphériques issues des modifications que peut entraîner la méthanisation sur les activités d'une exploitation agricole (en ce qui concerne les productions animales, végétales, ou encore les bâtiments) et sur les activités au niveau territorial.

La Figure 2 illustre par un schéma les différences de périmètre entre les parties de l'étude traitant des impacts directs et des impacts indirects, dans le cas d'une exploitation agricole avec une installation de méthanisation à la ferme :

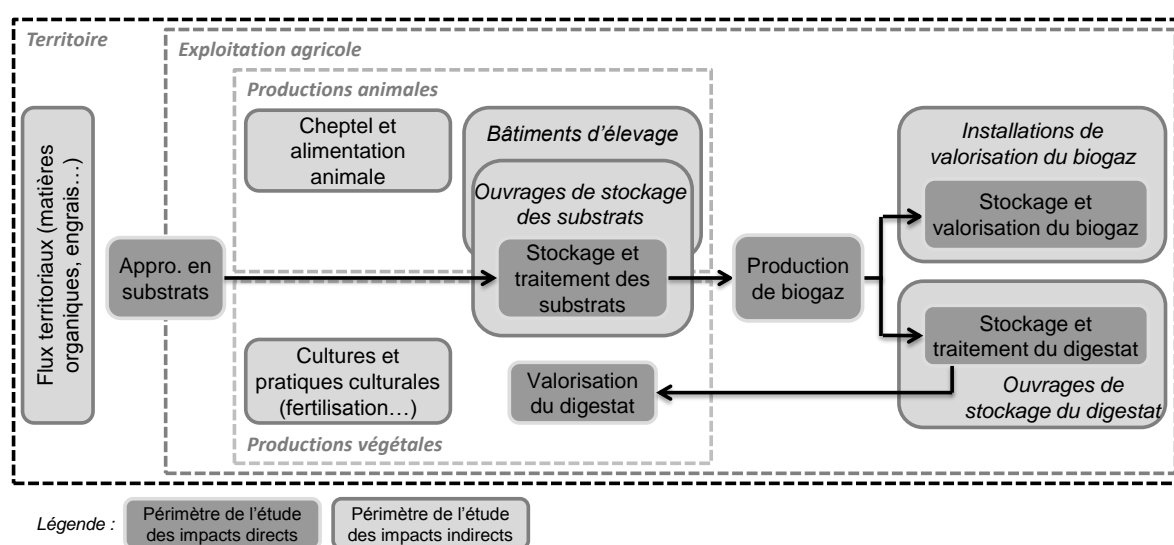


Figure 2 : Les périmètres étudiés dans la phase 1 (impacts directs) et la phase 2 (impacts indirects) de l'étude Metha QA-GES

2. Éléments méthodologiques globaux

L'étude est basée sur une analyse bibliographique d'études scientifiques (en France et à l'étranger) concernant les impacts sur l'effet de serre et la qualité de l'air des unités de production et de valorisation de biogaz. Cette analyse est complétée par des entretiens d'experts compétents sur le sujet. Enfin, l'étude s'appuie sur une méthodologie qui a été discutée et validée par un ensemble d'experts au sein d'un comité de suivi de l'étude (Annexe 1).

2.1. Comité de suivi de l'étude

Le comité de suivi s'est réuni quatre fois au cours de l'étude :

- Au lancement de l'étude, afin de définir la méthodologie employée ;
- À la fin de la première étape, traitant des impacts directs de la méthanisation sur la qualité de l'air, afin de valider et proposer des modifications des travaux effectués ;
- À la fin de la seconde étape, traitant des impacts indirects de la méthanisation agricole, afin de valider et d'approfondir les travaux réalisés ;
- À la fin de l'étude, afin de proposer des modifications éventuelles sur le rapport final provisoire.

2.2. Revue bibliographique

L'étude se base sur une analyse de la littérature concernant la méthanisation et ses impacts, en France et à l'étranger, à partir d'un ensemble de publications (rapports, articles) sélectionnées de manière subjective.

Trois axes sont approfondis pour cette recherche bibliographique dans les domaines de la méthanisation et de la qualité de l'air : (i) les études, (ii) les projets de recherche et (iii) les textes réglementaires.

2.2.1. Rapports, publications et autres articles

Des moteurs de recherche dédiés aux publications scientifiques (Google Scholar, Scirus, Science Direct) ainsi que des sites de conférences sont consultés pour recenser les documents rédigés en français, en anglais et en allemand. Des bases documentaires sont également consultées (du Club Biogaz (ATEE) et de l'ADEME).

Cette recherche bibliographique a permis de recenser 119 documents : des références récentes pour la plupart dont les deux tiers portent sur la période 2010-2014. Plus de la moitié des études sont publiées en France, et pour les autres en Allemagne, au Danemark, en Italie, en Autriche, aux Etats-Unis et au Canada, etc...

Dans ces publications, les thèmes couvrent l'ensemble des émissions atmosphériques. Les thématiques « émissions de GES » et « émissions de polluants de l'air » sont traitées le plus souvent, tandis que le thème des « émissions de composés odorants » est moins étudié dans la littérature. Le thème « émissions » est principalement étudié par ACV et par des mesures. Le thème « facteurs d'émission » en revanche est très peu traité dans la littérature.

L'ensemble des étapes du cycle de vie de la méthanisation (telle que présentée précédemment) est couvert dans les références recensées. Les étapes de production, de valorisation du biogaz ainsi que de stockage (des substrats et du digestat) sont les plus étudiées, alors que les étapes d'approvisionnement en substrat et de valorisation du digestat présentent un déficit de références.

Chaque type d'installations est recensé par au moins une référence bibliographique. Les installations agricoles (individuelles, collectives et centralisées) sont les cas les mieux représentés dans les références, alors que les IAA et les STEP sont moins cités dans les références (notamment pour des raisons de confidentialité des données).

Moins de 10 % des références bibliographiques abordent (de façon non spécifique) les impacts indirects de la méthanisation agricole ainsi que les freins sociétaux liés à l'implantation d'unités de méthanisation. Ces deux sujets sont donc traités pour cette étude de manière spécifique grâce à des entretiens avec des experts.

2.2.2. Projets de recherche

Une trentaine de projets de recherche sont aussi recensés. Ils ont été identifiés en consultant directement les pages « R&D » de plusieurs sites internet d'organismes référents en France (ADEME, IRSTEA, INERIS, INRA, IFIP), et aussi la page internet dédiée à la « Liste des projets en lien avec le Réseau Mixte Technologique (RMT) élevage et environnement »³. Le contenu de chaque projet n'a pas fait l'objet d'une analyse détaillée, mais plusieurs de ces

³ <http://www.rmtelévagesenvironnement.org/liste-projets-rmt.htm>

publications ont été intégrées dans la liste précédente des références bibliographiques. La liste des projets de recherche sélectionnés pour cette étude est présentée à l'annexe 2.

2.2.3. La réglementation sur les valeurs limites à l'émission

En France, la réglementation du biogaz comprend des textes relatifs aux apports des matières premières, à la production du biogaz, à sa valorisation, et enfin à l'utilisation des produits sortants :

- **Au niveau du digesteur**, la rubrique n°2781 de la réglementation ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement), créée en 2009, est spécifique à la méthanisation. L'origine et la nature des déchets traités ainsi que la taille de l'installation vont orienter le classement ICPE : la rubrique 2781-1 concerne la méthanisation de matière végétale brute, d'effluents d'élevage, de matières stercoraires, de lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires ; la rubrique 2781-2 concerne la méthanisation d'autres déchets non dangereux (dont déchets de grandes et moyennes surfaces, tri-mécano-biologique, abattoirs, ainsi que les stations d'épuration traitant des déchets externes). Le régime de l'installation (autorisation, enregistrement ou déclaration) fixe les prescriptions d'implantation, d'analyses, d'études, de conception, etc. et influence la nature des émissions réglementées. Le Chapitre IV de l'Arrêté du 12 août 2010 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées de méthanisation relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2781-1 définit les prescriptions relatives aux émissions dans l'air pour les poussières, les odeurs, le méthane et le sulfure d'hydrogène. Que ce soit au niveau des phases amont (transport, stockage, pré-traitement), ou au niveau du digesteur, il n'existe pas de disposition spécifique concernant des concentrations limites à respecter pour les effluents gazeux mentionnés. Seule la teneur en H₂S du biogaz issu de l'installation doit présenter un niveau inférieur à 300 ppm ;
- La **combustion du biogaz** entre dans le champ de la réglementation ICPE au titre de la rubrique 2910. Si l'installation de combustion consomme uniquement du biogaz produit par une unité soumise à enregistrement sous la rubrique n°2781-1, le chapitre III de l'Arrêté du 08/12/11 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2910-C de la nomenclature ICPE mentionne alors les valeurs limites pour les polluants suivants (Tableau 1) :

Valeurs limites (mg/m ³)	Chaudière	Moteur	Turbine
	3% O ₂	5% O ₂	15% O ₂
Poussières tot.	5	10	10
CO	250	1200	300
SO ₂	110	100**	40
NO ₂	100	270**	100
HCl	10	10	10
HF	5	5	5
COVNM	50	50	50
Formaldéhyde	40	40	40
NH ₃ *	20	20	20

Tableau 1 : Valeurs limites à l'émission (France) pour les installations de combustion de biogaz

* Uniquement dans le cas où l'installation est équipée d'un dispositif de traitement des oxydes d'azote à l'ammoniac

** Les VLE sont différentes pour des moteurs *dual fuel* : 600 mg/m³ pour SO₂, et 525 mg/m³ pour NO₂

Les torchères des centres d'enfouissement techniques (ISDND) sont soumises aux dispositions de l'article 44 de l'arrêté ministériel du 9 septembre 1997.

- **L'injection du biométhane dans le réseau** fait l'objet de l'Arrêté du 24 juin 2014 modifiant l'arrêté du 23 novembre 2011 fixant la nature des intrants dans la production de biométhane pour l'injection dans les réseaux de gaz naturel : les déchets ménagers et assimilés (DMA) en installation ISDND, les biodéchets, les

déchets organiques agricoles (effluents d'élevage et déchets végétaux), les déchets de restauration hors foyer, les déchets organiques de l'industrie agro-alimentaire et des autres agroindustries, les produits agricoles en digesteur et les matières, telles que des boues, graisses, liquides organiques, résultant du traitement des eaux usées, traitées en digesteur ;

- D'après l'arrêté du 10 novembre 2009 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations de méthanisation soumises à déclaration sous la rubrique n° 2781-1, **l'épandage** est effectué par un enfouissement direct, par des pendillards ou par un dispositif équivalent permettant de limiter les émissions atmosphériques d'ammoniac (NH₃).

La France s'appuie sur une connaissance de la composition élémentaire des biogaz pour estimer l'importance des teneurs en polluants susceptibles d'être rejetés dans l'atmosphère et pour établir les VLE (Valeurs Limites d'Emission). Par comparaison avec d'autres pays, comme en Allemagne, les procédures d'installations sont basées sur des seuils de puissance thermique. Les seuils à l'émission des contaminants sont établis en fonction de la nature des moteurs et de l'amorce de la combustion.

2.3. Entretiens avec des experts

Des entretiens sont également réalisés par téléphone en interrogeant des acteurs représentatifs de l'ensemble des filières de la méthanisation et de la qualité de l'air (Annexe 3). Les informations recueillies permettent de consolider l'état des connaissances sur chacune des parties de l'étude.

3. Impacts directs de la méthanisation et pistes de recommandations pour limiter les émissions atmosphériques

3.1. La filière de méthanisation et ses principales étapes

Six étapes sont nécessaires en méthanisation telles que rappelées à la Figure 1 :

- Approvisionnement en substrat,
- Stockage et traitement des substrats,
- Production de biogaz,
- Stockage et valorisation du biogaz,
- Stockage et traitement du digestat,
- Valorisation et transport du digestat.

Des fiches synthétiques sont présentées pour chacune de ces étapes en annexe 4. Dans chacune des fiches, il est décrit, d'une part les principales émissions pouvant avoir lieu à cette étape quel que soit le type d'installation de méthanisation, et d'autre part les pistes de recommandations techniques qui peuvent favoriser la réduction des émissions atmosphériques identifiées à cette étape.

Les recommandations proposées ne sont pas exhaustives. En effet, il existe diverses solutions à mettre en place en fonction de chaque type d'installation de méthanisation (les solutions dépendent fortement du contexte particulier de chaque installation). De plus, les pistes de recommandations ont été formulées suivant un état des connaissances actuelles qui s'avère incomplet, tel qu'il le sera démontré à la fin de ce chapitre.

Chaque fiche est structurée de la façon suivante :

- **Titre et présentation des principales émissions** recensées au cours de l'étape étudiée ;
- **Contexte** : présentation des éléments intervenant au cours de l'étape et pouvant influencer les émissions atmosphériques ;
- **Bilan des émissions** : pour chaque sous-étape caractéristique, le bilan est différencié en gaz à effet de serre, polluants et odeurs ;

- **Pistes de recommandations techniques**⁴ : pour chaque action recommandée⁵, il est précisé plusieurs critères :

- Le type d'action (éviter, réduire, traiter ou mesurer) ;
- Les émissions concernées (polluants, GES, odeurs) ;

il est aussi défini plusieurs indicateurs :

- Le degré de faisabilité (technique et organisationnel) : un degré de faisabilité simple correspond à des actions de type « équipement matériel » alors qu'une action complexe implique bien souvent des modifications de process ou du système agricole ;
 - Le degré de maturité de l'action : cette notion est corrélée au niveau de diffusion de l'action, plus elle est mise en œuvre dans un grand nombre d'installations de méthanisation, plus elle est considérée comme étant mature ;
 - L'efficacité de l'action : cela se traduit par la propension de l'action à réduire les émissions atmosphériques (moyennement efficace, efficace, très efficace) ;
 - L'investissement financier (faible, modéré, élevé).
- Les **ressources bibliographiques** permettant d'approfondir les points présentés dans la fiche ;
 - Des **éléments de conclusion** relatifs à l'état des connaissances concernant chaque étape.

Pour chacune des pistes de recommandations proposées, il est nécessaire d'analyser leur intérêt coûts/bénéfices dans chaque cas particulier d'installation de méthanisation. Il est donc important de souligner que l'objectif de ces fiches est de lister des actions qui pourraient être mises en œuvre dans l'optique de limiter les émissions atmosphériques tout au long du processus de méthanisation, et non pas de prescrire des recommandations formelles.

3.2. Synthèse sur les impacts directs de la méthanisation et les pistes de recommandations

Les principales conclusions sur les impacts directs de la méthanisation sont présentées de plusieurs manières :

- Par une synthèse qualitative avec trois types de schémas complémentaires :
 - Sur la dynamique des émissions atmosphériques à chaque étape du cycle de vie des installations de méthanisation (Figure 3) ;
 - Sur le niveau des connaissances actuelles (Figure 4) ;
 - Sur l'identification des principaux enjeux en termes d'approfondissements de connaissances (Figure 5) ;
- Avec des schémas de procédés qui présentent, pour chaque type d'installations de méthanisation, les dynamiques des émissions atmosphériques dans les phases de fonctionnement et de maintenance ou lors des dysfonctionnements (Figures 7 à 11).

Enfin, les principales conclusions sur les pistes de recommandations techniques pour limiter les émissions atmosphériques sont rappelées dans la Figure 6.

⁴ La caractérisation de chaque recommandation technique a été réalisée de manière qualitative et s'est appuyée sur le travail bibliographique et la réalisation des entretiens.

⁵ De nombreuses actions recensées sont issues du Guide de bonnes pratiques sur les projets de méthanisation de l'ATEE Club Biogaz (2011), auxquelles ont été ajoutées celles issues de la bibliographie recensée au cours de l'étude.

3.2.1. Synthèse qualitative des connaissances

3.2.1.1. Dynamique des émissions atmosphériques dans une installation de méthanisation

La Figure 3 présente, par catégorie d'émissions atmosphériques (odeurs, polluants, GES), une information qualitative sur l'importance de ces émissions dans les étapes du cycle de vie d'une installation de méthanisation. Il s'agit donc d'identifier de manière relative les étapes pour lesquelles les émissions dans l'air d'un composé pourraient être les plus importantes. Par exemple, dans le cas du méthane (CH₄), l'étape potentiellement la plus émettrice est la production de biogaz.

Les différentes couleurs utilisées dans la Figure 3 indiquent des niveaux d'émissions potentiellement importants de gaz à effet de serre, de polluants atmosphériques ou de composés odorants (1/ couleur claire = faible ; 2/ couleur moins claire = moyen ; 3/ couleur plus foncée = fort). Par contre, une case « émission/étape » non colorée signifie qu'il n'y aurait pas (à priori) de problématique particulière en méthanisation à cette étape du cycle de vie pour le composé.

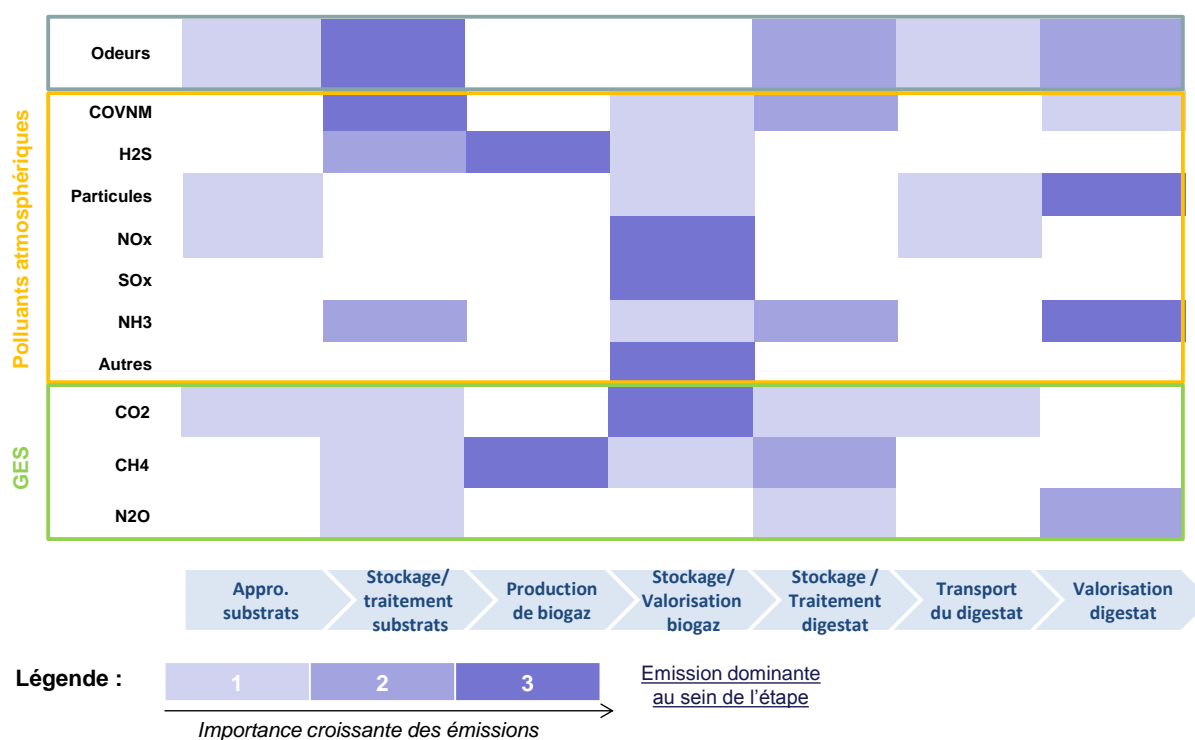


Figure 3 : Dynamique des émissions atmosphériques à chaque étape du cycle de vie d'une installation de méthanisation

NB : i) les émissions de CO₂ sont d'origine fossile (exemple : en phase d'approvisionnement par voie de transport routier) ou d'origine biogénique (en phase de valorisation du biogaz qui est produit à partir de substrats issus de la biomasse) ;

ii) « Autres » signifie que les autres polluants atmosphériques réglementés émis au niveau d'une installation de combustion sont des métaux lourds (As, Se, Sb, Cu, Co, Cr, Sn, Mn, Ni, Pb, V, Te, Cd, Ti, Zn, Hg), ou HCl et HF.

Les émissions atmosphériques potentielles (polluants, GES, odeurs), associées à chaque étape de la méthanisation, sont présentées de manière indicative dans une logique « analyse de cycle de vie ».

Les principaux points d'attention sont les suivants :

- **L'étape de production du biogaz**, autrement dit le **méthaniseur (ou digesteur)**, est concerné par deux enjeux principaux en termes d'émissions potentielles vers l'atmosphère : le méthane (CH₄) et l'hydrogène sulfuré (H₂S). Ces effluents gazeux sont aujourd'hui strictement contrôlés à l'intérieur de l'enceinte, compte tenu des risques associés. Néanmoins, des **fuites et des émissions non maîtrisées de CH₄** peuvent être les plus importantes au niveau de cette étape ;

- **L'étape de valorisation du biogaz** (la plupart du temps sous forme de combustion) est potentiellement celle qui émet le plus d'effluents gazeux différents (réglementés). Il s'agit néanmoins d'effluents canalisés qui font l'objet d'une surveillance et sont soumis à des valeurs limites pour les polluants atmosphériques. Les **émissions de dioxyde de carbone (CO₂)** mais aussi de **plusieurs polluants réglementés (SOx, NOx)** peuvent aussi être généralement dominantes au niveau de cette étape ;
- **L'ammoniac (NH₃)** représente un enjeu significatif en amont mais surtout en aval d'une éventuelle installation de méthanisation. Les **émissions en phase de stockage (substrat, digestat)**, et surtout lors de l'**épandage pour la valorisation du digestat** sont les plus importantes, et ce indépendamment de l'existence d'un processus de méthanisation. Par ailleurs, de récentes études soulignent une possible augmentation des émissions « aval » d'ammoniac comparé à un scénario sans méthanisation [8 ; 28 ; 113] ;
- De la même manière, les **odeurs** sont perçues principalement en amont et en aval d'une installation de méthanisation, c'est-à-dire au niveau du **stockage (substrat, digestat)**, et aussi à l'**épandage** et dans une moindre mesure pendant les **étapes de transport**. Une installation de méthanisation qui présente un poste de stockage de substrat (et de digestat, en aval) important pourra donc potentiellement accentuer ou aggraver une problématique « odeurs » déjà existante au préalable, notamment dans le cas des unités de méthanisation installées en milieu agricole.

Les références bibliographiques identifiées dans cette étude ont donc permis de caractériser les processus et les principaux déterminants des émissions atmosphériques. Par contre, à partir de cette recherche bibliographique des données quantifiées pour chaque étape (résultats des campagnes de mesures ou d'ACV) n'ont pas pu être proposées.

3.2.1.2. Etat des connaissances actuelles sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation

La Figure 4 illustre de manière synthétique l'état des connaissances sur les principales émissions atmosphériques d'une installation de méthanisation. Il s'agit de proposer une synthèse qui soit, d'une part, basée sur l'analyse de l'ensemble des références bibliographiques identifiées dans le cadre de cette étude et, d'autre part, consolidée grâce aux entretiens réalisés avec des experts.

Les principaux enseignements sont les suivants :

- **Bilan des connaissances par type d'émissions atmosphériques**
Il existe un manque de données sur les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) et d'ammoniac (NH₃), notamment pour la valorisation du digestat. Les émissions non maîtrisées de méthane (CH₄) décrites par la littérature lors du stockage des substrats et jusqu'au stockage des digestats ne font pas l'objet d'un consensus parmi les experts interrogés pour les besoins de cette étude, principalement au niveau des étapes de production et de valorisation du biogaz. Des incertitudes sur les niveaux d'émissions demeurent encore aujourd'hui, avec des ordres de grandeur qui sont importants et qui font débat. De la même manière, il manque des données quantifiées concernant les émissions de COVNM en lien avec des difficultés d'ordre métrologique et une nécessité de consolider les protocoles de mesures pour ces émissions ;
- **Bilan des connaissances par étape du cycle de vie**
Les émissions directes au niveau des étapes de production et de valorisation du biogaz sont relativement bien documentées, exception faite du cas spécifique du méthane (CH₄). Les principales interrogations ou incertitudes concernent plutôt les émissions en aval du digesteur, c'est-à-dire au niveau du **traitement puis de l'épandage** du digestat. En effet, la matière organique qui est modifiée suite au processus de méthanisation conduit à des changements importants d'émissions (notamment de N₂O et NH₃) par rapport à un scénario de référence.

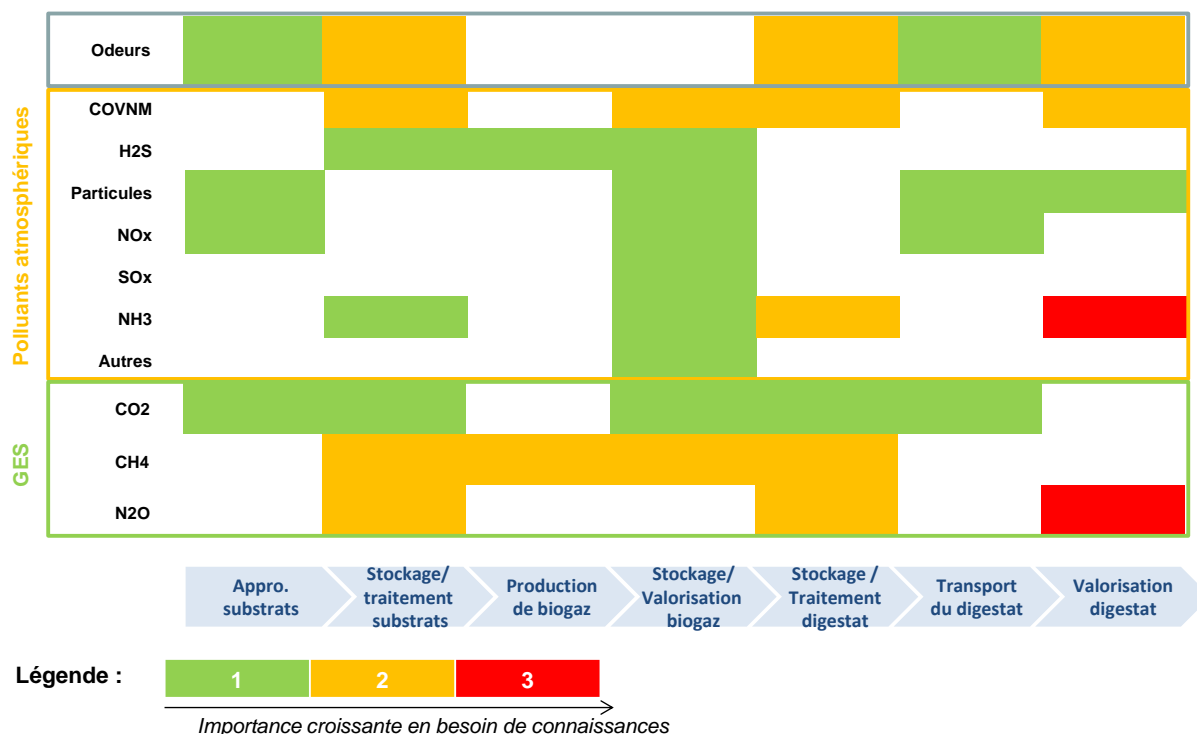


Figure 4 : Etat des connaissances sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation

3.2.1.3. Identification des enjeux en termes d’approfondissement des connaissances

Le croisement des informations qualitatives entre les deux cartographies des Figures 3 et 4 (sur les dynamiques d’émissions et l’état des connaissances) permet de proposer des recommandations avec un niveau de priorités pour approfondir les connaissances.

L’approche croisée utilisée dans la Figure 5 correspond à une pondération simplifiée (multiplication) des dynamiques d’émissions par rapport à l’état des connaissances. **En d’autres termes, en matière d’approfondissement des connaissances à chaque étape d’une installation de méthanisation, une étape qui associe une forte dynamique d’émissions et un faible état des connaissances (ou dit autrement, un besoin croissant de connaissances) est à considérer comme un enjeu prioritaire.**

Il ressort de ce croisement quelques points remarquables (identifiant des niveaux d’enjeux par des pastilles rouges numérotées de 1 à 4 dans la Figure 5) :

- Premier niveau d’enjeu, **le plus prioritaire** (pastilles rouges numérotées « 1 ») : **Au niveau de la valorisation du digestat** (notamment l’épandage) **pour les émissions d’ammoniac (NH₃) et de protoxyde d’azote (N₂O)**. Les émissions d’ammoniac sont potentiellement élevées avec de fortes incertitudes liées aux modifications des propriétés physico-chimiques du digestat méthanisé. Les émissions de protoxyde d’azote (N₂O) issues de la valorisation du digestat représentent également un enjeu important car ce GES a notamment un PRG élevé. Cette problématique environnementale sur l’impact du retour au sol des digestats méthanisés (en particulier les émissions de NH₃ et de N₂O) correspond précisément à une composante du projet de recherche DIVA, dont les résultats encore en cours d’acquisition permettront de consolider l’état des connaissances actuelles ;
- Deuxième niveau d’enjeu, **prioritaire** (pastille rouge numérotée « 2 ») : **Au niveau du digesteur pour les émissions non maîtrisées de méthane**. Des questions se posent en effet sur les niveaux d’incertitudes des émissions réelles (en phase opérationnelle) et sur les méthodes de mesure permettant d’évaluer ces émissions. Il convient d’approfondir les connaissances sur les émissions directes au niveau du digesteur (étape de

production du biogaz), même si la plupart des études publiées à ce jour proposent des évaluations de type ACV qui concluent à la pertinence environnementale de ces installations (d'un point de vue GES) ;

- Troisième niveau d'enjeu, **un peu moins prioritaire** (pastille rouge numérotée « 3 ») : **En phase de stockage des substrats pour les émissions d'odeurs (et de COVNM)**. Il s'agit d'un paramètre significatif discuté en détail un peu plus loin dans le rapport (cf. la partie sur l'acceptabilité des installations de méthanisation). En effet, la « subjectivité » de la perception des odeurs et aussi des difficultés de nature métrologique pour caractériser ces odeurs rendent complexes l'établissement d'un diagnostic partagé sur cette thématique ;
- Le dernier niveau d'enjeu, **le moins prioritaire** (pastilles rouges numérotées « 4 ») : **En phase de stockage et traitement des digestats pour les émissions atmosphériques (GES, odeurs et polluants)**. Cette étape située en aval d'un méthaniseur se traduit par des émissions d'odeurs potentiellement significatives mais également par des émissions d'ammoniac (NH₃), notamment en l'absence de couverture de fosses de stockage), ou encore de méthane (CH₄). Par ailleurs, la diversité des associations « digestat / traitement » ne permet pas de disposer aujourd'hui de connaissances précises sur le niveau des émissions réelles au niveau de cette étape.

De manière générale, en guise de conclusion synthétique, il se dégage un consensus auprès des différents experts interrogés sur les grandes priorités perçues à l'heure actuelle en faveur d'une amélioration des émissions atmosphériques des installations de méthanisation :

- **Mieux connaître les émissions de polluants atmosphériques ;**
- **Mieux connaître les émissions de gaz à effet de serre (GES) ;**
- **Acquérir des données en France de mesures d'émissions correspondant à des sites en opération.**

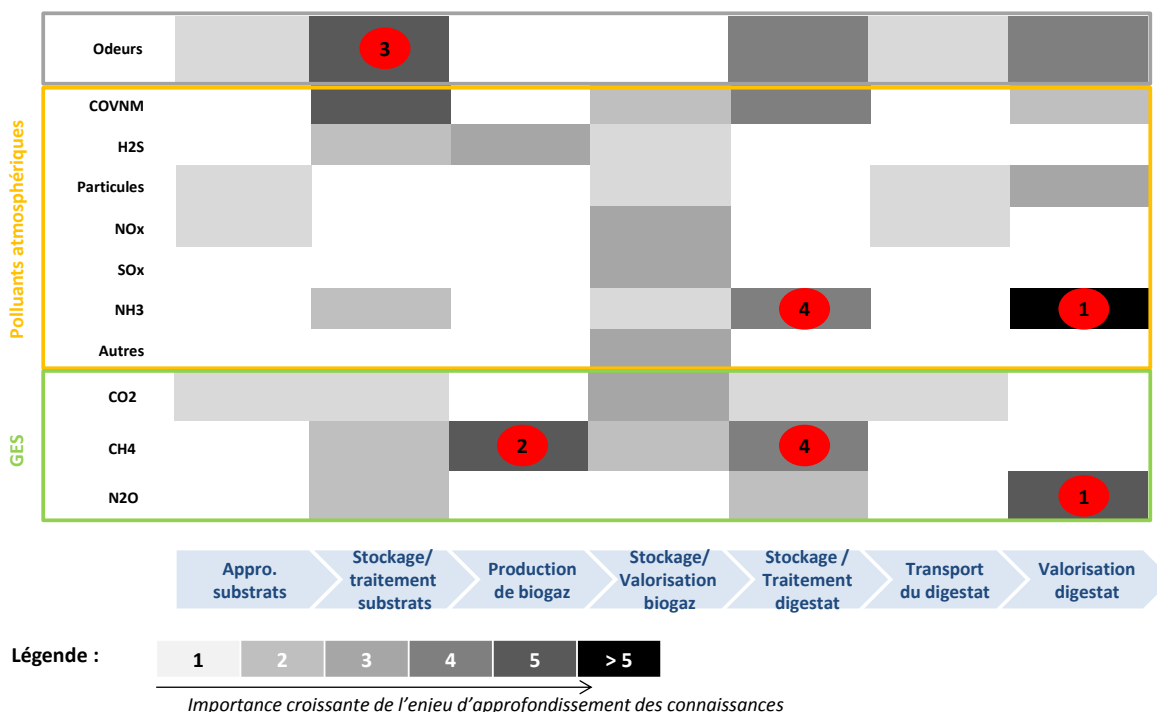


Figure 5 : Identification des enjeux en termes d'approfondissement des connaissances sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation

NB : les niveaux d'enjeu, du plus prioritaire au moins prioritaire, sont notés de 1 à 4 par des pastilles rouges.

3.2.2. Synthèse sur les pistes de recommandations techniques

La Figure 6 présente de manière synthétique des pistes de recommandations pour les 6 étapes du cycle de vie de la méthanisation.

	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement	
Appro. substrats	GES et polluants	Optimiser les distances de transport	Réduire	CO ₂ , NO _x	★★★	●	★★★	€
	Odeurs	Laver et rincer les véhicules à chaque débarquement (transport matières solides)	Eviter	Odeurs	★	●	★	€
		Intégrer des canalisations fermées au process de transport des matières liquides (cas des IAA)	Eviter	Odeurs	?	●	★★	€
		Adapter horaires et fréquence de déchargement	Eviter	Odeurs	?	●	★★	€
Stockage/traitement substrats	GES et polluants	Minimiser les durées de stockage	Réduire	CH ₄ , CO ₂ , NH ₃	★	●	★★★	€
	Polluants odeur	Confiner lieux de réception puis aspirer et traiter l'air vicié	Eviter et Traiter	NH ₃ , composés soufrés, odeurs	★★★	●	★★★	€€€
Production de biogaz	GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★	○	★★	€€€
		Etre vigilant lors de la réception des ouvrages de méthanisation (étanchéité)	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★	●	★★★	€€
	Polluants	Réduire et limiter la formation de H ₂ S en amont ou dans le digesteur	Réduire	H ₂ S	★	●	★★	€
		Suivre les émissions de H ₂ S	Mesurer	H ₂ S	★	●	★★	€€€
Stockage/Valorisation biogaz	GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★	○	★★	€€€
		Optimiser la valorisation énergétique	Eviter	CO, CO ₂	★	●	★★	€
	Polluants	Eliminer l'ammoniac du biogaz par pré-traitement pour améliorer la combustion	Eviter	NO _x	?	●	★★	€€
Eliminer les polluants traces du biogaz		Traiter	Siloxanes, mercaptans...	?	●	★★	€€€	
Stockage/Traitement digestat	GES	Recouvrir les fosses de stockage et récupérer le biogaz résiduaire	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★	●	★★★	€€
		Maximiser les temps de séjour dans le digesteur et post-digesteur et capter le biogaz	Réduire	CH ₄ , CO ₂	★	●	★★★	€
	Polluants	Recouvrir, aspirer et traiter l'air vicié / valoriser le biogaz résiduaire	Eviter	NH ₃	★★	●	★★★	€€
		Traiter l'air vicié	Traiter	NH ₃	★★	●	★★	€€€
Transport et valorisation digestat	GES et polluants	Utiliser une rampe à pendillards ou des enfouisseurs à disques	Réduire	N ₂ O, NH ₃	★	●	★★★	€€
		Respecter des périodes d'épandage appropriées	Réduire	N ₂ O, NH ₃	★	●	★★★	€
		Couvrir les véhicules transportant le digestat	Réduire	NH ₃	★	●	★	€

Figure 6 : Pistes de recommandations techniques pour chaque étape du cycle de vie des installations de méthanisation

3.2.3. Synthèse des dynamiques d'émissions par type d'installations de méthanisation

Les Figures 7 à 11 présentent, sous forme de schémas, les dynamiques d'émissions de gaz à effet de serre, de polluants et d'odeurs pour les principaux types d'installations de méthanisation :

- Méthanisation agricole individuelle (filière agricole à la ferme) ;
- Méthanisation agricole centralisée (filière agricole centralisée) ;
- Méthanisation de boues de stations d'épuration (filière boues de STEP) ;
- Méthanisation d'Ordures Ménagères Résiduelles (OMR ou filière ordures ménagères) ;
- Production de biogaz à partir de déchets provenant d'installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND ou filière production/valorisation biogaz).

Les types d'émissions (GES, polluants, odeurs) lors des phases de fonctionnement, de maintenance et en cas de dysfonctionnement des installations de méthanisation sont aussi précisés sur les différents schémas (Figures 7 à 11). L'importance des émissions est également notée dans la légende des schémas.

Filière agricole à la ferme

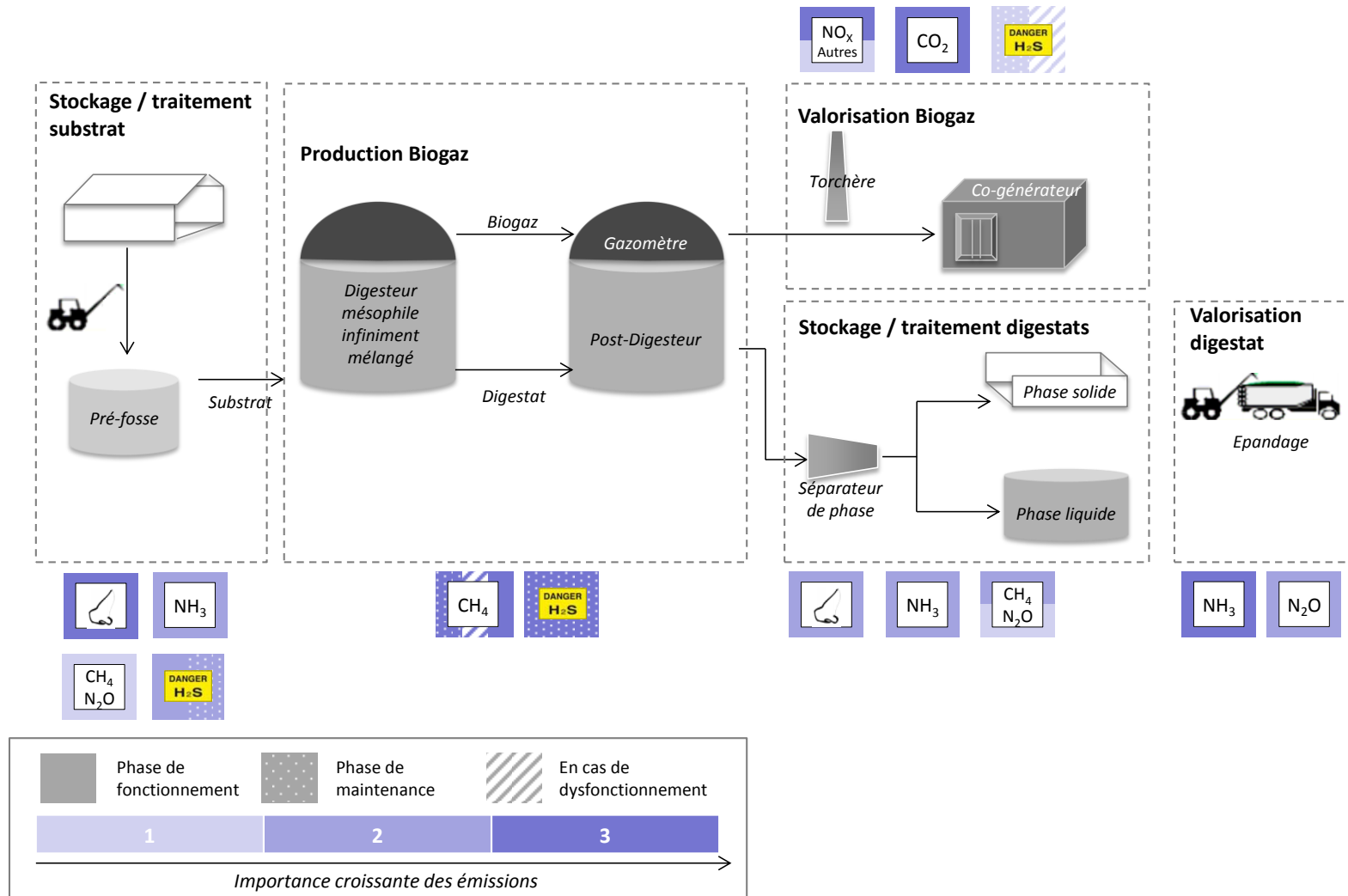


Figure 7 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations agricoles de méthanisation (à la ferme)

Filière agricole centralisée

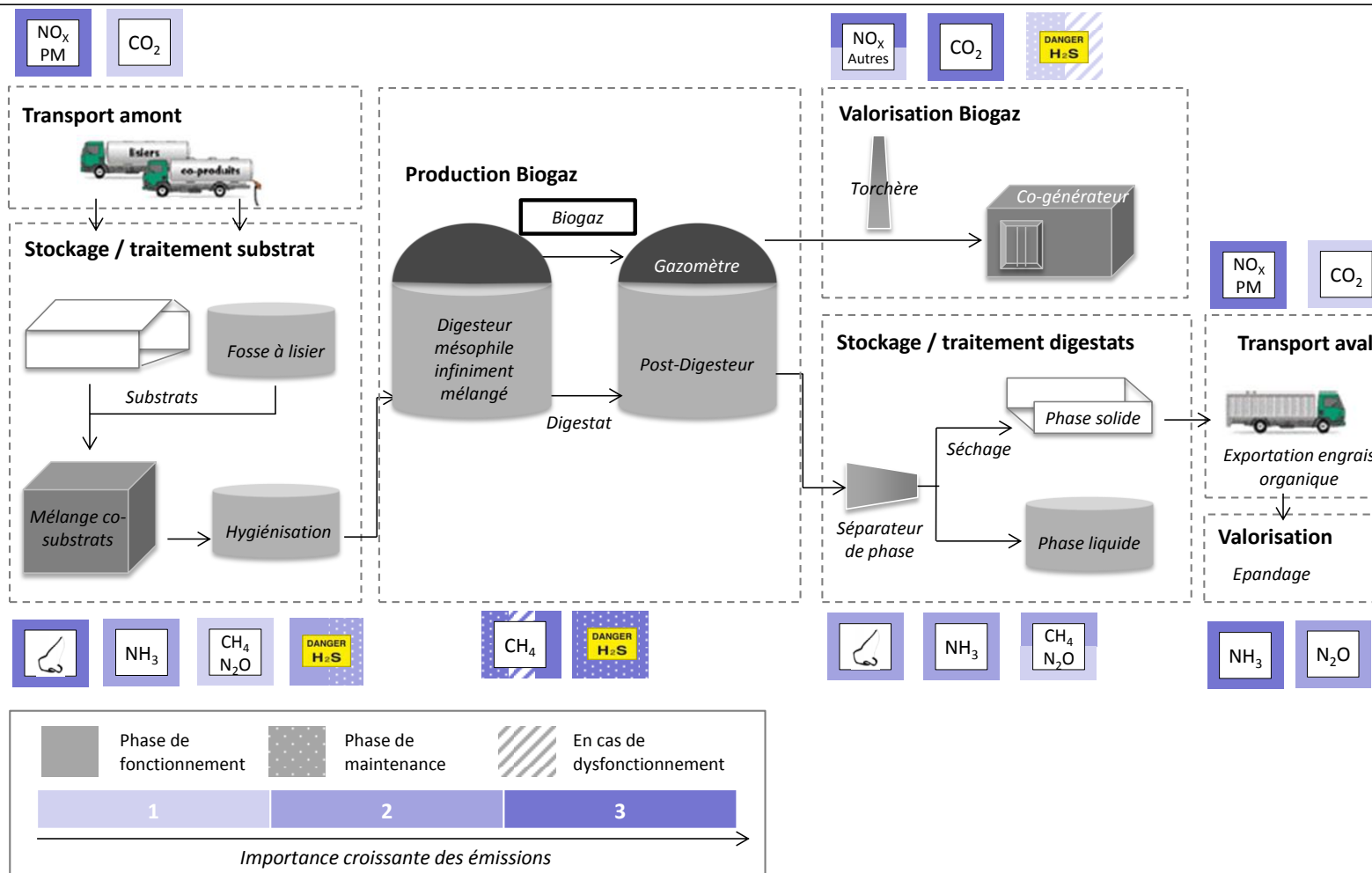


Figure 8 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de méthanisation centralisée

Filière boues de STEP

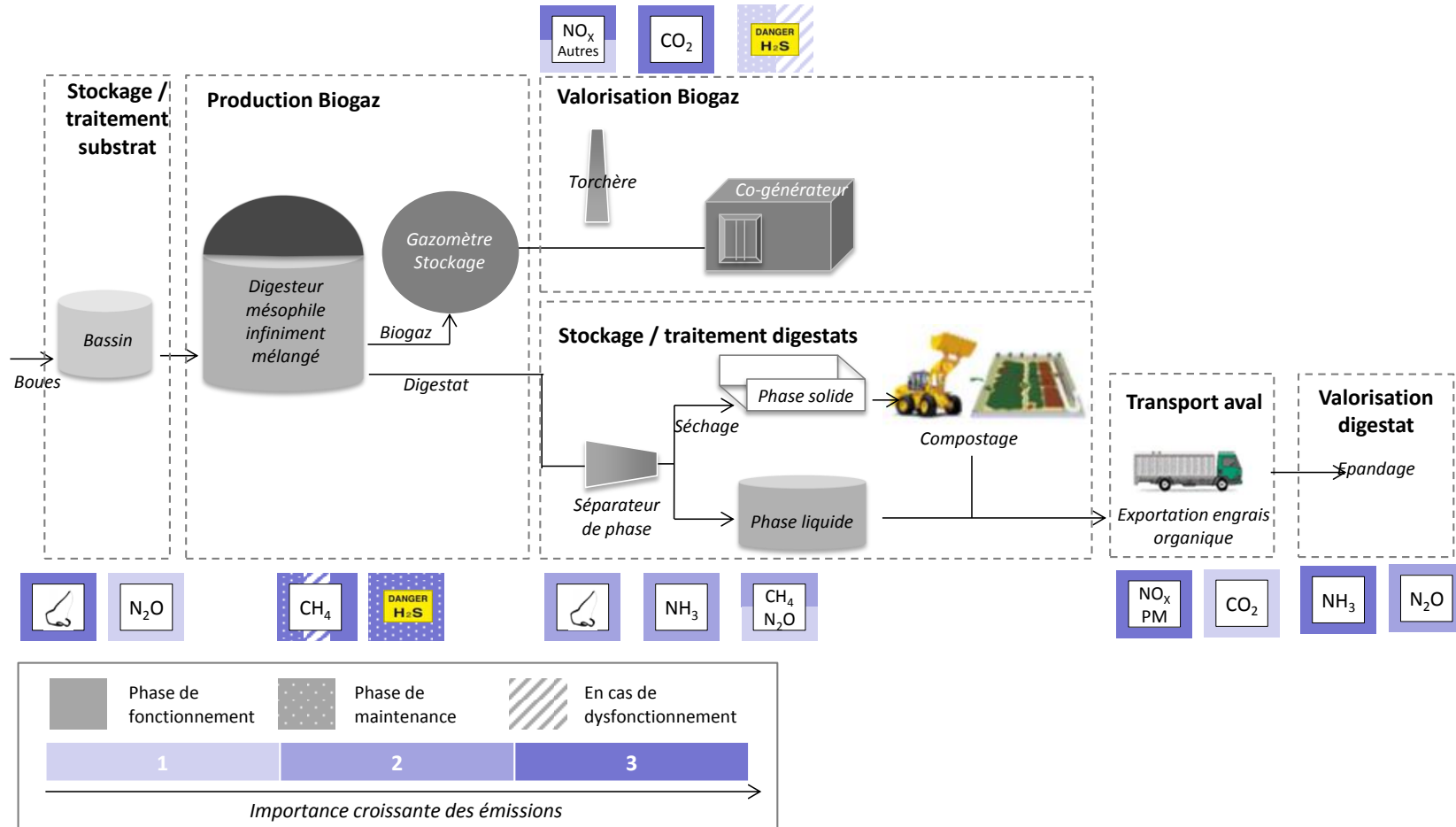


Figure 9 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de méthanisation de boues de STEP

Filière Ordures Ménagères

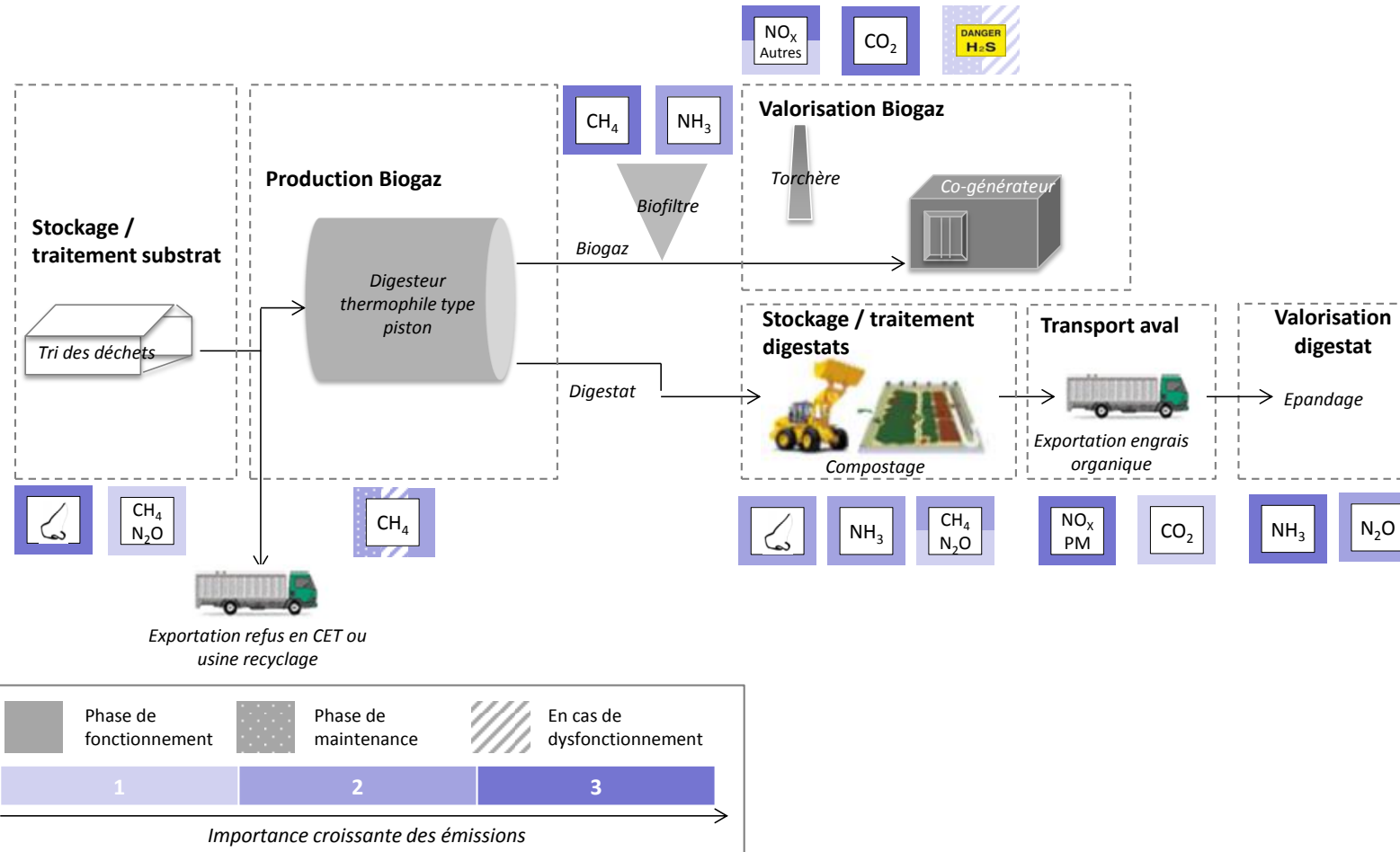


Figure 10 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de méthanisation d'Ordures Ménagères Résiduelles

Filière Production / Valorisation biogaz ISDND

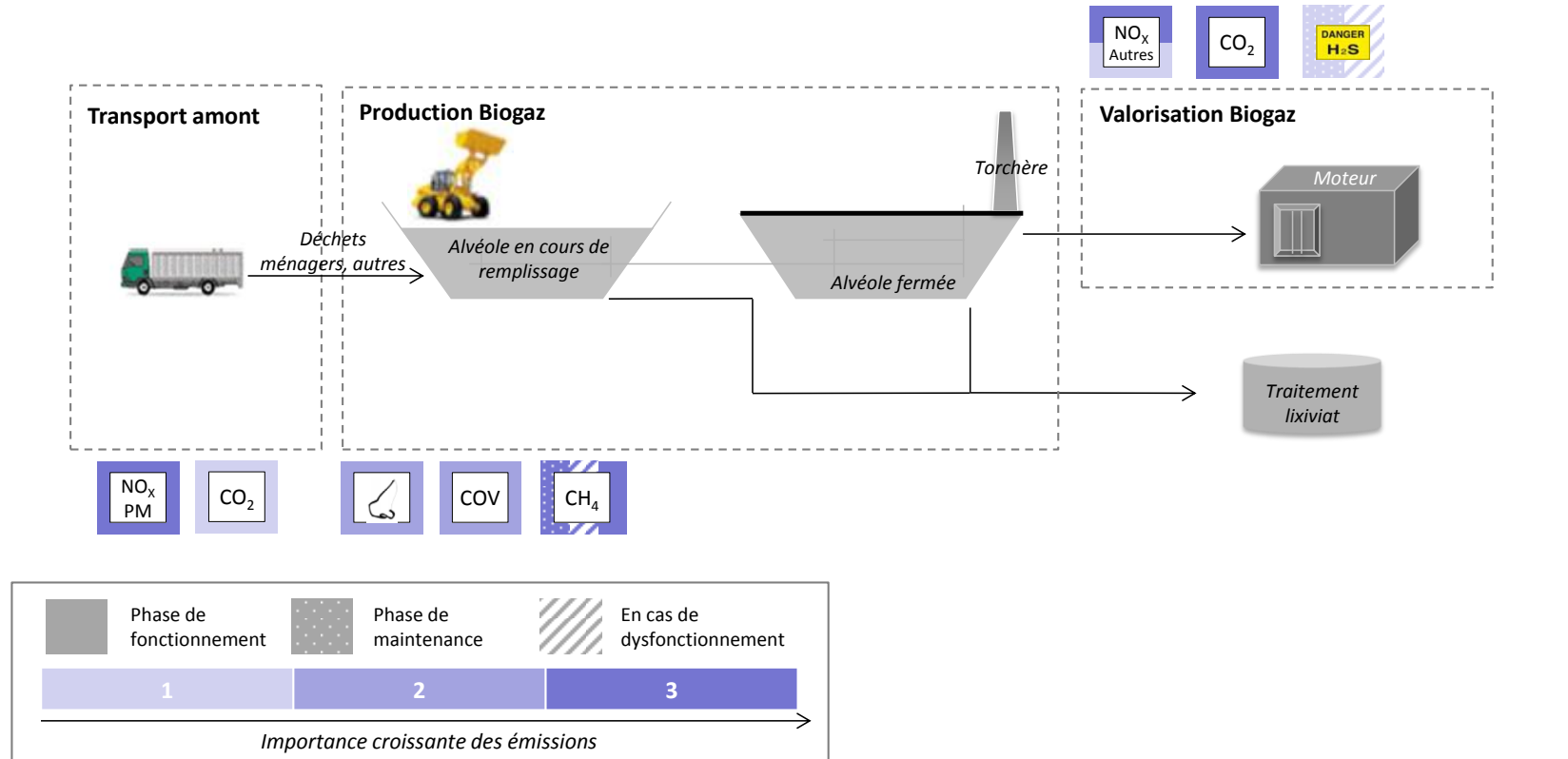


Figure 11 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de production de biogaz à partir des ISDND

4. Les impacts indirects de la méthanisation agricole

Les impacts indirects de la méthanisation sont traités dans cette étude seulement dans le cas de la méthanisation agricole qu'il s'agisse d'installations individuelles à la ferme, collectives ou centralisées.

Quelques précautions d'interprétations sont à rappeler. Cet état des connaissances sur les impacts indirects de la méthanisation s'appuie sur les résultats des entretiens menés avec les différents experts interrogés, et sur l'expertise du bureau d'études Solagro qui est partenaire de cette étude. Aussi, les informations détaillées qui sont présentées dans les points suivants ne sont pas issues des études publiées ni des données statistiques.

Il est apparu intéressant de mener un tel exercice dans le cadre de cette étude car cela n'avait pas encore été mené à ce jour (à notre connaissance).

4.1. Identification des impacts indirects

Parmi les publications recensées pour les besoins de cette étude, aucune référence ne traite spécifiquement des impacts indirects de la méthanisation agricole sur la qualité de l'air. En fait, moins de 10 % des études abordent de façon partielle les impacts indirects (sur les émissions atmosphériques du secteur agricole français en général...). Et la quantification de ces impacts est un sujet encore moins abordée. Ces informations ont pu être confirmées par les experts interrogés dans le cadre de cette étude.

Les impacts indirects de la méthanisation agricole font actuellement l'objet de projets de recherche visant à appréhender ces impacts de façon qualitative et quantitative (dont les résultats seront prochainement disponibles). Les problématiques de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques sont prises en compte notamment dans les projets « Methalae » (coordonné par Solagro) et « Determeen » (coordonné par l'IRSTEA),.

4.2. Modifications causées par la méthanisation agricole

Les entretiens menés avec les experts ont permis de lister les modifications engendrées par la méthanisation sur une exploitation agricole. La Figure 12 présente sous forme d'un schéma les différents types de modifications susceptibles d'être occasionnées suite à l'implantation d'une unité de méthanisation en milieu agricole.

Chaque modification se caractérise par plusieurs éléments (Figure 12) :

- **La nature des activités modifiées** : au niveau des productions animales, végétales, des pratiques de fertilisation et de protection phytosanitaire, de la consommation d'énergie, ainsi que les flux sur le territoire (et donc en dehors de l'exploitation) ;
- **Le type de modification** : au niveau de la technique (ex. changement de matériel), des pratiques agricoles (itinéraire technique d'une culture, conduite de l'élevage), du système agricole (il s'agit d'une modification profonde et globale de l'exploitation, impliquant un niveau de rupture important par rapport à la conduite de l'exploitation précédant l'implantation d'une unité de méthanisation), ainsi que du système énergétique de l'exploitation ;
- **L'échelle de la modification** : au niveau de l'exploitation ou du territoire ;
- **La temporalité de la modification** : celle-ci peut avoir lieu dès le début du projet (ex. changement d'équipement de collecte des déjections d'élevage) ou avoir lieu après 2 à 3 ans de fonctionnement de l'installation de méthanisation (ex. l'introduction d'une culture dérobée en tant que substrat) ;
- **La source d'émissions atmosphériques** qu'elle affecte : il peut s'agir de la consommation d'aliments, du stockage des déjections, de l'utilisation d'engins agricoles, etc. ;
- **Les principales émissions affectées**, en tenant compte des émissions directes et indirectes.

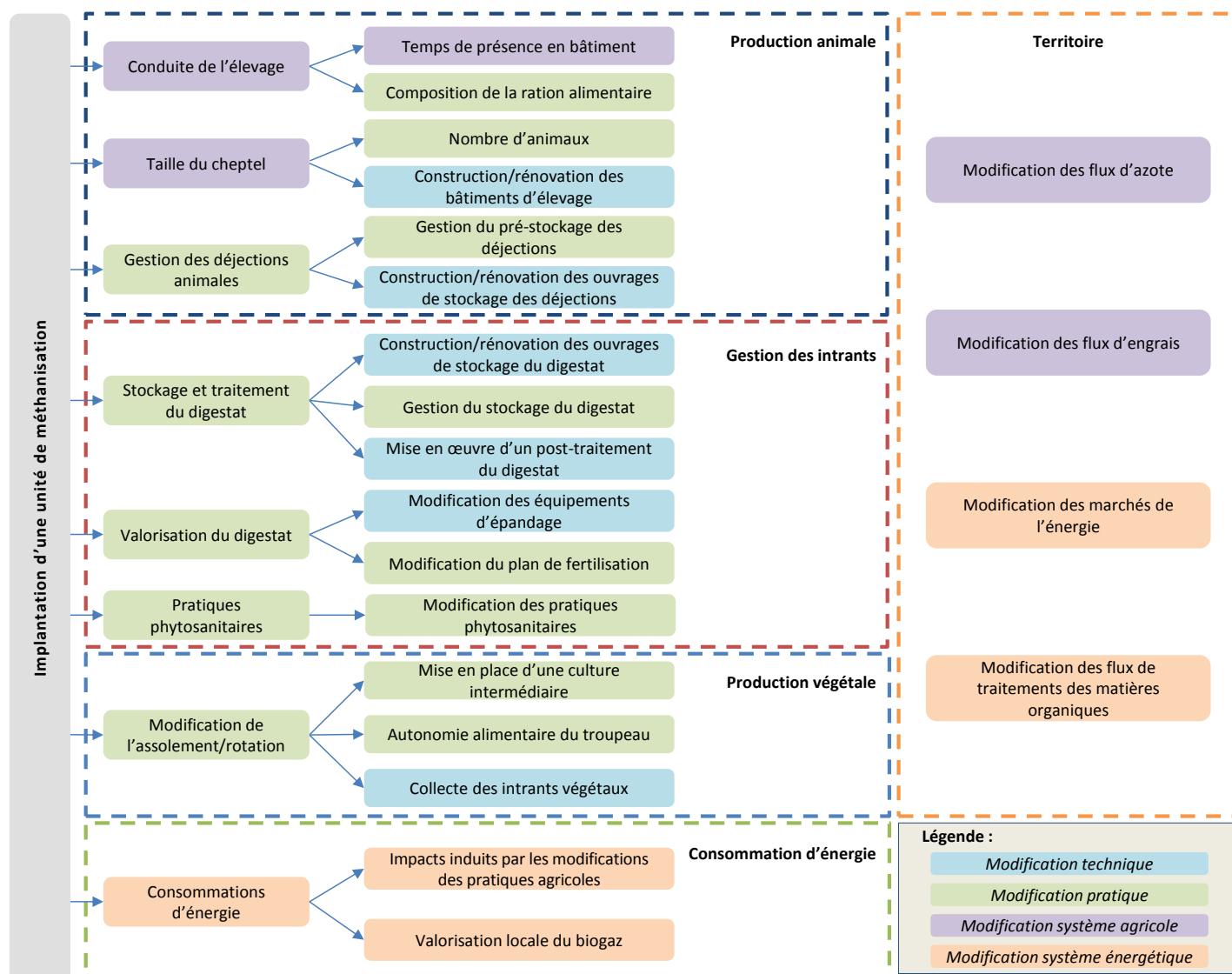


Figure 12 : Schéma des modifications engendrées potentiellement par la méthanisation agricole sur une exploitation agricole ou un territoire

Les informations synthétisées dans la Figure 12 ne prennent pas en compte le fait qu'une modification sur une exploitation agricole peut entraîner d'autres modifications en cascade liées à des changements de raisonnement dans sa globalité. En effet, la mise en place d'une unité de méthanisation invite à réfléchir de manière intégrée et à repenser la complémentarité entre les productions animales et les productions végétales.

4.2.1. Modifications concernant les productions animales

Au niveau des **productions animales**, les principales modifications induites par la mise en place d'une unité de méthanisation sur une exploitation agricole sont les suivantes :

- **La conduite de l'élevage** peut être modifiée pour les deux éléments suivants :
 - **Le temps de présence en bâtiment** des animaux. Une réflexion peut être menée car en effet la quantité de substrats (matières organiques de types effluents/lisiers) mobilisables pour alimenter le digesteur pourrait conduire les exploitants à augmenter la durée de présence en bâtiment des animaux. Cette pratique a deux impacts sur les émissions atmosphériques. Le premier impact, plus les animaux passent de temps dans les bâtiments plus facilement les émissions sont captées (puisque le temps

passé par les animaux hors du bâtiment d'élevage correspond à une durée pour laquelle les émissions atmosphériques ne sont pas séquestrées). Le second impact, quand les animaux ne pâturent pas cela implique souvent une consommation énergétique des engins agricoles pour la récolte du foin des prairies non pâturées ;

- La **ration alimentaire** du troupeau. La diminution du temps de pâture modifie la ration alimentaire du troupeau ce qui peut impliquer dans certains cas une diminution de son autonomie alimentaire. Cela a un impact sur les émissions atmosphériques dans le sens où tout aliment importé sur l'exploitation a potentiellement émis des GES et des polluants lors de sa production. Ainsi, le degré d'autonomie alimentaire du troupeau a un impact sur les émissions atmosphériques indirectes liées à la production des aliments. Au niveau local, la modification de la ration alimentaire peut avoir des conséquences au niveau de la fermentation entérique qui est liée à la composition des aliments ;
- **La taille du cheptel** influe sur les émissions atmosphériques suivant deux paramètres :
 - Le **nombre d'animaux** dans le troupeau est susceptible d'augmenter ou de diminuer dans le cadre d'un projet de méthanisation. Cela conduit à modifier *i*) les besoins en aliments (des produits à trouver sur ou hors exploitation), à influencer *ii*) sur les émissions liées à la fermentation entérique et *iii*) sur la quantité de déjections produites sur l'exploitation (donc sur le volume stocké de déjections (matières organiques) qui est dédié à être méthanisé) ;
 - La **construction et/ou la rénovation des bâtiments d'élevage**. Toute modification de la taille du cheptel peut en effet entraîner des opérations de construction et/ou de rénovation des bâtiments d'élevage ce qui implique des émissions atmosphériques supplémentaires liées aux matériaux et matériels utilisés et à l'utilisation d'engins spécifiques (consommateurs d'énergies fossiles) ;
- La **gestion des déjections** avant leur introduction dans le méthaniseur est considérée être à l'origine des modifications les plus fréquentes observées au niveau global sur une exploitation agricole :
 - L'installation d'une unité de méthanisation peut donner lieu à des opérations de **construction et/ou rénovation des ouvrages de stockage des déjections**, afin de limiter les émissions de méthane (CH₄) lors du stockage ce qui est potentiellement préjudiciables pour la production de biogaz. Les opérations peuvent par exemple concerner la couverture des fosses ;
 - La **gestion du pré-stockage des déjections** est également amenée à être repensée dans le cadre d'un projet de méthanisation, notamment en ce qui concerne la durée de stockage des effluents avant leur introduction dans le digesteur. Cette durée est diminuée généralement afin d'obtenir des matières organiques les plus fraîches possibles ce qui permet de mieux récupérer le CH₄ émis par les effluents. Cette gestion du stockage des déjections est à mettre en relation avec l'impact sanitaire qu'il peut engendrer pour le troupeau.

4.2.2. Modifications concernant la gestion des intrants

Concernant l'utilisation du **digestat**, la mise en place d'une unité de méthanisation peut entraîner les modifications suivantes :

- En termes de **stockage et de traitement du digestat** et en comparaison avec le stockage des déjections brutes :
 - La **construction et/ou rénovation d'ouvrages de stockage** peut être nécessaire pour le stockage du digestat. Comme pour le stockage des déjections, ces modifications peuvent concerner la construction de nouveaux lieux de stockage ou encore de réaliser une couverture de fosses. Couvrir les fosses de

stockage du digestat permet de limiter les émissions dans l'air en ammoniac (NH_3) et en méthane (CH_4) et de récupérer les émissions de CH_4 pour la production de biogaz résiduel ;

- La **gestion du stockage du digestat** devra également être pensée, en lien avec la couverture des fosses et la volonté de récupérer le biogaz résiduel produit lors du stockage du digestat ;
- La mise en œuvre d'un procédé de **post-traitement du digestat** pourra être envisagée, que ce soit par compostage, par séchage, etc. Si le post-traitement se fait par compostage, des émissions de CO_2 d'origine biogénique pourront avoir lieu lors du processus, ainsi que des émissions de CO_2 d'origine fossile si le processus nécessite la consommation d'électricité ou de fioul. En cas de séchage du digestat, des émissions de CO_2 , de NH_3 (s'il n'y a pas de récupération dans les buées) et de particules pourront avoir lieu. Dans les deux cas (compostage et séchage), les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) seront moins élevées à l'épandage comparé aux déjections brutes ;
- Lors de la **valorisation du digestat par épandage**, plusieurs modifications peuvent avoir lieu :
 - Une **modification des équipements d'épandage** est liée à la nature du digestat (brut, solide, liquide, compost, etc.) qui dépend du post-traitement appliqué. Les équipements d'épandage ainsi modifiés vont optimiser l'efficacité de la fertilisation en diminuant les pertes d'azote par volatilisation grâce à l'acquisition d'une rampe à pendillards ou d'enfouisseurs. Mais la modification des équipements agricoles peut entraîner une évolution de la consommation d'énergie fossile ;
 - Une **modification du plan de fertilisation** est liée à la production d'engrais organiques. Ils peuvent remplacer les engrais azotés de synthèse utilisés sur une exploitation agricole, limitant de fait leur consommation et donc les émissions atmosphériques associées à leur production. L'utilisation d'engrais organiques produits sur l'exploitation participe également à diminuer les émissions associées au transport des engrais initialement importés. A noter également que la période d'épandage peut être amenée à évoluer selon le calendrier réglementaire et les besoins agronomiques des cultures. Il est important de savoir que l'épandage est à réaliser dans des conditions climatiques appropriées afin de limiter les émissions d'azote par volatilisation du NH_3 ;
- Concernant les **pratiques phytosanitaires**, celles-ci sont susceptibles d'évoluer, dans la plupart des cas, quelques années après l'installation de l'unité de méthanisation. En effet, la digestion anaérobie est susceptible de dégrader très fortement les graines d'adventices présentes dans les substrats, notamment dans les effluents d'élevage et dans la menue paille (au moins pour une partie des espèces). La menue paille est un mélange de fragments de paille contenant également des graines. Produite lors de la moisson, elle est habituellement laissée au sol. Elle bénéficie d'un très bon pouvoir méthanogène, c'est pourquoi un certain nombre de projets de méthanisation prévoient une adaptation de la moissonneuse-batteuse permettant de la récupérer. La diminution sur le long terme de la pression phytosanitaire permise par la méthanisation des effluents d'élevage et de la menue paille reste aujourd'hui à valider par les retours de terrains. A noter également que certaines installations de méthanisation traitent des refus de fabrication d'industries agroalimentaires, dont la qualité sanitaire pourrait dégrader la qualité du digestat épandu et ainsi entraîner une modification des traitements phytosanitaires nécessaires.

4.2.3. Modifications concernant les productions végétales

Les **productions végétales** peuvent faire l'objet de modifications liées à l'installation d'une unité de méthanisation, que ce soit en lien avec la production de substrat pour la digestion ou avec la fertilisation par le digestat. L'installation d'une unité de méthanisation se traduit le plus souvent par une modification de l'assolement et de la rotation culturale :

- **La gestion de l'interculture** peut être modifiée, notamment par l'introduction d'une culture intermédiaire à vocation énergétique (CIVE) destinée à alimenter le digesteur. Cette modification peut avoir des impacts sur les

émissions atmosphériques liées aux consommations énergétiques des engins agricoles amenés à être utilisés dans le cadre des itinéraires techniques de ces cultures (dont le travail du sol et la récolte), ainsi qu'aux besoins en fertilisation. L'introduction d'une CIVE peut également entraîner une modification des itinéraires techniques de la culture précédente (date de récolte) et de la culture suivante (date de semis, fertilisation précoce avec du digestat...).

- **L'autonomie alimentaire du troupeau** peut être facilitée par le projet de méthanisation. La production de chaleur peut en effet être associée à la mise en place d'une unité de séchage de fourrage, permettant une meilleure production de protéines végétales par rapport à un fanage : organisation des chantiers de fauche des prairies plus indépendante des conditions climatiques, meilleure conservation des protéines, meilleur potentiel de gestion de légumineuses. En outre, la disponibilité d'un double débouché pour le fourrage (troupeau et méthaniseur) confère une souplesse intéressante pour les éleveurs. Enfin, la plus grande disponibilité d'engrais organique rapidement assimilable liée à la production du digestat permet également de fertiliser les cultures dédiées à l'alimentation du troupeau afin de leur fournir une alimentation en plus grande quantité et qualité.
- La **mobilisation des intrants végétaux**, tels que les résidus de culture, est susceptible d'entraîner une adaptation du matériel agricole et une modification de son utilisation. Cela peut se traduire par l'achat de matériel spécifique (récupérateur, presse) et par une modification des consommations énergétiques en carburant ainsi que des émissions atmosphériques en lien avec la production de ce matériel.

4.2.4. Modifications concernant les consommations énergétiques

Les **consommations d'énergie**, sur l'exploitation et sur le territoire, pourront être modifiées suite à l'implantation d'une unité de méthanisation :

- La **valorisation locale du biogaz** produit peut entraîner des modifications des consommations énergétiques sur l'exploitation. En effet, dans le cas de la cogénération, la chaleur produite peut être utilisée sur l'exploitation en substitution aux énergies fossiles. La chaleur peut être utilisée pour chauffer par exemple le digestat ou des bâtiments sur l'exploitation. Une chaleur qui est ainsi utile pour mieux gérer des activités déjà présentes sur l'exploitation ou en lien avec la méthanisation (comme le traitement du digestat par séchage ou évaporation ou le séchage du foin) et aussi pour aider à créer de nouvelles activités sur l'exploitation (mise en place de serres chauffées pour le maraîchage, couplage de la méthanisation à une activité de production de spiruline...). A noter pour de nouvelles activités que des émissions atmosphériques supplémentaires peuvent être produites en cas d'utilisation d'équipements et de matériels associés à ces activités ;
- Des **impacts sur les émissions dus aux pratiques agricoles modifiées en faveur d'une consommation d'énergies fossiles** peuvent être observés. Par exemple, dans le cas d'une utilisation d'engins agricoles réalisant des travaux en lien avec la nouvelle activité de méthanisation. La construction de matériel agricole peut également avoir un impact sur les émissions atmosphériques. Ainsi, le bilan énergétique globale d'une exploitation agricole peut-être modifié.

4.2.5. Modifications à l'échelle du territoire

Au-delà des modifications qui ont lieu sur l'exploitation agricole, l'installation d'une unité de méthanisation peut engendrer des **modifications à l'échelle du territoire** :

- Des **modifications de flux d'azote et d'engrais** sur un territoire peuvent être observées du fait qu'une partie de l'azote restitué par épandage est de l'azote organique (et non minéral). Ainsi, les processus de minéralisation/déminéralisation de l'azote dans les sols sont donc modifiés, tout comme les émissions

atmosphériques qui en résultent (cas de la volatilisation de l'ammoniac). De plus, selon le type de méthanisation (en voie liquide ou en voie sèche) et le type d'installation (individuelle, collective ou centralisée), le volume de digestat disponible à épandre sur le territoire peut varier selon les quantités produites (et non exportées) et les périodes d'épandage du digestat. Cela peut donc entraîner globalement une modification des flux d'azote à l'échelle du territoire. Remplacer l'azote minéral par l'azote organique lors des épandages est une pratique favorable pour agir sur les marchés des engrais sur un territoire puisque le besoin en engrais minéraux est moindre ;

- Les **flux de matières organiques** sur un territoire peuvent être modifiés, dans le cas de la méthanisation centralisée surtout qui intègre une plus grande proportion de déchets non agricoles en tant que substrat pour la digestion anaérobie. Ainsi, cela peut conduire à des impacts sur les filières de traitement de référence des matières organiques, telles que la fraction organique des ordures ménagères ou les résidus d'industries agroalimentaires, et par conséquent influencer les émissions atmosphériques associées à ces filières. Les émissions atmosphériques relatives au transport des matières organiques vers l'unité de méthanisation (par une combustion d'énergies fossiles) peuvent également faire évoluer le bilan global des émissions atmosphériques ;
- Les **marchés de l'énergie** sur le territoire peuvent également être modifiés suite à l'utilisation d'énergies renouvelables en substitution aux énergies fossiles et fissiles, d'une part, par une utilisation locale des énergies renouvelables (plus particulièrement de la chaleur) et d'autre part, par l'utilisation du biogaz en injection dans les réseaux énergétiques.

Le Tableau 2 caractérise les modifications engendrées par l'installation d'une unité de méthanisation sur une exploitation agricole suivant plusieurs critères :

- Nature des activités ;
- Type de modification échelle ;
- Temporalité de la modification ;
- Sources d'émissions atmosphériques ;
- Et types d'émissions.

Il est à noter qu'aucune quantification ou hiérarchisation des impacts est notée dans ce tableau.

MODIFICATIONS			ECHELLE	TYPES	TEMPORALITE		SOURCES d'émissions	TYPES d'émissions		
					Début projet	2-3ans après		Scope 1 : émissions directes		Scope 2 : émissions indirectes
								Principales	Secondaires	
Productions animales	Conduite de l'élevage	Temps de présence en bâtiment	Exploitation	Système		x	Consommation d'aliments et bâtiment			CO ₂ , N ₂ O
		Composition de la ration alimentaire	Exploitation	Pratique		x	Fermentation entérique et bâtiment	CH ₄	NH ₃ , COVNM	
	Taille du cheptel	Nombre d'animaux	Exploitation	Pratique		x	Stockage des déjections et bâtiment	CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O	COVNM, H ₂ S	
		Construction, rénovation bâtim. élevage	Exploitation	Technique		x	Utilisation d'engins et bâtiment	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
	Gestion des déjections animales	Construction, rénovation des ouvrages de stockage des déjections	Exploitation	Technique	x		Stockage des déjections	CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O	COVNM, H ₂ S	
		Gestion du pré-stockage des déjections	Exploitation	Pratique	x		Stockage des déjections	CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O	COVNM, H ₂ S	
Gestion des intrants	Stockage et traitement du digestat	Mise en œuvre d'un post-traitement	Exploitation	Technique	x		Utilisation d'engins et d'énergie et émissions liées aux procédés de post-traitement	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
		Construction, rénovation d'ouvrages de stockage/digestat (couverture des fosses)	Exploitation	Technique	x		Stockage du digestat	NH ₃		
		Gestion du stockage du digestat	Exploitation	Pratique	x		Stockage du digestat	CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O	COVNM, H ₂ S	
	Valorisation du digestat	Modification des équipements d'épandage	Exploitation	Technique	x		Emissions à l'épandage (volatilisation) / Utilisation d'énergie supplémentaire	NH ₃ , CO ₂ , NO _x , PTS		
		Modification du plan de fertilisation	Exploitation	Pratique	x		Consommation d'engrais minéraux	N ₂ O, NH ₃		CO ₂ , N ₂ O
	Pratiques phytosanitaires	Modif. des pratiques phytosanitaires	Exploitation	Pratique		x	Traitements phyto. et utilisation engins agricoles	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	CO ₂
Productions végétales	Modification de l'assolement/rotation	Mise en place de culture intermédiaire	Exploitation	Pratique			Travail du sol / utilisation du digestat	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
		Autonomie alimentaire du troupeau (séchage de fourrage, digestat disponible)	Exploitation	Pratique	x	x	Consommation d'aliments			CO ₂ , N ₂ O
		Collecte de résidus de culture	Exploitation	Technique	x		Utilisation des engins	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
Consommations d'énergie		Valorisation locale du biogaz	Exploitation	Syst. énerg.	x		Substitution aux énergies fossiles	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
		Impacts induits par modif. pratiques conso.	Exploitation	Syst. énerg.	x		Issues de l'utilisation d'engins agricoles	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
Flux sur le territoire		Modification des flux d'azote	Territoire	Système	x		Consommation d'engrais minéraux	N ₂ O, NH ₃		CO ₂ , N ₂ O
		Modification des flux d'engrais	Territoire	Système	x		Consommation d'engrais minéraux	N ₂ O, NH ₃		CO ₂ , N ₂ O
		Modification des flux de traitement MO	Territoire	Système	x		Transport des MO (combustion d'énergies fossiles)	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	
		Modification des marchés de l'énergie	Territoire	Système énergétique	x		Utilisation du biogaz et substitution aux énergies fossiles (combustion) et fossiles	CO ₂ , NO _x , PTS	SO ₂	

Tableau 2 : Caractérisation des modifications entraînées par la méthanisation sur une exploitation agricole

Un autre exercice est réalisé sur les impacts indirects de la méthanisation agricole (Tableaux 3 et 4). Pour chacune des modifications, deux indicateurs ont pu être définis à dire d'experts :

- L'**occurrence de la modification** au sein des exploitations agricoles qui ont mis en place une installation de méthanisation (< 20 % ; de 20 à 50 % ; de 50 à 80 % ; > 80 %) ;
- L'**évolution générale des émissions atmosphériques** (de façon simplifiée) qui est définie par plusieurs modalités (diminution forte, diminution modérée, neutre, augmentation modérée).

Le Tableau 3 met en évidence que certaines des modifications mises en œuvre sur une exploitation agricole sont plus ou moins fréquentes (occurrence), suite à l'installation de l'unité de méthanisation. Ces modifications ont une influence sur l'évolution des émissions atmosphériques avec des effets variables sur le bilan global des émissions d'une exploitation agricole. Il est important de rappeler que les tendances définies dans le cadre du périmètre de cet exercice ne sont pas à généraliser à l'ensemble des cas français d'installations d'unité de méthanisation.

Trois cas types d'unité de méthanisation, choisis comme représentatifs en France de la filière méthanisation agricole actuelle (NB : tout en étant nécessairement réducteurs étant donné le faible nombre de cas étudié), sont étudiées comme périmètre de cet exercice. Ces cas étudiés sont caractérisés par plusieurs critères (Tableau 4) :

- Le type d'unité de méthanisation agricole (individuelle, collective, centralisée) ;
- La ration de matières organiques nécessaires au fonctionnement du digesteur ;
- Le dimensionnement de l'unité de méthanisation (selon le tonnage en substrat, le volume de méthane produit et la puissance électrique fournie) ;
- Le devenir du digestat (prise en compte d'un traitement potentiel et d'une potentielle exportation) ;
- Le type de valorisation énergétique (cogénération ou injection).

Cette tentative d'étude des impacts n'est pas réalisée à partir de données statistiques et ne constitue donc pas une référence en soi. Il peut toujours se trouver un exemple particulier contredisant les éléments présentés dans le Tableau 3.

Modifications		Occurrence de la modification			Evolution générale des émissions (simplifiée)	
		Cas-type 1	Cas-type 2	Cas-type 3		
Productions animales	Conduite de l'élevage	Temps de présence en bâtiment	De 20% à 50%	<20%	<20%	Augmentation modérée
		Composition de la ration alimentaire	De 20% à 50%	De 20% à 50%	<20%	Augmentation modérée
	Taille du cheptel	Nombre d'animaux	De 20% à 50%	<20%	<20%	Neutre
		Construction, rénovation de bâtiments d'élevage	De 20% à 50%	<20%	<20%	Neutre
	Gestion des déjections animales	Construction, rénovation des ouvrages de stockage des déjections	>80%	De 50% à 80 %	De 20% à 50%	Diminution forte
Gestion du pré-stockage des déjections		>80%	>80%	>80%	Diminution modérée	
Fertilisation et phytosanitaires	Stockage et traitement du digestat	Mise en œuvre d'un post-traitement du digestat	De 20% à 50%	De 50% à 80 %	<20%	Augmentation modérée
		Construction, rénovation des ouvrages de stockage du digestat	>80%	De 50% à 80 %	De 20% à 50%	Diminution forte
		Gestion du stockage du digestat	>80%	>80%	>80%	Diminution forte
	Valorisation du digestat	Modification des équipements d'épandage	>80%	>80%	>80%	Neutre
		Modification du plan de fertilisation	>80%	>80%	>80%	Diminution modérée
Pratiques phytosanitaires	Modification des pratiques phytosanitaires	De 50% à 80 %	De 50% à 80 %	<20%	Diminution modérée	
Productions végétales	Mise en place d'une culture intermédiaire	De 20% à 50%	De 20% à 50%	<20%	Augmentation modérée	
	Autonomie alimentaire du troupeau	De 50% à 80 %	De 50% à 80 %	De 20% à 50%	Diminution modérée	
	Collecte des intrants végétaux	De 20% à 50%	De 20% à 50%	De 20% à 50%	Augmentation modérée	
Consommations d'énergie	Valorisation locale du biogaz	>80%	De 20% à 50%	<20%	Diminution forte	
	Impacts induits par les modifications des pratiques agricoles	>80%	De 20% à 50%	<20%	Augmentation modérée	
Flux sur le territoire	Modification des flux d'azote	>80%	>80%	>80%	Diminution modérée	
	Modification des flux d'engrais	>80%	>80%	>80%	Diminution modérée	
	Modification des flux de traitement des matières organiques	<20%	De 20% à 50%	>80%	Neutre	
	Modification des marchés de l'énergie	>80%	>80%	>80%	Diminution forte	

Tableau 3 : Caractérisation des modifications induites par la méthanisation selon leur occurrence et l'évolution générale des émissions atmosphériques

Cas-Types	Types d'unité de méthanisation	Ration de matières organiques	Système agricole	Dimension de l'unité	Gestion du digestat		Valorisation énergétique
					Localisation de la valorisation	Traitement du digestat	
1	Individuelle	Effluents d'élevage majoritaires et compléments de végétaux agricoles	Bovin lait – 250 ha de SAU - 4000t/an – 80 % déjections animales	150 kWe – 40 m ³ CH ₄ /h	Exploitation agricole	Absence de traitement (Digestat brut)	Cogénération
2	Collective	Effluents d'élevage majoritaires et compléments de végétaux agricoles	6 exploitations – Divers OTEX – 20 000t/an – 60 % déjections animales	500 kWe – 135 m ³ CH ₄ /h	Plusieurs exploitations d'un territoire	Traitement possible (Séparation de phase, séchage)	Cogénération ou injection
3	Centralisée	Effluents d'élevage, résidus de végétaux, autres déchets agroindustriels	40 exploitations – Divers OTEX – 75 000t/an – 50 % déjections animales	2 MWe – 530 m ³ CH ₄ /h	Exportation possible	Traitement poussé (Evapo-concentration, séchage, filtration membranaire)	Injection

Tableau 4 : Trois cas-types pour l'étude des impacts indirects de la méthanisation agricole

NB : Il n'est pas possible d'être exhaustif en termes de représentativité des projets de méthanisation agricole en France. Toutefois, ces cas-types sont considérés être représentatifs de la filière agricole actuelle, et présentent des cas contrastés (à titre d'illustration, le choix a été fait de ne pas faire apparaître la méthanisation en voie sèche dans les cas-types puisque ce type de méthanisation n'est actuellement pas le modèle dominant et que peu de données sont disponibles). Ces trois cas-types sont donc des **cas moyens et simplifiés** de projets de méthanisation qui peuvent se développer en France.

5. Application à deux cas d'exploitation agricole : quantification des impacts directs et indirects

5.1. Présentation de l'approche proposée

D'après l'analyse bibliographique réalisée pour cette étude et les entretiens menés avec plusieurs experts, il apparaît que les connaissances relatives aux émissions atmosphériques des installations de méthanisation à la ferme, dans un contexte français, sont en cours de développement. Il y a bien plusieurs retours d'expérience intéressants et des projets de recherche récents, mais leurs résultats ne sont pas encore disponibles pour en tenir compte dans le cadre de cette étude. La production de données de référence et la consolidation des méthodologies existantes sont des pré-requis nécessaires pour généraliser les évaluations des émissions atmosphériques (GES, polluants et odeurs) issues des installations de méthanisation à la ferme.

Dans le cadre de cette étude, une évaluation simplifiée et indicative a néanmoins pu être réalisée. Elle s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- **Outil d'évaluation utilisé :** L'outil DIGES⁶ qui est adapté pour les installations de type méthanisation à la ferme. Il est développé par l'IRSTEA et diffusé par l'ADEME (NB : Les agents de l'ADEME l'utilisent dans le cadre de l'évaluation des demandes d'aides de projets). Cet outil permet de réaliser un bilan des émissions de gaz à effet de serre pour des installations de digestion anaérobie. La méthodologie générale appliquée dans l'outil DIGES est décrite dans la Figure 13.
- **Typologie d'installations étudiées :** Deux installations de méthanisation agricole différentes sont choisies pour tester cette méthode d'évaluation simplifiée afin de quantifier les impacts directs et indirects de la méthanisation. Ces deux unités sont actuellement en fonctionnement et installées en France. Les choix réalisés dans l'évaluation, sur les installations et les données d'activités, ont été discutés en étroite collaboration avec une Direction Régionale de l'ADEME. Le Tableau 5 présente les principales caractéristiques des deux installations de méthanisation retenues (cas 1 et cas 2).
- **Périmètre de l'analyse :** Le principe général de l'outil DIGES est conservé pour cette évaluation simplifiée, c'est-à-dire qu'il est pris en compte un scénario de référence (exploitation agricole sans installation d'une unité de méthanisation), lequel est comparé avec un scénario intégrant une unité de méthanisation permettant le traitement des substrats entrants (et co-substrats le cas échéant). Les émissions directes de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et N₂O) sont analysées. Une analyse critique est aussi réalisée sur les émissions atmosphériques de quelques polluants et de leurs impacts indirects.
- **Analyse de sensibilité :** Une analyse de sensibilité est réalisée, portant principalement sur le taux de fuites (exprimé en pourcentage de production de méthane au niveau du digesteur) sur la base des informations identifiées dans l'analyse bibliographique. Les Trois scenarii suivants sont pris en compte :
 - Absence de fuites du digesteur (ce qui correspond à l'hypothèse de base de l'outil utilisé) ;
 - 2,5 % de fuites du digesteur ;
 - et 6,75 % de fuites du digesteur (Les deux derniers scenarii étant volontairement contrastés et basés sur une revue de la littérature).

⁶ <http://www.optigede.ademe.fr/methanisation>

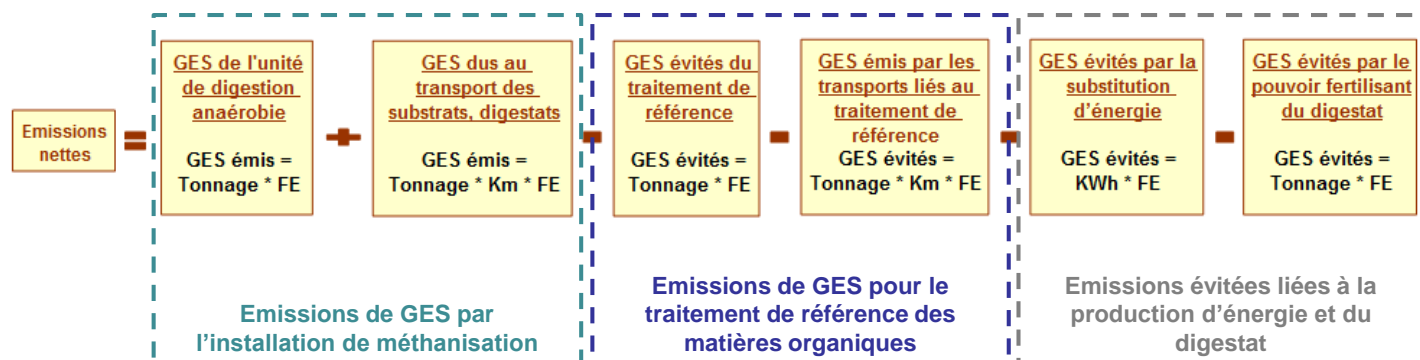


Figure 13 : Méthodologie appliquée dans l'outil DIGES

Paramètres	Cas 1 : Installation individuelle	Cas 2 : Installation centralisée
Profil exploitation	380 ha, dont la moitié de céréales (colza, blé, orge), 120 vaches laitières	640 ha, 300 vaches allaitantes en stabulation libre + 1 atelier de volailles
Descriptif méthanisation	Pré-fosse couverte avec récupération de biogaz, 1 digesteur et 1 fosse de stockage du digestat couverte sans récupération du biogaz	Pré-fosse couverte sans récupération du biogaz, 2 digesteurs et 1 fosse de stockage du digestat non couverte. Valorisation de la chaleur au niveau de l'exploitation
Substrats entrants	6 500 tonnes de substrats, dont 4 000 t de fumier de bovins, 1 400 t d'ensilage d'herbe, lisier de bovins et ensilage de maïs	10 000 tonnes de substrats, dont 4 700 t de fumier de bovins, 3 500 t de biodéchets ménagers, 1 200 t d'eaux grasses, fumier de volailles, graisses de restauration, herbe fraîche et lisier de bovins
Puissance installée	190 kW électriques et 220 kW thermiques	500 kW électriques et 560 kW thermiques
Production de biogaz	766 440 m ³	1 288 703 m ³

Tableau 5 : Principales caractéristiques des installations de méthanisation agricole retenues pour l'étude d'évaluation simplifiée sur la quantification des impacts directs et indirects

5.2. Quantifications des émissions de gaz à effet de serre

L'objectif principal est d'illustrer par deux exemples (cas n°1 et cas n°2) la quantification des émissions de GES pour mettre en évidence quelques enjeux remarquables. **Les résultats obtenus dans cette partie du rapport ne peuvent pas être généralisés.** Une évaluation plus détaillée (de type ACV) serait nécessaire pour parvenir à des conclusions robustes.

Ces deux études de cas ont mis en évidence une différence significative, de l'ordre de 50 %, entre les résultats obtenus avec l'outil d'évaluation DIGES (production théorique de biogaz et d'énergie valorisée) et ceux mesurés au niveau de l'exploitation (production réelle de l'exploitation). Une analyse plus poussée des émissions de protoxyde d'azote (N₂O), notamment à l'épandage, n'a pas pu être réalisée faute d'avoir recensé suffisamment de données sur les facteurs d'émission dans la littérature. Il convient de préciser que les émissions des différents gaz à effet de serre (dioxyde de carbone issu de la combustion d'énergie fossile ou encore fuite de méthane par exemple) ont été rapportées en tonne équivalent CO₂ en appliquant le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) du gaz concerné.

5.2.1. Cas de l'installation n°1 (de type agricole individuelle)

Les Figures 14 et 15 illustrent le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) au niveau de l'exploitation agricole n°1 (méthanisation à la ferme individuelle), en estimant grâce à l'outil d'évaluation DIGES, d'une part, les émissions directes qui ont lieu lors des différentes étapes du cycle de vie (cf. Chapitre 1), et d'autre part, les émissions évitées grâce à une substitution d'énergies fossiles par des énergies renouvelables et par la soustraction des émissions du scénario de référence. La Figure 14 compare les bilans d'émissions de GES entre une situation de référence (exploitation agricole sans méthanisation) et une situation avec une installation de méthanisation. La Figure 15 présente une analyse de sensibilité sur le paramètre du « Taux de fuites de méthane (CH₄) » au niveau de l'installation n°1.

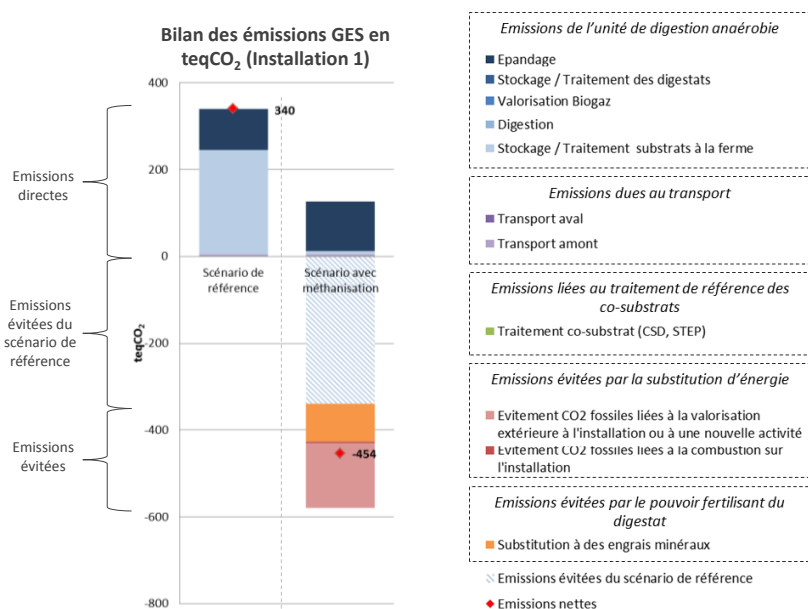


Figure 14 : Bilan des émissions de GES – comparaison entre un scénario de référence (sans méthanisation) et le scénario de l'installation n°1 (méthanisation à la ferme individuelle)

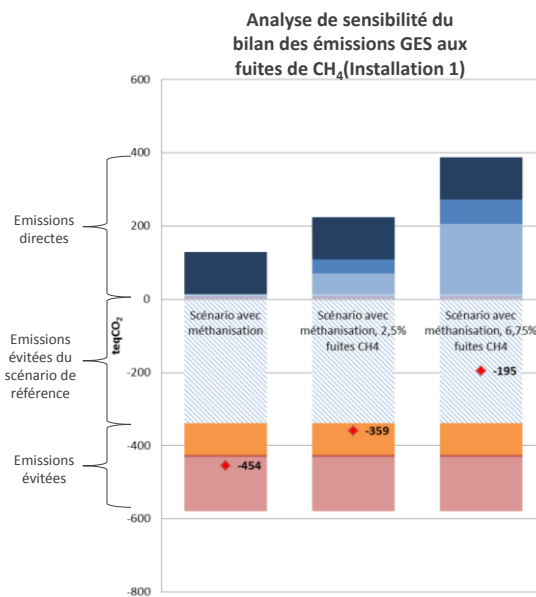


Figure 15 : Analyse de sensibilité du bilan GES aux fuites de méthane pour l'installation n°1

L'analyse du bilan des émissions de GES met en évidence les points suivants (Figure 14) :

- L'installation d'une unité de méthanisation sur l'exploitation agricole (cas n°1) permet de réduire de façon importante le bilan des émissions de gaz à effet de serre, comparé à une situation de référence sans méthanisation. Les émissions directes sont réduites, notamment si l'on évite les émissions lors du stockage des substrats (puisque leur durée de stockage est réduite pour la digestion anaérobie). La couverture des fosses de stockage (substrats et digestats) et la récupération du biogaz sont des pratiques qui permettent également de réduire significativement les émissions de GES par rapport à une situation de référence. Cela s'illustre par la quasi-absence d'émissions lors du stockage des substrats. Enfin, la production du biogaz et celle du digestat permettent respectivement de substituer, d'une part, les énergies fossiles pour le chauffage de l'exploitation et de l'habitation, et d'autre part, les engrais azotés de synthèse pour la fertilisation ;
- Suivant les règles d'évaluation et le périmètre de l'étude qui sont fixés⁷, il est estimé que l'installation de méthanisation n°1 permet d'éviter des émissions annuelles jusqu'à 454 teqCO₂. Si les conditions changent, l'ensemble des émissions de GES du scénario de référence ne sont pas soustraites et le bilan global devient alors moins favorable avec des émissions annuelles évitées de seulement 114 teqCO₂ ;
- Les étapes liées au transport sont négligeables (de l'ordre de 1 %) quelle que soit la situation évaluée.

L'analyse de sensibilité du bilan GES aux fuites de méthane au niveau des étapes de production et de valorisation du biogaz met en évidence les points suivants (Figure 15) :

- Une prise en compte d'un taux de fuites variable impacte très fortement le bilan global des émissions de GES de l'installation (les émissions nettes de GES sont représentées par des losanges). Selon les règles d'évaluation fixées précédemment, le bilan net des émissions reste négatif même pour un taux de fuite du digesteur de l'ordre de 6,75 % (de 195 à 454 teqCO₂ évités selon la sensibilité des incertitudes sur les émissions). Il faut cependant garder à l'esprit que l'exercice proposé ici est indicatif et dépend du choix du périmètre de l'évaluation (dans le cas précis, c'est-à-dire avec une prise en compte de l'évitement des émissions du scénario de référence). De manière générale, seule une évaluation détaillée (de type ACV) sur un périmètre exhaustif permet de présenter des conclusions robustes.

L'étude de l'installation n°1 met ainsi en perspective les incertitudes importantes sur les fuites potentielles de CH₄ (présentées au Chapitre 3 dans les phases de « Production de biogaz », et de « Stockage et valorisation de biogaz ») qui peuvent fortement impacter le bilan des émissions. Cela renforce la nécessité de connaître les émissions non maîtrisées de méthane sur les installations de méthanisation.

5.2.2. Cas de l'installation n°2 (de type agricole centralisée)

L'installation de méthanisation n°2 est une unité centralisée dans une exploitation agricole qui s'approvisionne avec des substrats provenant hors de l'exploitation. Le périmètre étudié dans la situation de référence sans méthanisation est donc différente comparé à l'installation n°1. En effet, la situation de référence prendra en compte d'une part, les émissions liées aux matières organiques produites sur l'exploitation agricole, et d'autre part, celles dues aux matières organiques traitées en station d'épuration et en centre de stockage des déchets (noté par « co-substrats » dans la situation avec méthanisation).

L'analyse du bilan des émissions de GES présenté à la Figure 16 permet de confirmer et de préciser les points précédemment décrits :

- L'étape du transport est négligeable dans une situation de référence (sans méthanisation), en revanche elle devient significative en cas d'approvisionnement en co-substrats nécessaires pour une installation de méthanisation centralisée ;
- Le bilan des émissions directes de GES est plus élevé dans le cas de l'installation n°2 comparé à l'installation n°1 en raison, d'une part de l'augmentation des distances parcourues pour s'approvisionner en co-

⁷ Une prise en compte des émissions atmosphériques avec l'installation de méthanisation sur l'exploitation agricole (Cas n°1) et l'évitement des émissions liées au scénario de référence

substrats et d'autre part, de l'absence d'une couverture de fosses au niveau du stockage du digestat. Par rapport à une situation de référence, certaines pratiques mises en œuvre dans le cas de l'installation n°2 permettent de réduire les émissions de méthane : la couverture des fosses de stockage des substrats et des durées réduites de stockage des substrats agricoles. La substitution des énergies fossiles grâce à la valorisation du biogaz et du digestat permet aussi de réduire le bilan global des GES ;

- Dans le cadre des règles fixées⁸ pour l'évaluation des émissions de GES dans le périmètre de cette étude, il est estimé que l'installation n°2 permet d'éviter des émissions annuelles jusqu'à 1 050 teqCO₂ ;

L'analyse de sensibilité du bilan GES vis-à-vis du taux de fuite de méthane montre également l'importance de l'impact des émissions non maîtrisées (Figure 17). Des connaissances seraient à approfondir et à consolider par des évaluations complètes de type ACV et par l'acquisition de données de terrain via des campagnes de mesures dans des exploitations agricoles en fonctionnement. L'analyse de sensibilité dans le cas de l'installation n°2 donne un bilan net des émissions qui reste négatif (de 542 à 1 050 teqCO₂ évités selon la sensibilité des incertitudes sur les émissions).

Ce cas pratique n°2 permet de confirmer l'importance de bien définir les critères d'évaluation et de quantification pour la réalisation d'un bilan net des émissions de gaz à effet de serre (GES). En effet, selon le périmètre et la prise en compte des émissions non maîtrisées de méthane, l'analyse peut mettre en évidence un bilan des émissions différent. Il conviendrait par conséquent de prendre en compte un périmètre exhaustif incluant notamment l'évitement des émissions du scénario de référence et aussi les émissions « indirectes », c'est-à-dire celles liées aux modifications engendrées par l'installation d'une unité de production et de valorisation de biogaz.

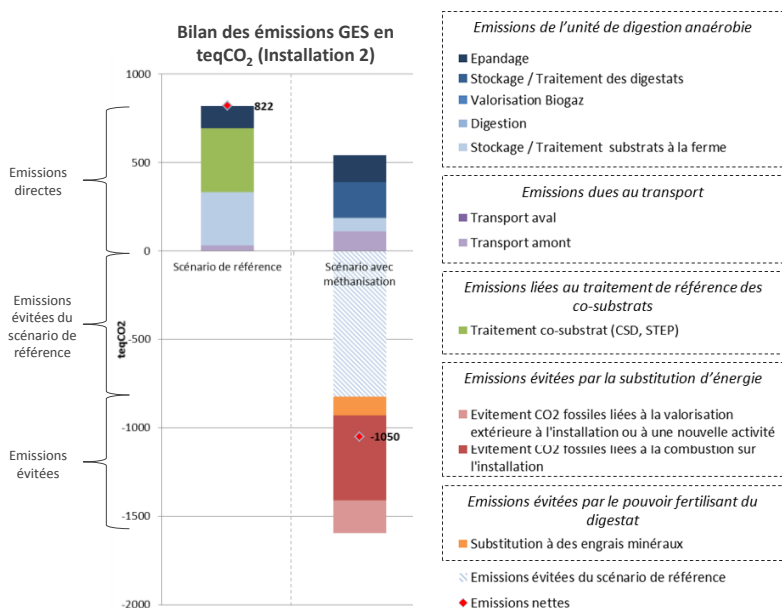


Figure 16 : Bilan des émissions de GES – comparaison entre un scénario de référence (sans méthanisation) et le scénario de l'installation n°2 (méthanisation à la ferme centralisée)

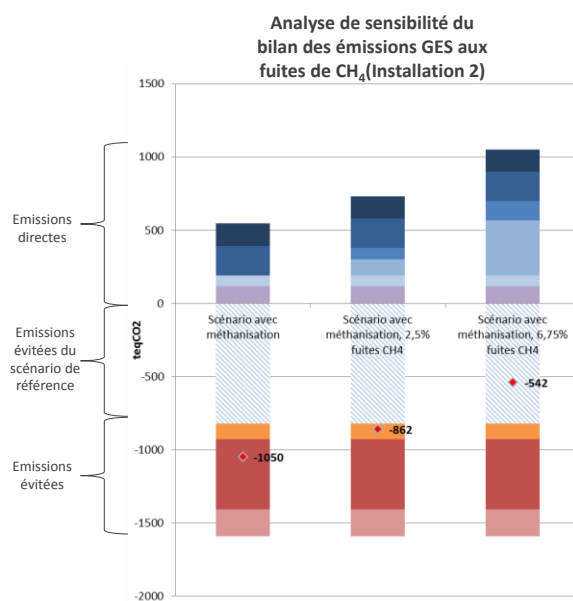


Figure 17 : Analyse de sensibilité du bilan GES aux fuites de méthane pour l'installation n°2

⁸ Une prise en compte des émissions dues à une installation de méthanisation dans la gestion globale de l'exploitation agricole et l'évitement des émissions dans le cas du scénario de référence

5.3. Quantification des émissions de polluants atmosphériques

L'exercice tenté dans le cadre de cette étude pour estimer les émissions de polluants atmosphériques par des installations de méthanisation sur deux exploitations agricoles (cas n°1-unité individuelle et cas n°2-unité centralisée) ne permet pas de conclure et de présenter un bilan détaillé par polluant.

L'évaluation des émissions de polluants, basée sur une analyse bibliographique, permet en revanche de confirmer les points suivants (Figure 18) :

- Un exercice d'évaluation simplifiée des émissions de polluants présente un intérêt limité et de nombreuses limites. Il est nécessaire de réaliser une ACV complète pour pouvoir présenter des résultats robustes ;
- Les émissions de polluants sont globalement quantifiables « en amont » de l'unité de méthanisation (transport, stockage des substrats) ainsi que les émissions « théoriques » au niveau du digesteur et celles liées au transport du digestat et à la valorisation du biogaz. En revanche, les émissions « en aval » de l'unité de méthanisation liées au digestat ne sont pas quantifiables en l'état, compte tenu du niveau de connaissances sur les modifications des propriétés physico-chimiques des digestats après traitement.

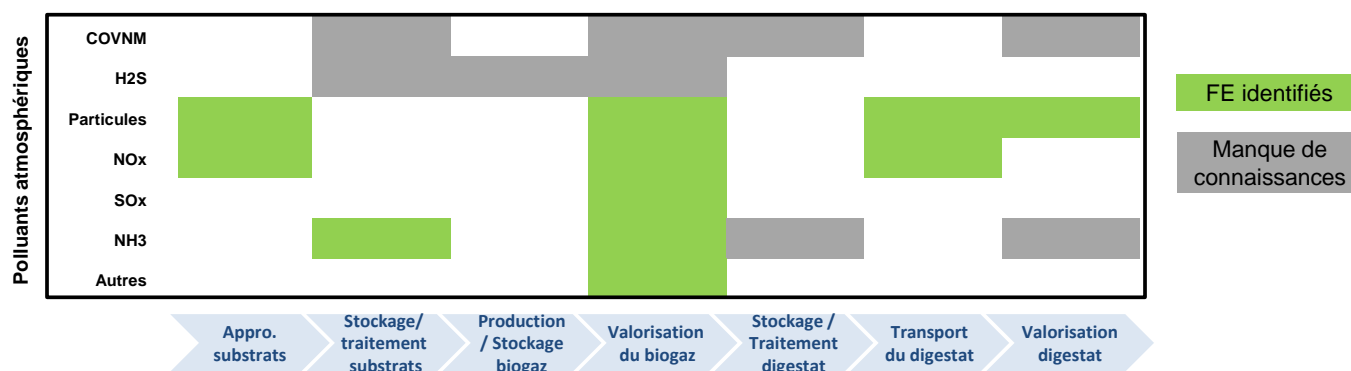


Figure 18 : Analyse de la prise en compte des polluants atmosphériques au niveau de deux installations de méthanisation agricole (cas n°1-individuelle et cas n°2- centralisée)

De manière générale, cette analyse simplifiée permet de confirmer les conclusions présentées dans le Chapitre 3, sur la nécessité de mieux connaître et caractériser les émissions de polluants atmosphériques, et d'acquérir des données de référence correspondant à des sites en opération en France. Quelques propositions et pistes de recherches sont proposées en ce sens au Chapitre 7.

5.4. Identifications des impacts indirects observés (cas des installations agricoles n°1 et n°2)

La liste des modifications observées suite à l'installation d'une unité de méthanisation dans deux cas d'exploitations agricoles (retenues à titre d'exemple dans le cadre de cette étude) est présentée à la Figure 19.

L'analyse réalisée dans le cadre de cette étude sur les impacts indirects ne permet pas de conclure et de présenter un bilan détaillé des émissions atmosphériques (polluants, GES, odeurs) associées aux modifications indirectes. La caractérisation précise de plusieurs critères (périmètre d'analyse, choix de l'outil d'évaluation, choix des hypothèses associées) est une des clés pour proposer une analyse robuste sur cette question.

Des propositions et pistes de recherche sont présentées au Chapitre 7 pour approfondir cette question.

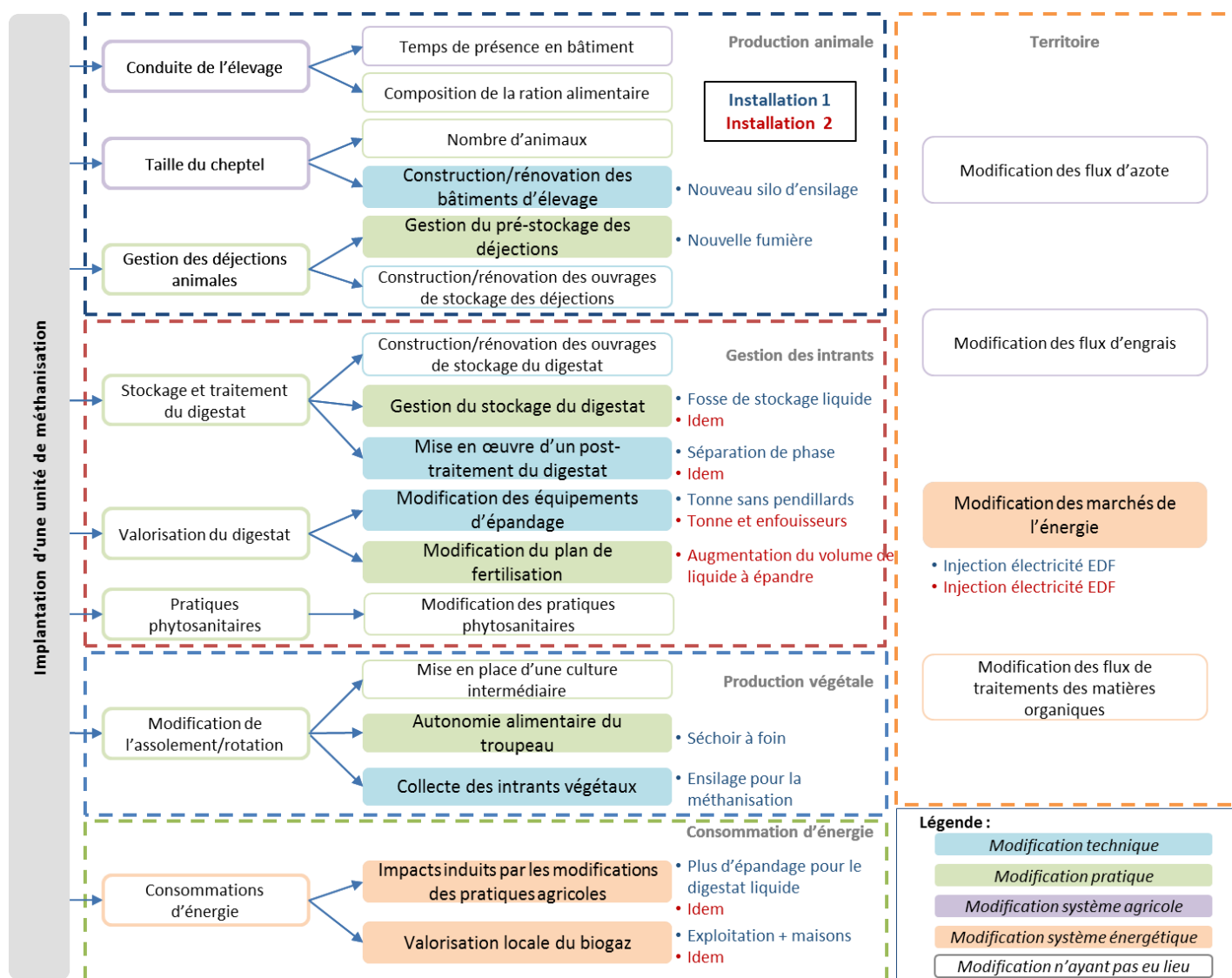


Figure 19 : Identifications des modifications observées, suite à l'installation d'unités de méthanisation agricole (cas n°1-individuelle à la ferme et cas n°2-centralisée)

5.5. Enseignements et limites d'un exercice de quantification (appliqué aux cas-type n°1 et n°2)

Les résultats quantitatifs obtenus ne peuvent pas servir pour une généralisation des résultats. C'est le principal enseignement de cet exercice de quantification des impacts directs et indirects de la méthanisation, dans le cadre de cette étude qui est basée sur une première approche grâce à l'outil DIGES et testée sur deux cas réels d'installations en milieu agricole (individuelle à la ferme et centralisée).

Cet exercice permet toutefois de confirmer certains constats déjà identifiés dans les chapitres précédents :

- Un impact non négligeable des émissions de méthane non maîtrisées sur le bilan global des émissions ;
- Un manque de connaissances sur les facteurs d'émissions à l'épandage (ammoniac et protoxyde d'azote) ;
- La pertinence de recenser toutes les modifications induites par l'installation de la méthanisation sur une exploitation agricole.

Enfin, la limite de cet exercice est liée aux incertitudes sur les émissions atmosphériques citées dans les situations d'exploitations agricoles avec méthanisation, mais également dans la situation de référence sans méthanisation (avec les émissions de méthane lors du stockage ou d'ammoniac lors de l'épandage, etc.).

En conclusion, cet exercice de quantification des émissions atmosphériques permet de proposer quelques préconisations :

- Une nécessité de consolider les outils d'évaluation existants ;
- Bien définir le périmètre d'application d'une évaluation des impacts ;
- Acquérir des données de terrain (basées sur des mesures réalisées sur des sites de méthanisation en fonctionnement) ;
- Consolider les facteurs d'émissions existants.

6. Freins sociétaux

L'analyse sur les freins sociétaux à l'installation d'activités de méthanisation est basée sur les informations recueillies au cours des échanges réalisés avec les différents experts interrogés. Certains entretiens ont particulièrement souligné les freins sociétaux : Denis Ollivier (AAMF), Marie-Laurence Grannec (CRA Bretagne, spécialisée sur les élevages porcins) et François-Joseph Daniel (ENGEES). Une publication en particulier a aussi été étudiée : « *Grannec, M.L., 2014. Déterminants sociaux et enjeux des conflits liés aux projets d'élevages porcins en Bretagne à partir de l'analyse des regards de différents acteurs des territoires, favorables ou opposés aux projets. 12p.* ».

6.1. Les freins sociétaux associés à un projet de méthanisation

6.1.1. Quels sont ces freins ?

Les freins associés à la mise en place des unités de méthanisation sont de plusieurs ordres :

- **Nuisances et risques industriels :**
 - En amont des projets de méthanisation, les riverains soulèvent la plupart du temps des inquiétudes vis-à-vis des **nuisances olfactives** et **sonores** liées au trafic routier lors des apports de nouveaux intrants nécessaires pour l'alimentation du digesteur. Ces craintes sont moins présentes lorsqu'il s'agit d'un projet agricole individuel valorisant des déchets présents sur site, comparé à un projet agricole centralisé nécessitant de nombreux apports de déchets collectés hors de l'exploitation ;
 - Le risque lié à **l'explosion du gaz** produit par l'unité de méthanisation peut également constituer un frein, ainsi que les risques de dysfonctionnement tels que le dysfonctionnement des torchères censées brûler le gaz en excès ;

- **La potentielle toxicité des nouveaux intrants** est un élément qui peut être mentionné par les riverains. Les inquiétudes concernent alors plus les coproduits d'industries agroalimentaires de type graisses animales que les intrants végétaux ;
- **L'impact visuel** que peut avoir une unité de méthanisation est également évoqué en tant que frein.
- **Crainces de préjudices potentiels liés aux installations de méthanisation :**
 - Un préjudice **immobilier** lié à la perte de valeur foncière des terrains à proximité d'une installation (en lien avec les impacts visuels) ;
 - Un préjudice **moral** dans le cas où les oppositions se sont transformées en conflits entre le porteur de projet et les riverains (opposants ou défenseurs) ;
 - Un préjudice pour la **santé**. Pour ce point, il s'agit surtout de craintes des riverains pour leur santé vis-à-vis des potentiels rejets de l'installation vers l'atmosphère ainsi que dans les cours d'eau.

Ces différents préjudices correspondent souvent à des impacts ayant des effets sur le long terme pour les riverains (exemple de l'impact économique et patrimonial que peut avoir la baisse des valeurs foncières des habitations proches).

- **Manque de communication et d'implication des acteurs du territoire** (frein transverse et non spécifique aux projets de méthanisation) : il s'agit d'un frein lié à un **manque d'anticipation** de la part des porteurs de projets vis-à-vis des réactions et inquiétudes que peuvent susciter leurs projets. Cela se traduit le plus souvent par un **manque de communication en amont** sur le projet et ses implications d'un point de vue technique, environnemental, économique mais aussi social. En effet, la « surprise » des riverains quant à l'implantation d'une unité de méthanisation peut être source de conflits avec le porteur de projet. Le manque d'instant de concertation au cours desquels chacun pourrait exprimer son point de vue et trouver des solutions a tendance à participer à produire des oppositions.

Parmi ces trois catégories de freins, **les plus fréquemment observés** sont ceux en lien avec :

- les **nuisances olfactives** ;
- ainsi que **le trafic routier nécessaire à l'apport de substrats** alimentant le digesteur ;
- et un **risque d'explosion**.

Pourtant, ces craintes exprimées en amont sont la plupart du temps non vérifiées puisque les nuisances et les risques n'apparaissent pas lors du fonctionnement de l'installation de méthanisation. Les motifs de ces craintes ne peuvent pas être généralisés puisque dans le cas d'unités de méthanisation similaires (taille de l'unité, type de substrats entrants), les nuisances constatées sont parfois différentes. Afin d'objectiver les craintes exposées précédemment, **il serait intéressant de pouvoir réaliser une étude de retours d'expériences pour des installations de méthanisation en fonctionnement depuis plusieurs années**. Cela permettrait de déterminer si oui ou non certaines craintes sont fondées (cas de la valeur foncière des terrains par exemple ou des odeurs).

Les freins peuvent aussi être différenciés selon le type d'installation de méthanisation (agricole individuelle, agricole centralisée, ordures ménagères résiduelles, STEP...). Dans le cas des unités agricoles de méthanisation, ce n'est pas tant la taille de l'unité qui fait l'objet de craintes, mais le type de projet (individuel ou centralisé) et l'origine des substrats (industries agroalimentaires, boues de STEP...). Dans le cas des installations de méthanisation d'Ordures Ménagères Résiduelles (OMR), le type de technologie utilisé peut lui aussi faire l'objet de craintes. C'est notamment le cas du tri mécano-biologique (TMB) qui est soumis à controverse puisqu'il est cité parfois comme une cause de nuisances odorantes dans certains cas d'oppositions de riverains ou d'associations à la méthanisation.

Il convient de préciser que les riverains ne disposent pas tous d'une connaissance approfondie de la méthanisation et de ses techniques. Cela peut avoir une influence sur les craintes qui peuvent apparaître lors d'un projet de méthanisation. En effet, une méconnaissance des différences entre une installation de type agricole et une installation OMR, en termes de substrats ou de technologies utilisées, peut amener à des confusions sur les impacts potentiels des installations et exacerber certaines craintes qui seraient liées à un type d'installation plutôt qu'à un autre. Par exemple, la création d'une installation traitant des OMR peut produire potentiellement plus d'odeurs qu'une installation agricole sur le site même d'une exploitation agricole existante.

6.1.2. Analyse sociétale des déterminants d'une opposition potentielle

Les freins sociétaux peuvent se traduire par une **opposition entre les gestionnaires d'unités et les riverains**, aussi bien au moment de l'élaboration du projet que lors du fonctionnement de l'unité de méthanisation. Cette opposition peut parfois se transformer en **conflit**.

Le mécanisme d'opposition dépend de plusieurs facteurs :

- Une **crainte des nuisances** par les riverains ;
- La mise en place d'un **dialogue entre les parties prenantes**, notamment en fonction de la nécessité ou non de réaliser une étude d'impact en amont du projet (donc de passer en **enquête publique**⁹), ce qui peut influencer la dynamique d'opposition. En effet, cette procédure d'enquête publique, initialement prévue pour présenter et expliquer le projet afin de favoriser le dialogue entre les parties prenantes, peut participer à consolider les oppositions et les conflits si elle est mal abordée par les porteurs de projet. En fait, très souvent, elle correspond plutôt à une étape de communication qu'à un moment de réelle concertation entre l'ensemble des parties prenantes ;
- Le **profil du porteur de projet** peut influencer sur le niveau d'opposition au projet. C'est le cas en particulier des installations de méthanisation agricole, où le profil de l'éleveur à l'origine du projet joue un rôle non négligeable. Cela concerne notamment son image qui est perçue auprès des riverains et qui résulte de ses pratiques agricoles antérieures, de ses relations avec ses voisins et de la perception que les riverains ont de la possibilité d'établir un dialogue avec lui ;
- Le **profil des riverains**, qui est différent selon le niveau de connaissances dans le domaine de la méthanisation et de ses implications aux niveaux économique, social, environnemental, voire juridique, peut aussi faire évoluer la qualité des échanges avec les porteurs de projet ;
- Le **contexte de l'implantation des installations de méthanisation** peut être un autre déterminant des conflits potentiels dans l'installation d'une unité de méthanisation. Un contexte environnemental ou social emblématique ou encore l'implication d'acteurs particuliers sont des éléments qui participent à modifier l'ampleur géographique et temporelle du conflit. Certains conflits peuvent alors durer dans le temps mais en restant localisés, quand d'autres peuvent se révéler plus courts mais avec une ampleur nationale.

Ce sont donc les **attitudes mutuelles** entre les parties prenantes qui influenceraient le plus une dynamique d'opposition ou de conflit relative à l'installation d'une unité de méthanisation (en phase de projet ou au cours de son fonctionnement). En effet, plus le porteur de projet est disposé à communiquer autour de son projet ainsi qu'à écouter les attentes de chacun, alors plus les autres acteurs pourront être disposés à entendre ses propositions.

Pour conclure, il est souvent observé deux types d'opposition :

- Des oppositions locales concernant les riverains principalement, en lien avec leurs craintes ;
- Des oppositions « de principe » pour lesquelles la mobilisation dépasse le cadre local et peut concerner d'autres acteurs extérieurs au projet, voire des représentants au niveau national ce qui peut conduire non pas en une opposition spécifique à un projet donné mais en une opposition à la méthanisation de façon plus générale.

⁹ Ce qui est notamment le cas des unités de méthanisation incorporant des coproduits d'industries agroalimentaires dans leurs substrats
 ETAT DES CONNAISSANCES DES IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR ET DES EMISSIONS DE
 GAZ A EFFET DE SERRE DES INSTALLATIONS DE VALORISATION OU DE PRODUCTION DE
 METHANE

6.2. Des freins sociétaux spécifiques aux émissions de gaz à effet de serre, de polluants et d'odeurs

D'après les entretiens menés avec des experts pour cette étude, **il n'y a pas particulièrement de freins sociétaux en lien avec les émissions de gaz à effet de serre ni avec une problématique de qualité de l'air**. S'ils existent, il s'agit plutôt de cas ponctuels mais dont l'occurrence n'est pas suffisante pour avoir été mise en évidence par les experts interrogés.

En fait, le **principal frein** concerne surtout les **odeurs** quel que soit le type d'installation de méthanisation. C'est ce que révèlent les entretiens qui ont porté, d'une part, sur les installations de méthanisation agricole dans le cadre d'élevages porcins, et d'autre part, sur les installations de méthanisation d'Ordures Ménagères Résiduelles.

De nombreuses méthodes permettent de réaliser une évaluation de la perception des nuisances odorantes, comme par exemple, l'utilisation d'un réseau de nez électroniques, l'analyse des plaintes, ou encore la constitution d'un jury de nez. Le cas de la constitution d'un **jury de nez** est sociologiquement intéressant puisque ce type d'évaluation des nuisances odorantes peut être soumis à controverse. Un jury de nez est composé d'un collectif de personnes ayant un lien avec l'unité de méthanisation à investiguer. Les nez sont sélectionnés de façon à garantir une représentativité des personnes impliquées, en termes de défenseurs et d'opposants à l'unité de méthanisation en question, mais aussi de riverains et de porteurs de projet. Ils sont ensuite formés, par un expert « odeurs » (provenant par exemple, d'un bureau d'études ou d'une association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA), à reconnaître les différentes odeurs associées à l'unité de méthanisation (par exemple dans le cas d'OMR : ordures fraîches, ordures en phase de pré-maturation avant d'entrer dans le digesteur, compost...). Des séances de remise en mémoire des odeurs sont régulièrement organisées tout au long de la période d'investigation du jury des nez. Les nez réalisent des déclarations régulières de leur perception des odeurs. L'expert « odeurs » est également chargé, outre la sélection et la formation des nez, de les mobiliser tout au long de l'étude et d'interpréter les résultats obtenus.

Bien que ce dispositif du jury de nez soit reconnu efficace, il est soumis à **plusieurs limites** :

- Veiller à objectiver les ressentis qui sont bien entendu subjectifs (une formation et une définition appropriée du protocole de déclaration veillent à limiter ce biais) ;
- Sélectionner avec soin les membres du jury de nez. Suite à l'interprétation des résultats, le dispositif du jury de nez peut être remis en cause s'il était composé d'une majorité d'opposants ou de défenseurs ;
- Prendre en considération un éventuel biais lié aux perceptions du jury de nez. La formation aux odeurs ainsi que les séances de remise en mémoire peuvent également être remises en cause. Bien qu'il soit admis pour les jurys de nez une certaine variabilité de la sensibilité de chacun à la perception des odeurs, cette différence de sensibilité peut être mise en avant pour remettre en cause les résultats, sous prétexte que les défenseurs sous-déclaraient les odeurs perçues et inversement pour les opposants ;
- Prendre en compte l'influence d'un expert « odeurs » sollicité pour mobiliser le jury de nez. Le processus de mobilisation par un expert « odeurs » participe également à faire varier les nombres de déclarations puisqu'elles sont souvent plus élevées suite à ses mobilisations, sans que cela corresponde pour autant à un épisode odorant particulier.

Les expériences réalisées avec des nez ont permis de tester l'efficacité des mesures prises par les gestionnaires des installations de méthanisation, telles que l'utilisation de produits masquant les odeurs de biofiltres, etc... Même si la mise en place d'un jury de nez participe à la concertation pour l'installation des unités de méthanisation, cela ne permet pas de résoudre les conflits qui pourraient exister sur la problématique des nuisances odorantes.

Ce qui doit être retenu, c'est le fait que les unités de méthanisation qui peuvent **contribuer à éviter les émissions de gaz à effet de serre** grâce à une valorisation d'énergie renouvelable **n'est pas un argument suffisant permettant de lever les freins observés**. D'une part, parce que cet argument n'est connu que d'un public averti, et d'autre part, parce qu'il semble avoir un poids limité face aux craintes des opposants.

6.3. Les solutions pour prendre en compte la réaction sociétale

La principale façon de prendre en compte la réaction sociétale liée aux implantations d'unité de méthanisation consiste à **réaliser en amont une communication et une concertation** autour des projets. L'objectif étant de présenter et d'expliquer les projets, leurs origines et leurs implications pour chacune des parties prenantes. Ainsi, que l'on soit défenseur ou opposant, une communication et de la concertation sont des solutions appropriées pour exposer ses perceptions du projet et ses attentes (par exemple : la déviation du trajet initialement prévu pour le passage des camions approvisionnant le digesteur en substrats, l'implantation de l'unité sur une autre parcelle, la mise en place d'un rideau d'arbres afin de limiter l'impact paysager, etc...). Le porteur de projet peut ensuite exposer ses arguments pour la prise en compte ou non des différentes attentes et ainsi modifier son projet initial.

Des visites de sites peuvent également être intéressantes pour constituer un cadre approprié pour organiser une concertation et participer à l'apaisement des craintes des riverains (ce qui est vu de l'intérieur peut être perçu plus favorablement).

Le fait que le porteur de projet soit dans une **attitude d'anticipation ou de vigilance vis-à-vis des potentielles oppositions** est une chose importante à considérer. Cela permet de pouvoir réagir rapidement et de rencontrer les parties prenantes pour se prémunir de l'émergence d'une opposition.

Ces différentes solutions permettent de prendre en compte une réaction sociétale mais ne peuvent pas toujours régler les oppositions. Il s'agit de solutions au cas par cas et pour lesquels une étude sur les retours d'expériences de projets ayant fonctionné (ou non) pourrait présenter un intérêt.

Une autre dimension importante est de **s'intéresser à la gêne que peuvent ressentir les riverains**, pour mieux **comprendre cette gêne**. En effet, celle-ci peut se traduire par des désagréments quotidiens, tels que des nuisances odorantes, mais aussi par des problématiques à plus long terme, comme la perte de la valeur foncière des habitations et des terrains (ce qui a des répercussions économiques et patrimoniales sur les foyers). L'évaluation de ces deux types d'impacts en amont des projets, avec une prise en compte d'une indemnisation des familles concernées, pourrait modifier les processus décisionnels. Cela pourrait notamment avoir pour conséquence que les unités de méthanisation s'installeraient dans des lieux plus isolés, éloignés des habitations. La réalisation d'un retour d'expériences sur les installations de méthanisation en fonctionnement pourrait permettre d'objectiver ces éléments, afin de mieux orienter la prise de décision lors des projets de méthanisation.

7. Pistes de recherche pour l'approfondissement des connaissances

7.1. Enjeux de recherche

La caractérisation et la quantification des émissions gazeuses et particulaires sont des enjeux incontournables du développement des installations de méthanisation. Ceux-ci émettent des polluants atmosphériques réglementés (NH_3 , particules fines, ..) et des gaz à effet de serre (GES) : dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4) et protoxyde d'azote (N_2O).

La filière « méthanisation » se caractérise tout d'abord par une diversité d'installations – unités de méthanisation à la ferme, unités de méthanisation centralisée de codigestion territoriale, unités de méthanisation centralisée en collectifs agricoles, unités de méthanisation sur déchets ménagers (OMR), stations d'épuration des eaux usées urbaines (STEP) et installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) – présentant des niveaux de maturité et de développement différents. La filière « méthanisation » est également caractérisée par une diversité de situations au sein d'un même secteur, comme par exemple la diversité des couples substrat / procédé pour les unités de méthanisation à la ferme.

L'ADEME soutient la recherche sur la quantification et la réduction des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES). La maîtrise de ces émissions est un objectif en France inscrit depuis plusieurs années qui s'appuie d'abord sur une amélioration des connaissances et une identification des sources de réduction potentielles. L'ADEME lance d'ailleurs chaque année un appel à projets dans le cadre du programme CORTEA « Connaissances, réduction à la source et traitement des émissions de polluants dans l'air ».

L'analyse bibliographique réalisée dans le cadre de la première partie de l'étude a révélé l'existence de lacunes concernant les connaissances sur les émissions gazeuses, particulières et les odeurs. Une approche croisée, entre les dynamiques d'émissions (importance relative des émissions) et un état des connaissances à chaque étape d'une installation de méthanisation, a permis de hiérarchiser quelques enjeux prioritaires (cf. Chapitre 3.2).

Cette analyse croisée permet ainsi de proposer en matière d'approfondissement des connaissances quatre enjeux sur :

1. Les émissions d'ammoniac (NH_3) et les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) liées à la valorisation du digestat (notamment l'épandage) ;
2. Les émissions non maîtrisées de méthane (CH_4) au niveau du digesteur, et notamment les niveaux d'incertitudes concernant les émissions réelles (en phase opérationnelle) et les méthodes de mesure permettant d'évaluer ces émissions ;
3. Les odeurs (et les émissions de COV) en phase de stockage des substrats ;
4. Les émissions d'ammoniac (NH_3), de CH_4 , de COV et les odeurs en phase de stockage et traitement des digestats.

La conclusion principale de l'analyse bibliographique concerne la nécessité de « **Mieux connaître les quantités émises dans l'air de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre (GES) par les installations de méthanisation pour mieux les réduire** ». Par ailleurs, compte tenu du rythme soutenu de développement des unités de méthanisation (à la ferme, centralisée en codigestion territoriale, centralisée en collectifs agricoles), qui est observé au cours des dernières années et qui est amené à se poursuivre, il semble pertinent de centrer plus spécifiquement la réflexion du développement de ces unités avec la mise en place de programmes de recherche et développement (R&D).

Les pistes de recherche proposées au chapitre suivant peuvent servir à alimenter de nouvelles éditions de programmes de recherche (ceux de l'ADEME comme ceux portés par d'autres acteurs).

7.2. Projets de recherche identifiés

Les principaux questionnements liés au développement de projets de recherche pour approfondir les connaissances sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES) des installations de méthanisation sont les suivants :

- Où en est l'évolution de la métrologie sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation ? Que peut-on faire actuellement et quelles sont les perspectives ?
- Comment mieux connaître les émissions en France qui sont liées aux pratiques existantes au niveau des installations de méthanisation ?
- Comment caractériser les effets en termes d'émissions (nature des composés : CH_4 , NH_3 , etc... et quantification des composés) des leviers potentielles de réduction des émissions au niveau de l'installation ?

Plusieurs études et projets de recherche réalisés en France au cours des dernières années permettent de répondre en partie à ces questionnements.

7.2.1. Projets de recherche dans le domaine de la méthanisation

Plusieurs projets de recherche récents concernent spécifiquement des activités de méthanisation (Tableau 6). Les travaux portent sur les émissions non maîtrisées de méthane (CH_4), mais aussi sur les émissions d'ammoniac (NH_3) et de protoxyde d'azote (N_2O) liées à la valorisation des digestats. Concernant la thématique « odeurs », seuls quelques articles scientifiques¹⁰ ont pu être identifiés.

Des entretiens ont aussi été réalisés avec les principaux organismes impliqués dans ces projets de recherche, à savoir notamment l'IRSTEA, l'INRA, le CITEPA, le BRGM et aussi le bureau d'études SOLAGRO.

¹⁰ A titre d'exemple : "Odour and Life Cycle Assessment (LCA) in Waste Management: A Local Assessment Proposal" publié dans Waste and Biomass Valorization (Marchand *et al.*, 2013)

THEMATIQUES	TITRE des projets	ORGANISMES	PROGRAMMES R&D
Odeurs	-	ENGEES	
Polluants & GES	DIVA : Caractérisation des Digestats et de leurs filières de Valorisation Agronomique Plusieurs programmes réalisés par l'INERIS sur les ISDND	INRA / IRSTEA / EMAC / Geotexia / Solagro / Suez Env. INERIS	Bio-E 2010 (ANR Bioénergies)
	DETERMEEEN : Prise en compte des contraintes spatiales et environnementales pour une approche systémique de l'insertion d'unités de méthanisation collectives au sein d'un territoire	IRSTEA / BRGM / Akajoule / Rennes métropole	CIDE 2014 (ADEME)
GES	REMI PROPHYTE : REduction des fuites vers les Mllieux pour les Produits Résiduaire Organiques en modifiant leur Présentation pHYsique et les Techniques d'Epandage ; cas des digestats de méthanisation	IRSTEA	DOSTE 2013 (ADEME)
	TRACKYLEAKS : Développement d'une méthode pour identifier et quantifier les émissions fugitives de biogaz avec application aux installations de méthanisation	IRSTEA	CIDE 2014 (ADEME)
	METHALAE : Comment la méthanisation peut être un levier pour l'agroécologie	SOLAGRO	CASDAR

Tableau 6 : Projets de recherche sur des activités liées à la méthanisation

THEMATIQUES	TITRE des projets	ORGANISMES	PROGRAMMES R&D
Odeurs	AROME : Les nuisances olfactives des sites de compostage : de la mesure à la source jusqu'à la modélisation de l'impact olfactif	Suez Env. / INERIS / NUMTECH / IRSN	ADEME Compostage
Polluants	EMISITE : Evaluation sur site de différentes méthodes de mesure des émissions gazeuses d'une installation de compostage	IRSTEA / INERIS / NUMTECH	ADEME Compostage
	EMIPART : Caractérisation des concentrations de particules dans l'air ambiant et identification des phases émissives en site ouvert de compostage	INERIS / TERRALYS / Divergent	ADEME Compostage
Polluants & GES	AFEPP : Acquisition de facteurs d'émissions d'ammoniac et de GES spécifiques aux élevages porcins en France	IFIP / INRA	ADEME
	EMAFUM : Emissions d'ammoniac et de GES des fumiers bovins	INRA / IRSTEA / IDELE / PEGASE	ADEME
	BTEP : Emissions gazeuses aux bâtiments, stockages, épandages et pâturages des systèmes bovins laitiers	INRA / IDEL / PEGASE / IRSTEA	ADEME
	OSSIMED : Outil spécifique au site de mesure et suivi des émissions diffuses des ISDND	INERIS	ADEME
GES	ACTA-GES : Mise au point d'une méthode simplifiée de la mesure des GES en bâtiment et au stockage en porcs, bovins, volailles	Institut de l'élevage	CASDAR
	GESEBOV : Emissions de GES et consommation d'énergie à la ferme bovine française	IDELE / INRA / ADEME	ADEME
	MONTFERRENT 2 : Mode de gestion des GES et étude des facteurs d'émissions	CITEPA	ADEME

Tableau 7 : Projets de recherche sur des domaines "connexes" à la méthanisation

Ces entretiens ont permis de recueillir des commentaires et des recommandations sur ces études, et de définir les axes de réflexion pour approfondir les connaissances.

Un certain consensus se dégage auprès des différents experts interrogés en ce qui concerne les priorités de recherche. **Il s'agit de mieux connaître les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES) des installations de méthanisation pour mieux les réduire, et acquérir des données correspondant à des sites en opération en France.**

7.2.2. Projets de recherche dans des domaines connexes

La dynamique de développement des unités de méthanisations (notamment en milieu agricole) se traduit par des interrogations grandissantes en ce qui concerne les émissions réelles au niveau de ces installations. Plusieurs projets de recherche concernent des thématiques « connexes » de l'unité de méthanisation, comme par exemple le compostage (et les nuisances olfactives associées), l'acquisition de données (et facteurs d'émissions) ou l'analyse des émissions (NH₃, GES, Particules) des activités agricoles.

Le Tableau 7 présente une liste de projets de recherche ayant un lien avec des sujets connexes aux émissions atmosphériques des unités de méthanisation. Les différentes typologies d'émissions prises en compte dans plusieurs projets de R&D développés récemment, notamment pour le compostage et les exploitations d'élevage, sont mises en perspective dans le Tableau 7. La plupart des travaux listés précédemment ont été accompagnés par le RMT Elevages et Environnement¹¹. Pour ces deux thématiques, les travaux de recherche sont structurés de la manière suivante :

- Mise au point de méthodes de mesures (simplifiées) des émissions atmosphériques (NH₃, odeurs) ;
- Acquisition de données et de facteurs d'émissions ;
- Caractérisation des techniques de réduction (notamment NH₃).

Ces projets de recherche « connexes » permettent d'apporter des réponses aux problématiques liées à la métrologie des émissions et aux techniques de réduction des émissions atmosphériques au niveau des installations de méthanisation.

7.3. Propositions thématiques pour les projets de recherche

Les préoccupations actuelles sur les connaissances des émissions atmosphériques des activités de méthanisation sont semblables, dans une certaine mesure, aux préoccupations observées dans les années 2000 au sujet des activités de compostage. De nombreuses lacunes sur ces émissions étaient également observées, ce qui avait conduit l'ADEME à lancer un programme de recherche (en 2002, puis reconduit en 2006) pour mieux connaître la nature et les impacts des émissions atmosphériques du compostage. L'ensemble de ces travaux ont ensuite fait l'objet d'une synthèse publiée en 2012 [38].

Un travail de même nature semble aujourd'hui nécessaire en ce qui concerne les installations de méthanisation, notamment dans le domaine de la méthanisation agricole (à la ferme). Des pistes de recherche sont identifiées en particulier dans le Tableau 8 et la Figure 20. Des fiches-recherche plus détaillées sont également présentées en Annexe 5.

D'après l'ATEE, l'acceptabilité par le grand public des projets d'implantation d'unités de méthanisation pourrait constituer un frein au développement de la filière. Outre les risques liés à l'explosion ou à la pollution visuelle, les riverains sont généralement soucieux des nuisances olfactives occasionnées par ces installations. La communication et la concertation autour des projets semblent des points clés pour favoriser l'acceptabilité sociale et l'adhésion des riverains à proximité de ces installations car le développement de la méthanisation en France est amené à se poursuivre voire à se renforcer dans les prochaines années. Cette thématique « concertation » et « acceptabilité sociale » ne fait pas l'objet de propositions de pistes de recherche, et le lecteur pourra se reporter au chapitre 6 pour une présentation des bonnes pratiques à mettre en place, en lien avec des procédures réglementaires qui préconisent des moments de concertation dans le cadre des projets.

¹¹ <http://www.rmtlevagesenvironnement.org>

THEMATIQUES	OBJECTIFS	Lien avec des PROJETS EXISTANTS
GES	Acquérir des données de terrain (mesures sur site des émissions de CH ₄) d'un panel représentatif des installations de méthanisation en France	TRACKYLEAKS Etude INERIS en cours ¹²
Polluants & GES	Acquisition de connaissances et compréhension des mécanismes d'émissions de N ₂ O et NH ₃ concernant la valorisation de substrat (sans méthanisation) et digestat (brut ou méthanisé)	DIVA
Polluants & GES	Acquisition de facteurs d'émissions (synthèse bibliographique) permettant la mise à jour d'outil d'évaluation des émissions de polluants et GES (ex: DIGES, DIA'TERRE)	Synthèses bibliographiques ADEME
Impacts indirects	Réalisation de scénarios prospectifs de l'agriculture sur un territoire avec prise en compte des impacts indirects suite à l'introduction d'installations de méthanisation	DETERMEEEN, METHALAE, AFTERRES 2050

Tableau 8 : Pistes de recherche pour consolider les connaissances à approfondir dans le domaine des émissions atmosphériques de la méthanisation

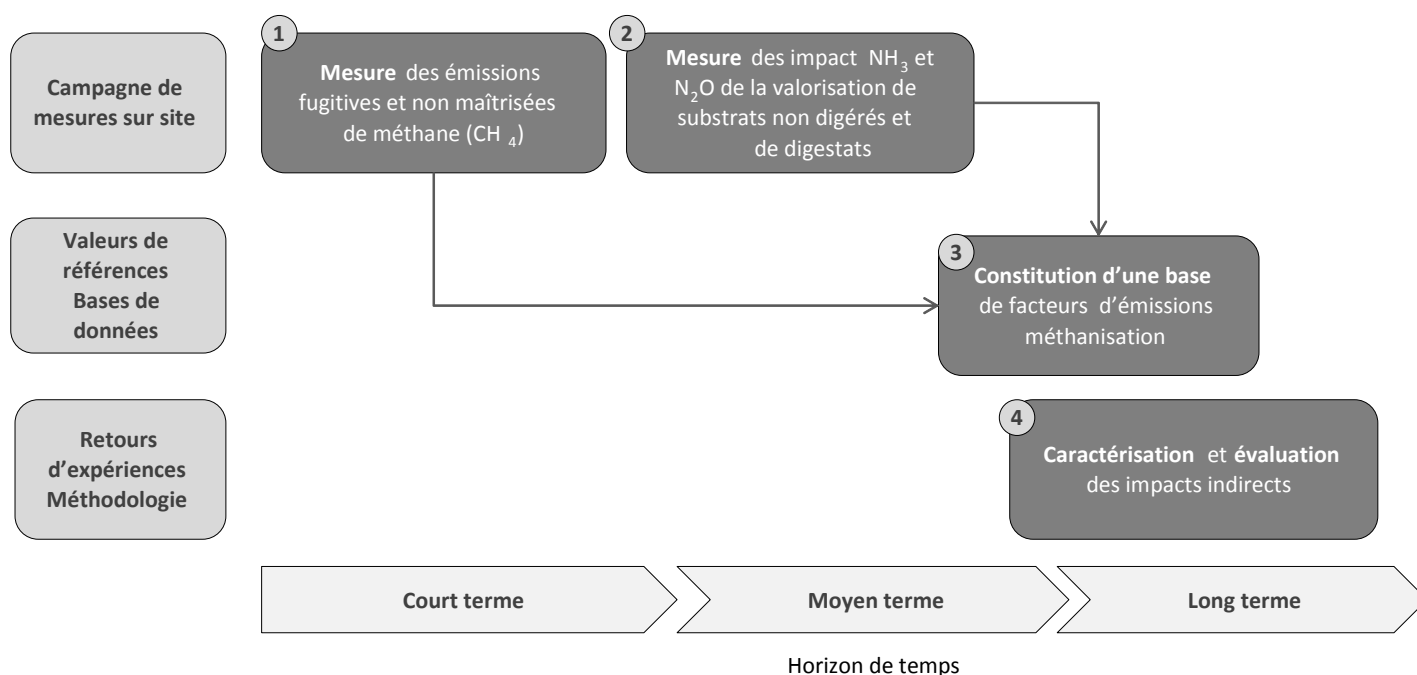


Figure 20 : Schéma des pistes de recherche pour approfondir les connaissances dans le domaine de la méthanisation

¹² « Etat des lieux des connaissances des émissions de CH₄ et de N₂O des installations de méthanisation : Emissions sur l'ensemble de l'installation et aux différentes étapes de production et de valorisation du biogaz et du digestat et techniques de mesurage et surveillance du CH₄ »
 ETAT DES CONNAISSANCES DES IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR ET DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES INSTALLATIONS DE VALORISATION OU DE PRODUCTION DE METHANE
 Page 47 sur 88

8. Conclusion

Cette étude sur l'état des connaissances des impacts de la méthanisation sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre met en évidence la nécessité de réaliser des évaluations globales, en prenant notamment en compte les impacts directs et indirects de la méthanisation.

Le premier constat est qu'il est très difficile de tirer des conclusions générales quant à l'évaluation des émissions directes d'une installation de méthanisation, tout au long de son cycle de vie, et quel que soit le type de substrat qu'elle traite. En effet, l'hétérogénéité des installations existantes, en termes de substrats et de technologies utilisées, impose une certaine prudence vis-à-vis des résultats publiés au sein des études recensées dans le cadre de cet état des connaissances. Cela a pour conséquence une absence de données de référence puisque les chiffres recensés reflètent le plus souvent des résultats d'expérimentations spécifiques qui sont à interpréter au cas par cas.

Il est parfois possible de mettre en évidence certaines tendances :

- En termes de dynamiques d'émission, il est identifié pour chaque type d'émissions atmosphériques (polluants, GES, odeurs) une ou plusieurs étapes du cycle de vie de l'unité de méthanisation contribuant le plus aux émissions. C'est ainsi que plusieurs points d'attention ont pu être mis en évidence :
 - Les fuites et les émissions non maîtrisées de méthane (CH_4) lors de la production et du stockage du biogaz ;
 - Les émissions de polluants atmosphériques (dont méthane et ammoniac), notamment lors de la valorisation du biogaz (le plus souvent quand il s'agit de combustion) ;
 - Les émissions d'ammoniac (NH_3) lors du stockage des substrats, du stockage du digestat et lors de son épandage ;
 - Les émissions potentielles de composés odorants lors des phases de stockage.

Pour chaque étape en méthanisation, des actions peuvent être recommandées afin de favoriser la maîtrise des émissions atmosphériques :

- D'après l'analyse de l'état des connaissances, réalisée dans le cadre de cette étude par type d'émissions atmosphériques, il est souligné que les données identifiées dans la littérature sur les émissions directes ne font pas consensus. C'est le cas, par exemple, des émissions non maîtrisées de méthane (CH_4) pour lesquelles les ordres de grandeur font débat, ainsi que des émissions d'ammoniac (NH_3) et de protoxyde d'azote (N_2O) dont le nombre de données disponibles reste encore assez faible (en lien avec la difficulté de consolider les protocoles de mesures pour ces émissions). Hormis le cas particulier du méthane, les émissions directes pour chaque étape du cycle de vie de la méthanisation sont plutôt bien documentées. Cependant, les principales interrogations se situent en aval du digesteur, c'est-à-dire sur le stockage et la valorisation du digestat ;
- L'analyse croisée de la dynamique des émissions atmosphériques et de l'état des connaissances a permis d'identifier des enjeux en termes d'approfondissement des connaissances sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation. Ces principaux enjeux concernent :
 - Les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote lors de la valorisation du digestat par épandage ;
 - Les émissions non maîtrisées de méthane au niveau du digesteur ;
 - Les émissions d'odeurs (et de COVNM) en phase de stockage du substrat ;
 - Les émissions globales (méthane, ammoniac et odeurs) lors du stockage et du traitement du digestat.

Une meilleure connaissance des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre et une acquisition de données sur des sites en fonctionnement en France sont des éléments qui permettront d'améliorer l'état des

connaissances actuelles. Ces conclusions font consensus parmi les experts interrogés et devraient constituer des priorités pour la filière méthanisation.

Le second point d'intérêt, mis en évidence par cette étude du point de vue de l'évaluation des émissions indirectes des installations de méthanisation agricole, est qu'il n'existe pas à l'heure actuelle dans la littérature d'études formalisées permettant une identification ou une quantification des émissions indirectes. Les émissions indirectes correspondent aux émissions induites par les modifications dues à l'implantation d'une unité de méthanisation sur une exploitation agricole. Les résultats produits pour le compte de cette étude ont été réalisés à dire d'experts mais des études plus poussées pourraient être réalisées (études statistiques, ...).

Les modifications engendrées par la méthanisation peuvent être nombreuses à l'échelle de l'exploitation agricole ou à l'échelle territoriale. Ces modifications portent sur la nature des activités concernées sur l'exploitation (productions animales, végétales, gestion des intrants, consommations énergétiques) et en dehors de l'exploitation (à l'échelle territoriale). Elles sont caractérisées par différents critères : Temporalité, émissions atmosphériques affectées, etc Cette liste des modifications potentielles dues à la méthanisation ne préjuge pas de l'évolution des émissions atmosphériques (une augmentation ou une diminution des émissions atmosphériques).

Un second exercice de caractérisation a été mené dans cette étude, pour chaque modification, sur l'occurrence des changements et l'évolution générale des émissions atmosphériques. Cela a permis d'identifier, à dire d'experts, des situations pouvant être rencontrées sur les installations françaises de méthanisation. Bien entendu pour les perspectives de cet exercice, des analyses statistiques plus précises pourraient être menées afin de corroborer ou d'infirmer les hypothèses retenues.

Les conclusions mises en avant dans les évaluations des impacts directs et indirects de la méthanisation sur la qualité de l'air et les émissions de gaz à effet de serre ont pu être testées dans des études de cas (sur deux unités de méthanisation à la ferme en fonctionnement: individuelle et centralisée). **Les résultats, obtenus dans ces deux études de cas, ne sont pas à généraliser.** Par contre, les principales conclusions données précédemment ont été validées dans l'ensemble. Il y a un manque de données de référence, notamment sur, *i*) les facteurs d'émission d'ammoniac et de protoxyde d'azote à l'épandage, et *ii*) les fuites de méthane au niveau du digesteur et de l'installation de valorisation du biogaz. Les deux études de cas, présentées dans ce rapport comme une première approche pour la quantification des émissions atmosphériques des installations de méthanisation à la ferme, ont également permis de mettre en évidence, *iii*) l'importance de la définition du périmètre de l'étude, *iv*) la nécessité de disposer de données de terrain, et *v*) la nécessité de consolider les outils existants (DIGES par exemple).

L'acceptabilité sociétale de la méthanisation a également été étudiée. Les nuisances odorantes potentielles sont des freins importants au développement des projets de méthanisation. Des solutions existent déjà pour prendre en compte la réaction sociétale dans les projets de méthanisation (notamment via des processus de concertation), mais des études complémentaires sur des retours d'expériences d'installations de production et de valorisation de biogaz en fonctionnement seraient utiles pour vérifier si les craintes évoquées par les riverains se traduisent par des impacts réels sur les émissions atmosphériques.

Plusieurs pistes de recherche ont également été proposées pour répondre aux manques de connaissances identifiés dans le cadre de cette étude. Celles-ci visent principalement à approfondir les domaines suivants :

- La mesure des émissions atmosphériques sur les installations de méthanisation ;
- La connaissance des émissions atmosphériques liées aux pratiques actuelles de méthanisation ;
- La caractérisation des leviers de réduction des émissions applicables à l'échelle de l'installation.

Ces propositions de pistes de recherche s'appuient sur une analyse des projets de recherche existants, pour viser à identifier les pistes les plus pertinentes possibles. Des fiches « recherche » plus détaillées ont ainsi pu être proposées. Une hiérarchisation des pistes de recherche pourraient être la suivante :

- La mesure des émissions fugitives et non maîtrisées de méthane ;
- L'évaluation de l'impact sur les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote des pratiques de valorisation du digestat (en comparaison avec des matières organiques non méthanisées) ;
- L'acquisition de facteurs d'émissions suffisamment précis ;
- La caractérisation et l'évaluation des impacts indirects.

Pour finir, cet état des connaissances actualisé sur les impacts des installations de méthanisation dus aux émissions potentielles de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre permet de mieux identifier certaines thématiques, avec un nombre de données disponibles relativement faibles ou avec des données produites qui ne font pas consensus au sein de la communauté scientifique. C'est en partie lié au fait qu'il existe un nombre important de combinaisons de substrats et de technologies utilisées, ce qui explique que les données sont produites avec autant de résultats différents sur les émissions atmosphériques. Il apparaît donc nécessaire de mettre en œuvre des programmes de recherche visant à approfondir certains points critiques afin d'avoir une meilleure connaissance globale de la méthanisation, tout en prenant en compte la particularité de chaque installation.

Références bibliographiques

- [1] Rhel, T. et al. Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. Resources, Conservation and Recycling. 2011.
- [2] Poeschl, M. et al. Environmental impacts of biogas deployment - Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. Journal of Cleaner Production. 2012.
- [3] Bioteau, T. et al. DIGES - Guide méthodologique - version 2.0. ADEME. 2009.
- [4] BioIS & EREP. Analyse du cycle de vie du biogaz issu de cultures énergétiques - Valorisation en carburant véhicule et en chaudière, après injection dans le réseau de gaz naturel - Synthèse finale. ADEME. 2011.
- [5] Zdanevitch, I. et al. Etude de la composition du biogaz de méthanisation agricole et des émissions en sortie de moteur de valorisation. MEEDDM INERIS. 2009.
- [6] Amon, B. et al. Greenhouse gas and ammonia emission abatement by slurry treatment. International Congress Series. 2006.
- [7] Mallard, P. et al. Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets. ADEME. 2005.
- [8] RDC-Environnement & Bio Intelligence Service. ACV des modes de valorisation énergétique du biogaz issu de la méthanisation de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères collectée sélectivement en France .ADEME, Gaz de France. 2007.
- [9] ATEE Club Biogaz. Guide de bonnes pratiques pour les projets de méthanisation. 2011.
- [10] Devauchelle, E. Intérêt environnemental et bilan gaz à effet de serre des unités de méthanisation agricoles - Le biogaz au cœur de nos fermes. Solagro. 2013.
- [11] Air Languedoc-Roussillon. Unité de méthanisation des déchets ménagers AMETYST - Surveillance Air et Odeurs - Année 2009. Air Languedoc-Roussillon. 2010.
- [12] Jury, C. et al. Life cycle assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid. Biomass and Bioenergy. 2010.
- [13] Bour, O. et al. Evaluation des risques liés aux émissions gazeuses des décharges : propositions de seuils de captage. MEDD, ADEME (INERIS). 2005.
- [14] Poulleau, P. Caractérisation des biogaz - Bibliographie - Mesures sur sites. INERIS. 2002.
- [15] Bakx, T. et al. Etat de l'art des méthodes (rentables) pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne. Office fédéral de l'énergie suisse. 2009.
- [16] Aissani, L. et al. Détermination de l'intérêt environnemental via l'analyse du cycle de vie du traitement des effluents organiques par méthanisation au regard des contraintes territoriales. Sciences, Eaux & Territoires. 2013.
- [17] Hamelin, L. et al. Life cycle assessment of Biogas from Separated slurry. Danish Ministry of the Environment. 2010.
- [18] Prapasongsa, T. et al. Energy production, nutrient recovery and greenhouse gas emission potentials from integrated pig manure management systems. Waste Management & Research. 2009.
- [19] Prapasongsa, T. et al. LCA of comprehensive pig manure management incorporating integrated technology systems. Journal of Cleaner Production. 2010.
- [20] Bioteau, T. et al. Analyse spatialisée pour l'aide à la planification des projets de méthanisation collective. ORBIT 2012. Rennes, France : 12-14 juin 2012.

- [21] Pellerin, S. et al. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. ADEME, MAAF, MEDDE. 2013.
- [22] Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse. Méthanisation des boues de stations : Règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse. 2012.
- [23] Broz, J. Etude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel. MEDDE. 2006.
- [24] Couturier, C. Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse. ADEME, RECORD. 2009.
- [25] Oréade-Brèche, APESA. Méthanisation agricole et utilisation de cultures énergétiques en codigestion : avantages / inconvénients et optimisation. ADEME, MEDDE. 2009.
- [26] Burelle, S. Lignes directrices pour l'encadrement des activités de biométhanisation. MDDEP. 2011.
- [27] Fontelle, J.P. et al. Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France (OMINEA). MEDDE. 1365p. 2014.
- [28] Renault, P. et al. Impacts des épandages de composts d'ordures ménagères résiduelles sur les émissions de gaz à effet de serre au champ. ANR. 2012.
- [29] Beylot, A. Analyse du Cycle de Vie du prétraitement mécano-biologique des Ordures Ménagères Résiduelles Etude de cas et analyse de sensibilité. ANR. 2012.
- [30] Aissani, L. et al. Analyse du Cycle de Vie comparative de deux filières de gestion des ordures ménagères : la filière TMB type Varennes-Jarcy et la filière Tout incinération. ANR. 2012.
- [31] Le Bozec, A. Les technologies de prétraitement et de valorisation des déchets biodégradables. 2011.
- [32] Bour, O. et al. L'oxydation du biogaz : un moyen de réduire les émissions résiduelles. 2008.
- [33] Bird, N. et al. Greenhouse gas benefits of a biogas plant in Austria. IEA. 2011.
- [34] INRA, ITAVI et al. Emissions agricoles de particules dans l'air. Etat des lieux et leviers d'action. Plan particule. ADEME. 2012.
- [35] Faburé, J. et al. Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'émission de particules vers l'atmosphère: identification de facteurs d'émissions. ADEME, MEDDE. 2011.
- [36] Jacoutot, R. Impact de l'agriculture sur la pollution de l'air et atmosphère. Air Lorraine, ALPA. 2011.
- [37] Mathias, E. et al. Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030. ADEME. 2013.
- [38] Mallard, P. et al. Programme de recherche sur les émissions atmosphériques du compostage: Connaissances acquises et synthèse bibliographique. ADEME. 2012.
- [39] ADEME. Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, Sox, NO_x issues des centres de stockage des déchets ménagers et assimilés - Guide méthodologique. ADEME. 2003.
- [40] CITEPA. Note pour la déclaration des émissions atmosphériques des ISDND (Partie Air de la déclaration) - Version 2. MEDDE / GEREP. 2014.
- [41] FNADE. Guide méthodologique relatif à la déclaration des émissions polluantes des installations de stockage de déchets, version 3. ADEME. 2007.
- [42] MEDDE. Guide pour l'évaluation de l'émission de NH₃ dans l'air des élevages de porcs et de volailles. MEDDE. 2006.
- [43] Dor, F. et al. Stockage des déchets et santé publique: Caractérisation qualitative et quantitative des émissions des centres de stockage des déchets. MEDDE, ADEME. 2004.
- [44] Dor, F. et al. Stockage des déchets et santé publique: Synthèse et recommandations. MEDDE, ADEME. 2004.

- [45] Bel, J.B. Rapport sur l'observation environnementale 2007 de la gestion des déchets ménagers et assimilés en Île-de-France. ORDIF. 2009.
- [46] Borjesson, P. et al. Environmental systems analysis of biogas systems - Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. Biomass and Bioenergy. 2007.
- [47] Gac, A. et al. GEST'IM : Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre. Ministère de l'agriculture et de la pêche. 2010.
- [48] Dupont, L. et al. Règles de sécurité des installations de méthanisation agricole. Ministère de l'agriculture et de la pêche. 2010.
- [49] Gac, A. et al. A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach. Livestock Science. 2007.
- [50] Durif, M. Guide d'application de la méthode d'estimation des émissions fugitives de COV aux équipements et canalisations. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. 2004.
- [51] Poeschl, M. et al. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. Journal of Cleaner Production. 2012.
- [52] Borjesson, P. et al. Environmental systems analysis of biogas systems - Part I: Fuel-cycle emissions. Biomass and Bioenergy. 2006.
- [53] Bastide, G. Méthanisation: Fiche technique. ADEME. 2014.
- [54] Olesen, J.E. et al. Farm GHG : A model for estimating greenhouse gas emissions from livestock farms - Documentation. Danish Institute of Agricultural Sciences. 2004.
- [55] Scholwin, F. et al. Eco-analyse de la valorisation du biogaz issu des matières premières renouvelables. Institut für Energetik und Umwelt. 2006.
- [56] Stichnothe, H. et al. Comparison of different treatment options for palm oil waste on a life cycle basis. International Journal of Life Cycle Assessment. 2010.
- [57] De Vries et al. Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. Journal of Environmental Management. 2012.
- [58] Liebetrau J. et al. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. Water Sci Technol. 2013.
- [59] Meyer-Aurich, A. et al. Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. Renewable Energy. 2012.
- [60] Blengini, G.A. et al. LCA of bioenergy chains in Piedmont (Italy): A case study to support public decision makers towards sustainability. Resources, Conservation and Recycling. 2011.
- [61] Filali, A. et al. Régulation de l'aération en boues activées : impact sur les performances épuratoires, les gains énergétiques et les émissions de N₂O. Récents Progrès en Génie des Procédés. 2013.
- [62] APESA, Biomass et al. Le cadre réglementaire et juridique des activités agricoles de méthanisation et de compostage. ADEME. 2012.
- [63] Reverdy, A.L. et al. La digestion anaérobie des boues de stations d'épuration urbaines - Etat des lieux, état de l'art. MEDDE. 2011.
- [64] Maugendre, J.P. Guide méthodologique d'évaluation des émissions de GES des services d'eau et de l'assainissement - 3ème édition. ADEME. 2013.
- [65] Bani Shahabadi et al. Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants. Waste Research. 2009.

- [66] Bajon Fernandez et al. Carbon capture and biogas enhancement by carbon dioxide enrichment of anaerobic digesters treating sewage sludge or food waste. *Bioresource Technology*. 2014.
- [67] Zhang, C. et al. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014.
- [68] Franchetti, M. Economic and environmental analysis of four different configurations of anaerobic digestion for food waste to energy conversion using LCA for: A food service provider case study. *Journal of Environmental Management*. 2013.
- [69] Papurello, D. et al. Monitoring of volatile compound emissions during dry anaerobic digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste by Proton Transfer Reaction Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Bioresource Technology*. 2012.
- [70] Orzi, V. et al. Potential odour emission measurement in organic fraction of municipal solid waste during anaerobic digestion: Relationship with process and biological stability parameters. *Bioresource Technology*. 2010.
- [71] Page, L.H. et al. Characteristics of volatile fatty acids in stored dairy manure before and after anaerobic digestion. *Biosystems Engineering*. 2014.
- [72] Lijo, L. et al. Life Cycle Assessment of electricity production in Italy from anaerobic co-digestion of pig slurry and energy crops. *Renewable Energy*. 2014.
- [73] Battini, F. et al. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: Case study of a dairy farm in the Po Valley. *Science of the Total Environment*. 2014.
- [74] Zeshan, Visvanathan et al. Evaluation of anaerobic digestate for greenhouse gas emissions at various stages of its management. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014.
- [75] Soltermann-Pasca, A. et al. Methanverlust bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen (les pertes de méthane sur les installations de méthanisation agricoles). Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon AR. 2012.
- [76] Woess-Gallash, S. et al. Treibhausgas-emissionen aus biogasanlagen. Institut für energietechnik. 2007.
- [77] Cuhls, C. et al. Treibhausgas-emissionen aus biogasanlagen. *UmweltMagazin*. 2011.
- [78] Lahl, U. et al. Stand der Technik der Emissionsminderung bei Biogasanlagen. BZL. 2010.
- [79] Vogt, R. Basisdaten zu THG-Bilanzen für biogas-Prozessketten und erstellung neuer THG Bilanzen. ifeu. 2008.
- [80] Flesch, T. et al. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and Bioenergy*. 2011.
- [81] Oshita, K. et al. Methane and nitrous oxide emissions following anaerobic digestion of sludge in Japanese sewage treatment facilities. *Bioresource Technology*. 2014.
- [82] Moletta, R. et al. Méthanisation des déchets organiques: étude bibliographique. MEDDE. 2003.
- [83] Lejars, L. La valorisation des effluents et produits d'exploitation par la méthanisation. Exemple d'un cas concret dans le Loiret : le GAEC Beets. *Revue Fourrages*. 2010.
- [84] CITEPA. Méthodologie spécifique pour les Projets de méthanisation des effluents d'élevage. MEDDE. 2007.
- [85] Collet, A. Evaluation environnementale (ACV) de la méthanisation des effluents d'élevage et d'industries agroalimentaires sur le territoire du Coglais (35). IRSTEA. 2006.
- [86] RMT Elevage & Environnement. "Mieux quantifier les émissions de polluants atmosphériques des élevages pour mieux les réduire" - Journée d'échanges techniques. ADEME. 2012.
- [87] Hansen M.N., Nyord T. Effects of separation and anaerobic digestion of slurry on odour and ammonia emission during subsequent storage and land spreading. *VäxtEko*. 2005.
- [88] Joo, H.S. et al. Emissions of ammonia and greenhouse gases (GHG) from anaerobically digested and undigested dairy manure. ASABE. 2012.

- [89] Hansen, Marti et al. Effects of separation and anaerobic digestion of slurry on odour and ammonia emission during subsequent storage and land spreading. 2006.
- [90] Beylot, A. et al. Life Cycle Assessment of landfill biogas management: sensitivity to diffuse and combustion air emission. 2012.
- [91] Bour, O. et al. Etude et évaluation des systèmes rustiques d'oxydation de méthane et de traitement de lixiviats (programme METHALIX). ADEME. 2013.
- [92] Bour, O. et al. Outil spécifique au site de mesure et suivi des émissions diffuses des ISDND - Présentation des protocoles et des résultats (programme OSSIMED). ADEME. 2013.
- [93] Ackerman, Budka et al. Methane emissions measurements on different landfills . 2007.
- [94] Hebe, I. Mesure des flux de biogaz captés issus des Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) – guide opérationnel (projet METROFLUX).ADEME. 2013.
- [95] Hebe, I. Étude des conditions d'optimisation et des limites d'utilisation de la méthode DIAL (outil de mesure direct des émissions diffuses de méthane) sur les ISDND.ADEME. 2010.
- [96] Riquier, L. Mise en place et suivi de trois pilotes de biofiltration des biogaz d'ISDND (projet BIOFILTRATION).VEOLIA, SITA, COVED. 2012.
- [97] CITEPA. Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la CNUCCC.MEDDE. 2014.
- [98] CITEPA. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France au titre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance et de la directive Européenne relative aux plafonds d'émissions nationaux (NEC).MEDDE. 2014.
- [99] Evanno, S. et al. Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle. MEDDE. 2010.
- [100] Evanno, E. Retour d'expérience relatif aux procédés de méthanisation et à leurs exploitations. .MEDDE. 2012.
- [101] Zdanevitch, I. Risques sanitaires liés à l'injection de biogaz issu de boues de STEP dans un réseau de gaz naturel – travaux préliminaires. MEDDE. 2009.
- [102] Evanno, S. et al. Etude des distances d'effets (explosion, thermique, toxique) des principaux scénarios majorants d'unité d'épuration de biogaz et d'injection biométhane. MEDDE. 2014.
- [103] Dupont, L. et al. Etude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles. MEDDE. 2008.
- [104] Evanno, S. et al. Mise au point d'un réacteur pilote de méthanisation de 5 litres. MEDDE. 2010.
- [105] Evanno, S. et al. Evaluation des performances métrologiques d'appareils de mesure d'H₂S dans le biogaz . MEDDE. 2011.
- [106] Banville, S. Suivi technique, environnemental, et social d'installations de méthanisation. ADEME. 2014.
- [107] Hartig, S. Guide sur le biogaz: De la production à l'utilisation. Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement. 2013.
- [108] Wang, Y. et al. Ammonia and Greenhouse Gas Emissions from Biogas Digester Effluent Stored at Different Depths. 2014.
- [109] Clemens, S. et al. Leakage control of biogaz plants. ORBIT 2012. Rennes, France : 12-14 june 2012.
- [110] Rhel, T. et al. Life cycle assessment of energy generation from biogas - Attributional vs. consequential approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012.
- [111] Béline, F. et al. La méthanisation en milieu rural et ses perspectives de développement en France. Sciences, Eaux & Territoires. 2013.

- [112] Peu, P. et al. Prediction of hydrogen sulphide production during anaerobic digestion of organic substrates. *Bioresources Technology*. 2012.
- [113] Berger, S. Gestion et valorisation du digestat. 2012.
- [114] Couturier, C. La méthanisation rurale. *La voir Biolactée*. 2014.
- [115] Marchand, M. et al. Odour and Life Cycle Assessment (LCA) in Waste Management: A local assessment proposal. *Waste and Biomass Valorization*. 2013.
- [116] Houot, S. et al. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier, impacts agronomiques, environnementales, socio-économiques. *MAAF & MEDDE*. 2014.
- [117] Gardeur-Algros, E. et al. Production et distribution de biogaz - Santé et sécurité des opérateurs - Rapport final - Etude n°11-0673/1A. *Record*. 2013.
- [118] Bioteau, T. et al. Analyse spatialisée pour l'aide à la planification des projets de méthanisation collective. *Sciences, Eaux et Territoires*. 2013.
- [119] APESA et Biomasse Normandie. Suivi technique, économique, environnemental et social d'installations de méthanisation – Installations à la ferme, centralisées, industrielles et en station d'épuration. *ADEME*. 2014.

Index des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : Valeurs limites à l'émission (France) pour les installations de combustion de biogaz.....	10
Tableau 2 : Caractérisation des modifications entraînées par la méthanisation sur une exploitation agricole.....	29
Tableau 3 : Caractérisation des modifications induites par la méthanisation selon leur occurrence et l'évolution générale des émissions atmosphériques	31
Tableau 4 : Trois cas-types pour l'étude des impacts indirects de la méthanisation agricole	31
Tableau 5 : Principales caractéristiques des installations de méthanisation agricole retenues pour l'étude d'évaluation simplifiée sur la quantification des impacts directs et indirects.....	33
Tableau 6 : Projets de recherche sur des activités liées à la méthanisation.....	45
Tableau 7 : Projets de recherche sur des domaines "connexes" à la méthanisation	45
Tableau 8 : Pistes de recherche pour consolider les connaissances à approfondir dans le domaine des émissions atmosphériques de la méthanisation.....	47

Figures

Figure 1 : Les principales étapes du cycle de vie d'une installation de méthanisation	7
Figure 2 : Les périmètres étudiés dans la phase 1 (impacts directs) et la phase 2 (impacts indirects) de l'étude Metha QA-GES.....	8
Figure 3 : Dynamique des émissions atmosphériques à chaque étape du cycle de vie d'une installation de méthanisation	13
Figure 4 : Etat des connaissances sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation	15
Figure 5 : Identification des enjeux en termes d'approfondissement des connaissances sur les émissions atmosphériques des installations de méthanisation.....	16
Figure 6 : Pistes de recommandations techniques pour chaque étape du cycle de vie des installations de méthanisation	17
Figure 7 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations agricoles de méthanisation (à la ferme)	18
Figure 8 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de méthanisation centralisée	19
Figure 9 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de méthanisation de boues de STEP	20
Figure 10 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de méthanisation d'Ordures Ménagères Résiduelles	21
Figure 11 : Schéma de synthèse des dynamiques d'émissions pour les installations de production de biogaz à partir des ISDND.....	22
Figure 12 : Schéma des modifications engendrées potentiellement par la méthanisation agricole sur une exploitation agricole ou un territoire.....	24
Figure 13 : Méthodologie appliquée dans l'outil DIGES.....	33
Figure 14 : Bilan des émissions de GES – comparaison entre un scénario de référence (sans méthanisation) et le scénario de l'installation n°1 (méthanisation à la ferme individuelle)	34
Figure 15 : Analyse de sensibilité du bilan GES aux fuites de méthane pour l'installation n°1	34
Figure 16 : Bilan des émissions de GES – comparaison entre un scénario de référence (sans méthanisation) et le scénario de l'installation n°2 (méthanisation à la ferme centralisée)	36
Figure 17 : Analyse de sensibilité du bilan GES aux fuites de méthane pour l'installation n°2	36
Figure 18 : Analyse de la prise en compte des polluants atmosphériques au niveau de deux installations de méthanisation agricole (cas n°1- individuelle et cas n°2- centralisée).....	37
Figure 19 : Identifications des modifications observées, suite à l'installation d'unités de méthanisation agricole (cas n°1- individuelle à la ferme et cas n°2-centralisée).....	38
Figure 20 : Schéma des pistes de recherche pour approfondir les connaissances dans le domaine de la méthanisation	47

Sigles et acronymes

AAMF	Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France
AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
ACV	Analyse de Cycle de Vie
AGV	Acide Gras Volatils
ANR	Agence Nationale de la Recherche
APCA	Association Permanente des Chambres d'Agriculture
ASTE	Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement
ATEE	Association Technique Energie Environnement
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CH₄	Méthane
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CIVE	Culture Intermédiaire à Vocation Energétique
CO	Monoxyde de carbone
CO₂	Dioxyde de carbone
CORTEA	Connaissances, réduction à la source et traitement des émissions dans l'air
COV	Composés Organiques Volatils
COVNM	Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
CRA	Chambre Régionale d'Agriculture
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DIGES	Digestion anaérobie et gaz à effet de serre
DIVA	Caractérisation des Digestats et de leurs filières de Valorisation Agronomique
EMAA	Energie Méthanisation Autonomie Azote
ENGEES	Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg
FE	Facteurs d'émission
GES	Gaz à Effet de Serre
H₂S	Hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène
IAA	Industrie Agro-Alimentaire
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IDELE	Institut de l'Elevage
IFIP	Institut du Porc
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
IRSTEA	Institut national de la Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ISDND	Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
LSCE	Laboratoire du Climat et de l'Environnement
MAAF	Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
N₂O	Protoxyde d'azote
NH₃	Ammoniac
NO_x	Oxydes d'azote
OMR	Ordures Ménagères Résiduelles
PM_{2,5}	Particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres
PM₁₀	Particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres
PRG	Potentiel de Réchauffement Global
SO_x	Oxydes de soufre
SO₂	Dioxyde de soufre
STEP	Station d'épuration
TMB	Tri Mécano Biologique
TSP	Particules totales en suspension
VLE	Valeur Limite d'Exposition

Annexe 1 – Liste des membres du comité de suivi

ORGANISMES	MEMBRES
ADEME	<p>Laurence GALSOMIES (SEQA) : co-pilote de l'étude</p> <p>Guillaume BASTIDE (SMVD) : co-pilote de l'étude</p> <p>Thomas EGLIN (SAF)</p> <p>Marc BARDINAL (SAF)</p>
Groupeement des partenaires de l'étude	<p>Benjamin LEVEQUE (I Care Environnement) : chef de projet</p> <p>Lénaïc MONIOT (I Care Environnement) : consultante</p> <p>Léo GENIN (EnvirOconsult) : chef de projet</p> <p>Claire RUSCASSIE (Solagro) : chargée d'étude</p>
Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie	<p>Pascale VIZY (chargée de mission Déchets organiques, DGPR/SPNQE/DPGD/BPGD)</p> <p>Aurélié VOLOKHOFF (chargée de mission Qualité de l'air, DGEC/SCEE/SD5/5B)</p> <p>Joseph LUNET (chargé de mission Agriculture, forêt, biomasse, DGEC/SCEE)</p>
Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt	<p>Léa MOLINIE (chargée de mission Biomasse et Bioénergies, DGPAAT/SSADD/SDBE/BBE)</p> <p>Lionel LAUNOIS (chargé de mission Evaluation des performances environnementales et qualité de l'air, DGPAAT/SSADD/SDBE/BSECC)</p>
APCA	<p>Sophie AGASSE (experte agriculture et biomasse)</p> <p>Carine PESSIOT (experte méthanisation)</p>
ATEE – Club Biogaz	<p>Fannie LAVOUE (juriste)</p>
INERIS	<p>Karine ADAM (ingénieure, Unité Technologies et procédés Propres et Durables)</p>
IRSTEA	<p>Thierry BIOTEAU (assistant ingénieur, équipe SAFIR)</p>

Annexe 2 – Projets de recherche identifiés par l’analyse bibliographique

NOMS de PROJET	DESCRIPTIFS	COORDINATEURS
ACTA-GES	Mise au point d’une méthode simplifiée de la mesure des GES en bâtiment et au stockage en porcs, bovins et volailles.	Institut de l'élevage
ADAR	Diffusion des nuisances olfactives liées à l'élevage : évaluation, simulation, réduction	/
ADEME	Métrologie à l'émission gazeuse des sources fixes : validation des procédures de références pour la mesure des polluants gazeux des bâtiments d'élevages et des stockages des effluents d'élevages	INRA, Unité mixte de Recherche Sol Agro et hydrosystème Spatialisation
BIODECOL2	Production de biogaz par codigestion des déchets agricoles et issus des collectivités	IRSTEA
/	Chauffage au biogaz de lisier en élevage de porc	CRAB
/	Évaluation des émissions de gaz des bâtiments d'élevage porcin	Pôle Porc-aviculture, CA de Bretagne, Vannes
/	Influence de la nature des aliments sur les émanations gazeuses (NH ₃ , CH ₄ , N ₂ O) et le potentiel de production de méthane des effluents	IRSTEA
	L'épandage de boues de station d'épuration sur prairies	Institut de l'élevage
ETYC	Réalisation d'une évaluation environnementale des filières de compostage et de méthanisation.	INRA Rennes
/	Chiffrage du potentiel de production d'énergie et réduction des émissions comparés à une filière classique ; prix énergie produite et tonne CO ₂ non émise ; intérêt de ce mode de gestion.	Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne
SIGACV	Couplage SIG et ACV pour développer une méthodologie d'analyse systémique des territoires afin d'accompagner le développement de l'approche territoriale des unités de méthanisation.	IRSTEA Rennes
METHALIX	Etude et évaluation des systèmes rustiques d'oxydation de méthane et de traitement de lixiviats	INERIS
OSSIMED	Outil spécifique au site de mesure et suivi des émissions diffuses des ISDND - Présentation des protocoles et des résultats	INERIS
AROME	Les nuisances olfactives des sites de compostage: de la mesure à la source jusqu'à la modélisation de l'impact olfactif	SUEZ, INERIS, NUMTECH, IRSN

BGC1	Évaluation des émissions gazeuses au cours du compostage à partir d'une méthodologie en pilote capable de quantifier les flux des gaz émis au cours du procédé	VERI
EMISITE	Évaluation sur site de différentes méthodes de mesure des émissions gazeuses d'une installation de compostage	Irstea / INERIS / NUMTECH
ALG-2S	Acquisition de données relatives aux émissions gazeuses soufrées issues du compostage des déchets des collectivités littorales	CEVA / Irstea / AIR Breizh
EXPOSE	Impact environnemental des émissions liées au compostage : de la définition d'un protocole d'échantillonnage à l'évaluation de l'exposition des populations	ARMINES / EZUS Lyon 1
EMIPART	Caractérisation des concentrations de particules dans l'air ambiant et identification des phases émissives en site ouvert de compostage	INERIS / TERRALYS / Divergent
CARTOCOV	Cartographie dynamique des émissions atmosphériques de composés chimiques et microbiologiques des composts	AHLSTROM / EXPLORAIR
/	Etude et optimisation d'une unité de méthanisation des déchets ménagers	Centre recherche Véolia Environnement
AFEFP	Acquisition de Facteurs d'Emissions d'ammoniac et de Gaz à Effet de Serre spécifiques aux Elevages Porcins en France	IFIP, INRA UMR SA
EMITEC	EMissions gazeuses d'itinéraires TEChniques en élevages porcins (bâtiment-stockage-épandage) combinant de bonnes pratiques environnementales	IFIP, INRA UMR SA
AFAV	Acquisition de Facteurs d'émissions d'Ammoniac en élevage de Volaille de chair en France	ITAVI, IFIP, INRA UMR SA
EMAFUM	EMissions d'Ammoniac et de Gaz à Effet de Serre des FUMiers bovins	IDELE, INRA UMR SAS, IRSTEA, ferme expérimentale de DERVAL
EMBB	EMissions d'ammoniac et de Gaz à Effet de Serre en Bâtiments Bovins laitiers : effet croisés du mode de logement et de l'alimentation azotée	INRA UMR SAS, IDELE, PEGASE
BTEP	Emissions gazeuses aux Bâtiments, sTockages, Epandages et Pâturages des systèmes bovins laitiers	INRA UMR SAS, IDELE, PEGASE, GC, IRSTEA
/	Mise au point d'un biofiltre permettant le traitement des émissions des porcheries	Ecole des Mines de Nantes
ACTA odeur	/	IFIP

Annexe 3 – Liste des experts interrogés (entretiens par téléphone)

DOMAINES D'EXPERTISE	ORGANISMES	EXPERTS (entretiens)
Qualité de l'air et risques	CITEPA INERIS Mines Paris Tech	Etienne MATHIAS Karine ADAM Mathilde MARCHAND
Monde agricole	APCA IFIP AAMF Chambre Agriculture de Bretagne	Carine PESSIOT Nadine GUINGAND Stéphanie BONHOMME, Denis OLLIVIER Aurore LOUSSOUARN, Marie-Laure GRANNEC (dans le cadre du projet METERRI)
OMR et odeurs	ENGEES	François-Joseph DANIEL
Recherche sur les substrats et digestats	BRGM IRSTEA INRA	Antoine BEYLOT Lynda AISSANI, Fabrice BELINE Sabine HOUOT
Constructeur d'unités de méthanisation et de valorisation du biogaz	Air Liquide Clarke Energy Eneria	Mathieu LEFEVRE Jérôme CHARMANT Aymeric MINOT

Annexe 4 – Fiches synthétiques sur les impacts directs de la méthanisation et les pistes de recommandations techniques pour limiter les émissions atmosphériques

- Fiche « Approvisionnement en substrat ».....64
- Fiche « Stockage et traitement des substrats ».....66
- Fiche « Production de biogaz ».....68
- Fiche « Stockage et valorisation du biogaz ».....71
- Fiche « Stockage et traitement du digestat ».....74
- Fiche « Valorisation et traitement du digestat ».....77

APPROVISIONNEMENT EN SUBSTRAT	GES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
	Polluants	NH ₃	NO _x	SO _x	COVNM	Particules	H ₂ S
	Odeurs	Composés odorants					

Contexte

Le transport des substrats vers l'unité de méthanisation est généralement réalisé à partir de véhicules (camions ou tracteurs), possédant le plus souvent une charge utile de 10-15 tonnes [3]. Les émissions sont donc influencées par la distance parcourue et la typologie des véhicules transportant les substrats. D'après le Club biogaz de l'ATEE, pour un projet de 1MWe, le nombre de camions nécessaires à l'approvisionnement journalier en substrat d'une unité de méthanisation est estimé à 10, soit un camion par heure pendant les heures de travail [9].

Bilan des émissions

- **Gaz à effet de serre**

Les émissions de GES sont caractéristiques des émissions en lien avec les activités de transport. Les émissions de CO₂ (dioxyde de carbone) sont donc les plus importantes (un facteur d'émission de 958gCO₂/km est proposé dans l'outil DIGES [3]). La notion de distance maximale de collecte doit être prise en compte à une échelle territoriale. Elle correspond à l'énergie maximale qui peut être dépensée pour la collecte des substrats afin de ne pas dépasser 2% du potentiel énergétique du substrat transporté [118]. Elle varie de 2 à 55 km selon le type de substrat et son potentiel méthanogène [9].

Dans le cas des unités collectives, on transporte par camion des fumiers et lisiers sur un rayon moyen de l'ordre de 5 km. Les dépenses de transport sont toutefois très faibles ; les dépenses énergétiques du transport de lisier sur 10 km ne représentent que le vingtième de son potentiel énergétique dans les conditions les moins favorables.

- **Polluants**

Les émissions de polluants sont caractéristiques des émissions en lien avec les activités de transport : NO_x (oxydes d'azote) et particules. La notion de distance maximale de collecte doit elle aussi être prise en compte. L'optimisation du transport (notamment en ce qui concerne les allers/retours à vide sont à limiter) et de l'épandage, dans le cas d'unités collectives, sera recherchée.

- **Odeurs**

Elles peuvent être considérées comme négligeables lorsque le transport s'effectue par camions étanches et couverts [9].

Pistes de recommandations techniques							
	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement
GES et polluants	Optimiser les distances de transport	Réduire	CO ₂ , NO _x ...	★★★★	☾	★★★★	€
	Laver et rincer les véhicules à chaque débarquement dans le cas de transport de matières solides	Eviter	Odeurs	★	●	★	€
Odeurs	Intégrer des canalisations fermées au process de transport des matières liquides (cas des IAA)	Eviter	Odeurs	?	☾	★★	€
	Adapter les horaires et optimiser la fréquence de déchargement et de chargement des substrats	Eviter	Odeurs	?	●	★★	€

Niveau de faisabilité technique : ★ Simple ★★ Intermédiaire ★★★ Complexe ? Difficile à évaluer	Niveau de maturité : ○ Peu mature ☾ Moyennement mature ● Mature	Efficacité : ★ Moyennement efficace ★★ Efficace ★★★ Très efficace ? Difficile à évaluer	Niveau d'investissement : € Faible €€ Modéré €€€ Elevé ? Difficile à évaluer
---	---	--	---

Concernant la recommandation « Optimiser les distances de transport », celle-ci recouvre plusieurs notions : la distance parcourue d'une part et le taux de remplissage des véhicules d'autre part. Elle peut être mise en œuvre par l'exploitant, en amont lors de la réflexion sur l'installation de méthanisation. Mais cette recommandation pourrait également constituer un levier des pouvoirs publics afin de favoriser la prise en compte des distances de transport en amont des projets, voire pour décider du site d'implantation le plus approprié. Cependant, cette recommandation est moins spécifique au secteur de la méthanisation qu'à celui du transport de marchandises. Pour ce dernier, il existe des outils/guides spécifiques visant à maîtriser les émissions de GES (exemple de la charte « Objectif CO₂, les transporteurs s'engagent »). Enfin, la question du transport doit être mise au regard du bilan énergétique global de l'installation de méthanisation.

Ressources / aller plus loin

[3] Bioteau, T. *et al.*, 2009. DIGES - Guide méthodologique - version 2.0. ADEME. 57p.
 [9] ATEE Club Biogaz, 2011. Guide de bonnes pratiques pour les projets de méthanisation. 117p.
 [118] Bioteau, T. *et al.*, 2013. Analyse spatialisée pour l'aide à la planification des projets de méthanisation collective. Sciences, Eaux et Territoires, 12, 34-40.

Eléments de conclusion

Les émissions liées à l'approvisionnement en substrat sont celles dues au transport (CO₂, NO_x, particules). Mais, la plupart des ACV d'installations de méthanisation ne prennent pas en compte l'étape « transport » dans le périmètre d'étude. Par ailleurs, lorsque cette étape est prise en compte dans les ACV, les études démontrent que le transport n'est pas significatif au regard des autres étapes. Cependant, des bonnes pratiques peuvent être mises en place afin de limiter les émissions atmosphériques inhérentes à cette étape, notamment ce qui concerne l'optimisation des distances de transport.

STOCKAGE ET TRAITEMENT DES SUBSTRATS	GES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
	Polluants	NH ₃	NO _x	SO _x	COVNM	Particules	H ₂ S
	Odeurs	Composés odorants					

Contexte

Les substrats peuvent subir un ou plusieurs traitements avant de subir la digestion anaérobie (broyage, tri, mélange, pré-fermentation). Les informations disponibles sur le traitement préalable à la méthanisation sont peu nombreuses et par défaut, un stockage simple est donc généralement pris en compte.

Bilan des émissions

- **Gaz à effet de serre**

Les émissions de CH₄ (méthane) au cours du stockage des déjections sont quantitativement importantes mais très variables, en fonction des conditions anaérobies lors du stockage des substrats [7]. Plus le substrat stocké est liquide, plus les émissions de méthane ont tendance à être élevées (cas du lisier par rapport au fumier) [3]. De même, un stockage prolongé ainsi que la présence d'une couverture des fosses peuvent favoriser ces conditions (une aération d'une heure par jour peut être suffisante pour que la production de CH₄ ne soit pas détectable). Ainsi, les substrats agricoles sont les plus susceptibles d'émettre du CH₄ par rapport aux substrats d'IAA, STEP ou biodéchets pour lesquels les durées de stockage sont généralement courtes [3]. La réduction des durées de stockage liée à la méthanisation (afin de conserver le pouvoir méthanogène des substrats) permet alors de réduire ces émissions [9 ; 21]. Des mécanismes complexes de nitrification et dénitrification de l'azote sont à l'origine des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) en phase de stockage. Elles sont plus faibles lorsqu'il s'agit d'un stockage liquide comparé au stockage solide du fait des conditions de semi-anaérobiose qui leur sont favorables [3].
- **Polluants**

Qu'il s'agisse d'un stockage en vue de méthaniser les substrats ou non, des émissions importantes de NH₃ (ammoniac) sont constatées lors des premiers jours du stockage (par transformation des ions ammonium présents dans le substrat). Elles varient fortement selon la nature du substrat et les conditions de stockage : durée, surface d'échange avec l'air et propriétés de la couverture physique éventuelle. Les émissions de H₂S (sulfure d'hydrogène) sont faibles en phase de stockage de substrat. Néanmoins, elles peuvent être favorisées par des conditions anaérobies (températures élevées, acidification du milieu) et peuvent être source de risques pour la santé [7 ; 100]. Les émissions de particules primaires ne sont pas considérées comme une problématique majeure du stockage [35]. Des émissions de COVNM (composés organiques volatils non méthaniques) peuvent avoir lieu en quantités variables, selon la composition du substrat, une oxygénation éventuelle et les conditions de stockage. Il est donc complexe d'établir des valeurs de référence, d'autant plus que le profil d'émission varie au cours de la phase de stockage [7].
- **Odeurs**

Les odeurs liées aux activités de stockage sont dues principalement à la présence dans l'air de composés volatils azotés, soufrés, d'acides gras volatils ou autres composés organiques volatils. La fréquence d'exposition, la durée des épisodes d'odeurs et la période de l'exposition influent sur leur caractère de nuisance odorante [38]. D'une manière générale, les mesures permettant de réduire les émissions de NH₃ participent également à réduire les émissions odorantes [35].

Pistes de recommandations techniques							
	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement
GES et polluants	Minimiser les durées de stockage des substrats	Réduire	CH ₄ , CO ₂ , NH ₃	★	●	★★★	€
Polluants et odeurs	Confiner les lieux de réception des substrats fortement méthanogènes puis aspirer et traiter l'air vicié (notamment pour les unités dont les contraintes liées aux odeurs sont fortes –proximité des habitations) : lavage acide (absorption) (pour le NH ₃) ou basique (soude) (pour les composés soufrés) et/ou biofiltres (odeurs)	Eviter et Traiter	NH ₃ , composés soufrés, odeurs	★★★	●	★★★	€€€

Niveau de faisabilité technique : ★ Simple ★★ Intermédiaire ★★★ Complexe ? Difficile à évaluer	Niveau de maturité : ○ Peu mature ◐ Moyennement mature ● Mature	Efficacité : ★ Moyennement efficace ★★ Efficace ★★★ Très efficace ? Difficile à évaluer	Niveau d'investissement : € Faible €€ Modéré €€€ Elevé ? Difficile à évaluer
---	---	--	---

Il est possible de recommander, lors du stockage amont des substrats, de couvrir les fosses et de traiter l'air vicié, mais étant donné qu'en méthanisation les temps de séjour sont courts (de quelques heures à 3-4 jours) l'intérêt coûts/bénéfices associé à une telle action semble limité.

Dans le cas des installations de méthanisation des déchets ménagers ou des installations agricoles collectives recevant des déchets agroalimentaires, il est utile de confiner et de traiter l'air vicié des halls de réception des déchets afin de limiter les odeurs.

Certaines techniques de réduction des émissions de NH₃ pourraient avoir un impact négatif sur les émissions de N₂O au stockage (par exemple la formation d'une croûte sur les lisiers dans les fosses sans couverture) [35]. Cependant, étant donné la courte période de stockage des substrats, il semblerait préférable de privilégier les actions de réduction de NH₃ (car les émissions de NH₃ ont surtout lieu au début du stockage, comparé à celles de N₂O qui ont lieu dans la durée).

Enfin, les évaluations chiffrées de ces impacts sur le N₂O ne sont pas systématiques car les méthodes de mesure ne sont pas encore suffisamment développées. Il conviendrait donc d'approfondir les connaissances de ces émissions au niveau de la phase de stockage.

Ressources / aller plus loin

[3] Bioteau, T. *et al.*, 2009. DIGES - Guide méthodologique - version 2.0. ADEME. 57p.

[7] Mallard, P. *et al.*, 2005. Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets. ADEME. 331p.

[21] Pellerin, S. *et al.*, 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. ADEME, MAAF, MEDDE. 96p.

[35] Faburé, J. *et al.*, 2011. Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'émission de particules vers l'atmosphère: identification de facteurs d'émissions. ADEME, MEDDE. 160p.

[100] Evanno, S., 2012. Retour d'expérience sur les procédés de méthanisation et leurs exploitations. MEDDE. 148p.

Eléments de conclusion

Emissions atmosphériques principales associées à l'étape de stockage des substrats : CH₄ et NH₃. Des facteurs d'émission existent pour le méthane et l'ammoniac. Mais des campagnes de mesures des émissions seraient nécessaires sur des unités de méthanisation pour connaître les conditions en fonctionnement (notamment, la durée de stockage des substrats). Des techniques de réduction des émissions existent : couverture de la préfosse (substrats liquides y sont brassés, en conditions non chauffées et non aérées, en méthanisation agricole pendant 2 jours max.). Mais ces techniques donnent des effets contradictoires selon les émissions (ex : l'aération favorise la réduction des émissions de CH₄, mais augmente les émissions de NH₃).

PRODUCTION DE BIOGAZ	GES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
	Polluants	NH ₃	NO _x	SO _x	COVNM	Particules	H ₂ S
	Odeurs	Composés odorants					

Contexte

La digestion anaérobie dégrade les matières organiques et produit du biogaz, dont la composition dépend des substrats, aux potentiels méthanogènes variables. Il existe une diversité de composition des biogaz, au sein même de la filière méthanisation. Pour l'ensemble des types d'installations de méthanisation, la concentration en CH₄ varie de 50 à 75 % et celle en CO₂ de 25 à 50 % [5 ; 7].

Bilan des émissions

Les installations de digestion anaérobie sont considérées comme entièrement closes, et le biogaz est capté et envoyé dans un réseau dédié. Ainsi, les émissions éventuelles existant au niveau du digesteur sont nécessairement des émissions non maîtrisées, qui sont principalement liées aux opérations de maintenance, aux fuites par la structure du digesteur (toit et murs) et aux émissions par les soupapes de sécurité.

- **Gaz à effet de serre**

Les fuites de méthane sont les plus problématiques lors de l'étape de production du biogaz, en lien avec un risque d'explosion. Les valeurs des fuites de méthane recensées dans la bibliographie, pour tout type d'installations confondu ne font pas consensus et varient fortement selon les études, de 0 à plus de 5 % du méthane produit [16 ; 85]. Cependant, au niveau international, une valeur par défaut de 5 % est conseillée (GIEC). Pour les installations de méthanisation agricole, un taux de fuite de 1,5 % est pris en compte [21]. Cette variabilité est notamment due à l'incertitude quant aux méthodes de mesure et détection de ces émissions.

Par rapport à l'absence de traitement de la matière organique brute, la digestion anaérobie permettrait de réduire, de l'ordre de 50%, les émissions de GES (CH₄ et N₂O) [6].

- **Polluants**

Les émissions de H₂S sont suivies sur les installations de méthanisation dans un objectif de maîtrise des émissions soufrées à l'échappement des appareils de combustion. Il ne s'agit pas d'une surveillance concernant les émissions et les fuites potentielles de H₂S à l'atmosphère, qui de manière générale sont très rarement quantifiées à l'échelle des installations de méthanisation et sont donc plutôt considérées comme inexistantes au niveau du méthaniseur [103 ; 105]. Plusieurs études traitent de l'évaluation des performances métrologiques d'appareils de mesure d'H₂S dans le biogaz, ainsi que des risques liés à son inhalation (paralysie respiratoire).

- **Odeurs** : pas d'informations en dehors du H₂S

Hormis les éléments mis en évidence précédemment sur le H₂S, peu d'informations complémentaires ont pu être recensées. Cependant, les entretiens avec les experts ont permis de préciser que les émissions de composés gazeux responsables de nuisances odorantes peuvent avoir lieu aussi bien en période de fonctionnement normal de l'installation, qu'en cas de dysfonctionnement. Dans le cas agricole, il est nécessaire de différencier les odeurs liées à l'exploitation agricole de celles liées à l'installation de méthanisation.

Pistes de recommandations techniques							
	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement
GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★★	○	★★★	€€€
	Etre vigilant lors de la réception des ouvrages de méthanisation, notamment en ce qui concerne les tests d'étanchéité	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★	◐	★★★★	€€
Polluants	Réduire et limiter la formation de H ₂ S (en amont ou dans le digesteur) : <ul style="list-style-type: none"> STEP : ajout d'additifs (ex. chlorure ferrique) comme traitement physico-chimique Unités agricoles : ajout d'additifs d'oxygène dans le ciel gazeux du digesteur, des techniques d'épuration (désulfuration biologique, lavage chimique, charbon actif, oxyde de fer, chlorure ferrique...) 	Réduire	H ₂ S	★	●	★★★	€
	Suivre les émissions de H ₂ S par des analyseurs à poste fixe ou appareils portatifs avec système d'alarme ou méthode colorimétrique du bleu de méthylène	Mesurer	H ₂ S	★	●	★★★	€€€

Niveau de faisabilité technique : ★ Simple ★★ Intermédiaire ★★★ Complexe ? Difficile à évaluer	Niveau de maturité : ○ Peu mature ◐ Moyennement mature ● Mature	Efficacité : ★ Moyennement efficace ★★ Efficace ★★★ Très efficace ? Difficile à évaluer	Niveau d'investissement : € Faible €€ Modéré €€€ Elevé ? Difficile à évaluer
---	---	--	---

L'action visant à détecter et suivre les fuites de biogaz est également une conclusion du rapport de l'INERIS intitulé « *Etat des lieux des connaissances des émissions de CH₄ et de N₂O des installations de méthanisation : Emissions sur l'ensemble de l'installation et aux différentes étapes de production et de valorisation du biogaz et du digestat et techniques de mesure et surveillance du CH₄* ». L'intérêt coûts/bénéfices de cette action devra être démontré. Néanmoins, la bonne conception des installations de méthanisation, ainsi que la vérification de leur étanchéité à la réception des travaux pourraient permettre de prévenir une partie des fuites, comme la mise en place de mesures correctives quand des fuites sont détectées.

Pour les unités agricoles, il semble plus intéressant de privilégier le procédé d'ajout d'oxygène dans le ciel gazeux par rapport à des traitements du biogaz qui sont plus consommateurs de ressources (lavage, charbon actif...). A condition que la taille des installations, les concentrations en H₂S et les moyens de valorisation du biogaz le permettent.

En raison des faibles émissions identifiées lors de l'étape de production de biogaz, les recommandations techniques concernent surtout les émissions de H₂S, via la mise en place de dispositifs d'abattement.

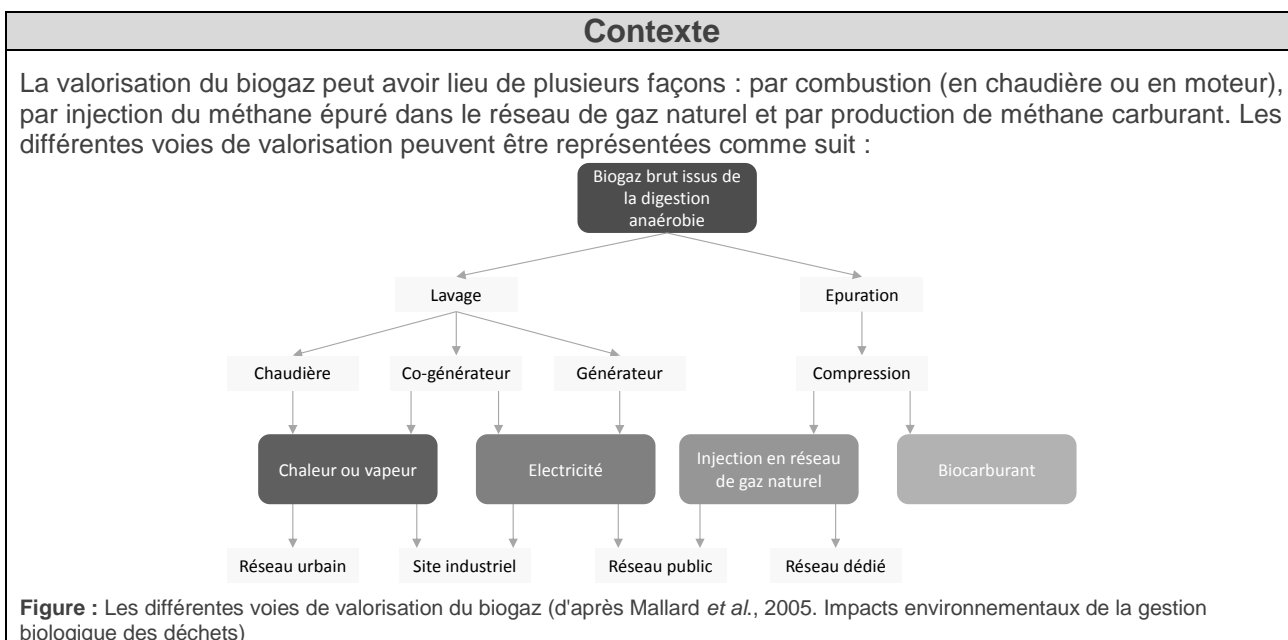
Ressources / aller plus loin

- [5] Zdanevitch, I. *et al.*, 2009. Etude de la composition du biogaz de méthanisation agricole et des émissions en sortie de moteur de valorisation. MEEDDM (INERIS). 107p.
- [16] Aissani, L. *et al.*, 2013. Détermination de l'intérêt environnemental via l'analyse du cycle de vie du traitement des effluents organiques par méthanisation au regard des contraintes territoriales. Sciences, Eaux & Territoires, 12. 78-85.
- [21] Pellerin, S. *et al.*, 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. ADEME, MAAF, MEDDE. 96p.
- [85] Collet, A., 2011. Evaluation environnementale (ACV) de la méthanisation des effluents d'élevage et d'industries agroalimentaires sur le territoire du Coglais (35) .IRSTEA. 124p.
- [105] Evanno, S., Zdanevitch, I., 2011. Evaluation des performances métrologiques d'appareils de mesure d'H₂S dans le biogaz .MEDDE. 19p.

Eléments de conclusion

La plupart des publications identifiées abordent la problématique des fuites de CH₄ qui est à mettre en regard du risque d'explosion. Cependant, les valeurs de quantification de ces fuites ne font pas consensus et nécessitent d'être approfondies par la réalisation de mesures sur sites. Quelques publications abordent également la question des émissions de H₂S, dont les enjeux sont différents dans la mesure où il impacte la santé. La limitation de la teneur en H₂S dans le biogaz est alors recommandée.

STOCKAGE ET VALORISATION DU BIOGAZ	GES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
	Polluants	NH ₃	NO _x	SO _x	COVNM	Particules	H ₂ S
	Odeurs	Composés odorants					



Bilan des émissions

COMBUSTION DU BIOGAZ (par cogénération)

- Gaz à effet de serre**
La combustion du biogaz entraîne des émissions importantes de CO₂ (proportionnelles au volume de gaz brûlé). Une combustion incomplète du biogaz entraîne, selon la composition du biogaz, des émissions de CO₂ et CH₄. Ces émissions de méthane seraient d'environ 1,7-1,8 % du biogaz entrant dans l'unité de combustion [33 ; 58], mais il n'existe pas de véritable consensus concernant ces pourcentages (par exemple, la publication [46] présente sur une hypothèse de 1 %). La manipulation des équipements contenant du biogaz (vannes, canalisations) peut également être à l'origine d'émissions [58]. Les émissions de CO sont considérées comme faibles lorsque la combustion est bien réglée.
- Polluants**
Les principaux polluants émis lors de la valorisation de ce biogaz sont le SO₂ (formé à partir des composés soufrés, dont le H₂S, présent dans les lisiers porcins et bovins), les NO_x et les COV résiduels. Les émissions de NO_x et COV sont liées aux réglages des moteurs (ratio biogaz/air) ainsi qu'à la proportion d'hydrocarbures non brûlés : plus les hydrocarbures sont brûlés, plus les COV diminuent et les NO_x augmentent [5 ; 14]. Celles de H₂S sont conditionnées par la présence de dispositif d'abattement (introduction de débit d'air faible dans le réacteur, etc.). Les émissions de siloxanes, mercaptans, BTEX et métaux lourds, qui peuvent être présents dans le biogaz, sont fonction de la composition des substrats (surtout dans les boues de STEP et le gaz de décharge) [9]. Les concentrations en polluants ne dépassent généralement pas les seuils fixés par la réglementation française ICPE.
- Odeurs**
Les composés odorants sont peu problématiques car, les émissions de H₂S notamment peuvent être maîtrisées par des procédés d'épuration et les COVs (dont les « cocktails » peuvent être à l'origine d'odeurs) sont présents dans le biogaz avec des faibles concentrations.

INJECTION DANS LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE GAZ

Cette étape d'injection fait suite à l'épuration du biogaz (qui notamment élimine le CO₂ et le H₂S) et peut être mise en œuvre par différentes techniques : adsorption (charbon actif, zéolithes, ...), absorption (lavage à l'eau, aux amines...), séparation membranaire ou épuration cryogénique.

- **Gaz à effet de serre**

Les procédés d'épuration nécessitent de l'électricité (pour la compression, le séchage...) ou de la chaleur (cas du lavage aux amines) mais pas de combustibles fossiles. Des fuites au niveau des canalisations et installations d'épuration peuvent participer à émettre du CH₄ et du CO₂. Les pertes de méthane seraient en moyenne de 2 % (avec une variabilité de 0,5 à 12 %) ¹³ du biogaz produit selon les installations et leur ancienneté ainsi que la composition du biogaz. Cette variabilité est identifiée par de nombreuses publications [8 ; 46 ; 51]. Ces gaz de purge peuvent être traités dans un oxydateur thermique.

- **Polluants** : pas d'informations
- **Odeurs** : pas d'informations

PRODUCTION DE METHANE CARBURANT

Les problématiques sont similaires à celles de l'injection. Les pertes non maîtrisées de méthane pourraient contribuer à des émissions de CH₄ potentiellement importantes (2 % du biogaz produit) [46].

Pistes de recommandations techniques

	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement
GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★★	○	★★★	€€€
	Optimiser la valorisation énergétique (réglage, entretien des équipements)	Eviter	CO, CO ₂	★	◐	★★★	€
Polluants	Eliminer l'ammoniac du biogaz par pré-traitement (réfrigération/condensation, adsorption sur charbon actif...) pour améliorer la combustion	Eviter	NO _x	?	◐	★★★	€€
	Eliminer les polluants traces par : réfrigération à -25°C (peu mature au coût élevé), adsorption sur charbon actif (mature au coût intermédiaire), et sur silica gel (peu mature au coût intermédiaire)	Traiter	Siloxanes, mercaptans, BTEX, métaux lourds	?	●	★★★	€€€

Niveau de faisabilité technique :

- ★ Simple
- ★★ Intermédiaire
- ★★★ Complexe
- ? Difficile à évaluer

Niveau de maturité :

- Peu mature
- ◐ Moyennement mature
- Mature

Efficacité :

- ★ Moyennement efficace
- ★★ Efficace
- ★★★ Très efficace
- ? Difficile à évaluer

Niveau d'investissement :

- € Faible
- €€ Modéré
- €€€ Elevé
- ? Difficile à évaluer

De même que pour l'étape de production de biogaz, la détection et le suivi des fuites de biogaz doivent être approfondis et testés par des mesures sur site, et l'intérêt coûts/bénéfices de cette action devra être démontré. Le suivi d'un panel représentatif de sites (selon le type de méthanisation ou encore les constructeurs) pourrait permettre de

¹³ INERIS, à paraître. Etat des lieux des connaissances des émissions de CH₄ et de N₂O des installations de méthanisation : Emissions sur l'ensemble de l'installation et aux différentes étapes de production et de valorisation du biogaz et du digestat et techniques de mesurage et surveillance du CH₄

capitaliser des données de références pour ensuite proposer des bonnes pratiques de mise en œuvre et de suivi.

L'élimination de l'ammoniac dans le biogaz par un pré-traitement qui limite les émissions de NH_3 dépend de la technique de valorisation du biogaz (cogénération ou injection). En effet, certains procédés intègrent déjà des équipements d'épuration pour des raisons de performance.

Le traitement du biogaz pour les polluants est à réfléchir en termes de coûts/bénéfices dans le cas spécifique de chaque installation de méthanisation. Cependant, la réglementation impose déjà un certain nombre de valeurs limites d'émissions ce qui ne rend pas forcément nécessaire des traitements supplémentaires.

Ressources / aller plus loin

[5] Zdanevitch, I. *et al.*, 2009. Etude de la composition du biogaz de méthanisation agricole et des émissions en sortie de moteur de valorisation. MEEDDM (INERIS). 107p.

[14] Poulleau, P., 2002. Caractérisation des biogaz - Bibliographie - Mesures sur sites. INERIS. 82p.

[33] Bird, N., Cowie, A., 2011. Greenhouse gas benefits of a biogas plant in Austria. IEA. 36p.

[46] Borjesson, P. *et al.*, 2007. Environmental systems analysis of biogas systems - Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, 31, 5. 326-344.

[51] Poeschl, M. *et al.*, 2012. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. *Journal of Cleaner Production*, 24. 168-183.

[58] Liebetrau J *et al.*, 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water Science and Technology*, 67, 6, 1370-9.

Eléments de conclusion

La valorisation du biogaz en chaleur, électricité ou carburant renouvelable permet une substitution de la consommation d'énergie fossile, et permet donc d'éviter des émissions de CO_2 sur le lieu de consommation de cette énergie.

La combustion du biogaz met en avant des problématiques liées à l'émission de polluants tels que les NO_x , SO_x et COV. Tous les procédés de valorisation sont en revanche concernés par des fuites potentielles de biogaz entraînant des émissions de CO_2 et CH_4 .

La composition du biogaz et les caractéristiques des installations de valorisation du biogaz sont les principaux déterminants des émissions atmosphériques. L'obtention de données fiables, par des mesures sur sites (dans un premier temps sur un panel représentatif d'installations de méthanisation), est donc indiquée afin d'avoir une meilleure connaissance des émissions à cette étape.

STOCKAGE ET TRAITEMENT DU DIGESTAT	GES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
	Polluants	NH ₃	NO _x	SO _x	COVNM	Particules	H ₂ S
	Odeurs	Composés odorants					

Contexte
<p>Le co-produit de la méthanisation est le digestat qui se compose de matières organiques et d'éléments fertilisants. Il doit être stocké de manière spécifique et il peut subir un certain nombre de traitements avant sa valorisation agronomique par épandage.</p> <p>Le digestat brut peut être valorisé en l'état, subir un séchage ou une séparation de phases à la suite de laquelle les phases solide et liquide peuvent également faire l'objet de traitement (thermiques, mécaniques, biologiques, etc.).</p>

Bilan des émissions
<p>STOCKAGE DU DIGESTAT</p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Gaz à effet de serre</u> <p>Le digestat stocké peut continuer de produire du biogaz résiduaire [2 ; 51], provoquant principalement des émissions de CO₂ et de CH₄. La mesure des émissions de méthane est soumise à précaution puisqu'elle ne fait pas l'objet de consensus. Par exemple, un programme de recherche allemand (<i>Biogas-Messprogramm</i>) les évalue à hauteur de 1,5 à 3,5 % de l'ensemble du biogaz produit alors que d'autres publications indiquent un taux d'émission variant de 4,2 % à 11,2 % [58].</p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Polluants</u> <p>La minéralisation poussée que subit l'azote des substrats lors de la digestion anaérobie favorise la production d'ammoniac (NH₃) qui reste en solution dans le digestat. Celui-ci est susceptible d'être volatilisé lors du stockage s'il n'y a pas de dispositif de couverture des fosses [10 ; 16 ; 21 ; 58 ; 87]. Des couvertures de surface (croûte naturelle, menue paille, billes d'argile ou couverture flottante de pièces plastiques - type Hexa-Cover®) ou de couvertures (membranes) étanches limitant les émissions de NH₃ et de CH₄, peuvent également être utilisées¹⁴.</p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Odeurs</u> <p>La digestion anaérobie tend à réduire la production des composés odorants (acides gras volatils (AGV), COVNM, H₂S) pouvant générer des nuisances olfactives (comparé à l'absence de méthanisation). Mais, la composition du substrat utilisé peut influencer les émissions lors du stockage. Les méthodes de mesure et de modélisation de leurs concentrations sont difficiles à mettre en œuvre. Les publications ne s'accordent pas sur une réduction réelle de concentration des composés odorants qui sont liés à la méthanisation [87 ; 111].</p> <p>SEPARATION DE PHASE</p> <p>Cette étape vise à différencier la fertilisation en valorisant chacune des phases.</p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Gaz à effet de serre</u> <p>Pour les digestats agricoles, il semblerait que la séparation de phases permette de réduire les émissions de N₂O lors de l'épandage des phases séparées (comparé à un digestat brut [10 ; 51 ; 58]). En effet, la</p>

¹⁴ Greenhouse gas emissions from on-farm digestate storage facilities , Tel-Tek report no. 2213040-1, Mary Anderson-Glenna, Tel-Tek John Morken, UMB 16.12.2013, Tel-Tek Kjølnes ring 30 NO-3918 Porsgrunn Norway
 Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser, Teodorita AL SEADI Clare LUKEHURST, IEA Task 37, Mai 2012
 ETAT DES CONNAISSANCES DES IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR ET DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES INSTALLATIONS DE VALORISATION OU DE PRODUCTION DE METHANE Page 74 sur 88

séparation de phases, qui permet de dissocier l'ammoniac (NH_3) dans la phase liquide et le carbone (C) dans la phase solide, conduit à une diminution des flux de N_2O (la réduction est plus marquée pour les liquides). Lors de l'épandage, les résultats du projet de recherche DIVA montrent effectivement que les émissions de N_2O diminuent : la séparation de phase permet de réduire très fortement ces émissions, de l'ordre de 90%¹⁵ dans le cas des unités agricoles, et de 50% dans le cas de l'unité territoriale. Les émissions de CH_4 et CO_2 peuvent également être réduites [51 ; 75].

- **Polluants**

La réduction du volume du digestat permise par la séparation de phase participerait à diminuer les émissions de COVNM associées à son transport [51]. Cela est lié au fait que le digestat solide est transporté plus loin et que le digestat liquide est épandu plus près du lieu de production. La séparation de phases permettrait également de réduire la quantité d'ammonium disponible à la volatilisation lors de la manipulation du digestat [1], notamment dans sa phase solide.

- **Odeurs**

La séparation de phase contribue à réduire les émissions de composés odorants de l'ordre de 50 % [75 ; 87 ; 89].

TRAITEMENTS DU DIGESTAT

- **Gaz à effet de serre**

Diverses techniques de traitement du digestat existent. Lorsque l'une d'elle implique la consommation d'énergies fossiles (le séchage par exemple), de ce fait les émissions de GES vont augmenter comparées à des techniques plus vertueuses en énergies fossiles (compostage, séchage solaire, filtration membranaire) [1 ; 2 ; 51]. A la différence d'une absence de traitement, le digestat une fois traité participerait à réduire les émissions de N_2O lors de son stockage et de son épandage [1].

- **Polluants**

Les émissions d'ammoniac (NH_3) sont majoritaires dans les émissions totales de polluants, car le NH_3 se volatilise facilement au cours de la manipulation du digestat. En effet, la minéralisation de l'azote pendant la méthanisation provoque une augmentation du potentiel de volatilisation. Ainsi, la manipulation du digestat lors du stockage et de l'épandage doit s'envisager avec de bonnes pratiques pour limiter la volatilisation.

Des incertitudes demeurent quant aux émissions de NH_3 selon les traitements, comparé à un substrat non méthanisé, notamment du fait de la difficulté de définir des situations moyennes pour un digestat [7 ; 38]. Cependant, le compostage de la phase solide du digestat occasionnerait une volatilisation de l'ammoniac de l'ordre de 20 à 30 % de l'azote présent [16 ; 113]. D'autres pratiques visant à limiter la volatilisation sont également à envisager, telles que des procédés de récupération du NH_3 (lavage acide des buées de séchage, traitement de l'air vicié issu du compostage).

- **Odeurs** : pas d'informations

¹⁵ Comparaison épandage digestat brut / digestat solide+digestat liquide

Pistes de recommandations techniques							
	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement
GES	Recouvrir les fosses de stockage et récupérer le biogaz résiduaire	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★★	◐	★★★★	€€
	Maximiser les temps de séjour dans le digesteur et post-digesteur et capter le biogaz de ces équipements	Réduire	CH ₄ , CO ₂	★	◐	★★★★	€
Polluants	Recouvrir, aspirer et traiter l'air vicié ou valoriser le biogaz résiduaire des fosses de stockage couvertes et étanches aux gaz ou utiliser des couvertures de surface flottantes (croûte, menue paille, pièces de plastique)	Eviter	NH ₃	★★★	◐	★★★★	€€
	Traiter l'air vicié (procédés d'épuration)	Traiter	NH ₃	★★★	●	★★★	€€€

Niveau de faisabilité technique : ★ Simple ★★ Intermédiaire ★★★ Complexe ? Difficile à évaluer	Niveau de maturité : ○ Peu mature ◐ Moyennement mature ● Mature	Efficacité : ★ Moyennement efficace ★★ Efficace ★★★ Très efficace ? Difficile à évaluer	Niveau d'investissement : € Faible €€ Modéré €€€ Elevé ? Difficile à évaluer
---	---	--	---

Ressources / aller plus loin

[1] Rhel, T. *et al.*, 2011. Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. Resources, Conservation and Recycling, 56, 1. 92-104.

[2] Poeschl, M. *et al.*, 2012. Environmental impacts of biogas deployment - Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. Journal of Cleaner Production, 24. 184-201.

[6] Amon, B. *et al.*, 2006. Greenhouse gas and ammonia emission abatement by slurry treatment. International Congress Series, 1293. 295-298.

[51] Poeschl, M. *et al.*, 2012. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. Journal of Cleaner Production, 24. 168-183.

[58] Liebetrau J *et al.*, 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. Water Science and Technology.

[75] Soltermann-Pasca, A. *et al.*, 2012. Methanverlust bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen (les pertes de méthane sur les installations de méthanisation agricoles). Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon AR. 25.

[113] Berger, S., 2012. Gestion et valorisation du digestat. 20p (présentation powerpoint).

Eléments de conclusion

Les émissions de CH₄ et NH₃ sont prédominantes lors du stockage et du traitement du digestat, et des méthodes de mesure peuvent permettre de les estimer. Mais la mesure des émissions réelles est complexe et donne des résultats variables selon la composition des digestats et les procédés de traitement mis en œuvre. Un manque de données a également été noté sur le différentiel des émissions entre un digestat méthanisé et les matières organiques brutes non méthanisées.

VALORISATION ET TRANSPORT DU DIGESTAT	GES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
	Polluants	NH ₃	NO _x	SO _x	COVNM	Particules	H ₂ S
	Odeurs	Composés odorants					

Contexte

Le digestat constitue un fertilisant organique puisque la digestion anaérobie permet de conserver la valeur amendante et fertilisante des substrats.

Bilan des émissions

TRANSPORT DU DIGESTAT

La digestion anaérobie des substrats participe à une diminution des volumes à épandre [20] (de 0 à 5 % pour la méthanisation à la ferme et jusqu'à 30 % pour les STEP [119]), limitant ainsi le besoin en transport et les émissions de GES liées à la combustion des énergies fossiles, ainsi que celles des polluants. La séparation de phase permet une gestion différente entre les deux sous-produits et permet donc de transporter plus loin la phase la plus concentrée.

Le type de véhicules (notamment son ancienneté), ainsi que la distance parcourue pour transporter des digestats sont des caractéristiques qui vont influencer sur les émissions atmosphériques. La notion de distances maximales, selon la composition du digestat, est importante à définir afin de limiter les émissions [2 ; 51]. En effet, à partir d'une certaine distance, les bénéfices environnementaux liés à la substitution des fertilisants minéraux par des digestats sont compensés par les émissions de polluants et GES dus au transport [16 ; 118].

Dans certains projets, la consommation de carburant peut diminuer par rapport à une situation antérieure : par exemple, la mutualisation de l'ensemble des plans d'épandage en un plan territorial unique évite des flux croisés de transport depuis le siège de l'exploitation agricole vers les parcelles les plus éloignées, et cela favorise une meilleure répartition sur tout le territoire. Le bilan du poste transport est donc faible, voire parfois meilleur que dans une situation initiale.

EPANDAGE DU DIGESTAT

- **Gaz à effet de serre**

Les publications sur les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) sont controversées et parfois contradictoires : elles ne s'accordent pas sur les niveaux de N₂O émis par le digestat agricole [111 ; 116], bien que certaines publications affirment que l'épandage du digestat permet de réduire ces émissions comparé à un épandage de matières organiques brutes [10 ; 58]. Un manque de références a été noté sur les émissions de méthane (CH₄) [7].

Les traitements du digestat (dont la séparation de phase) permettraient de réduire les émissions de GES lors de l'épandage [1 ; 10 ; 51 ; 58 ; 75]. De plus, le digestat peut se substituer partiellement aux engrais minéraux pour lesquels une consommation d'énergie fossile est nécessaire, et ainsi contribuer à la réduction des émissions de GES émis par l'agriculture [74 ; 111]. Cela est vrai si le calcul des volumes à épandre prend bien en compte, d'une part, la valeur fertilisante du digestat, et d'autre part, la mise en œuvre de techniques permettant de réduire les émissions d'ammoniac à l'épandage.

- **Polluants**

L'épandage est considéré comme l'étape la plus contributrice aux émissions d'ammoniac (NH₃) en méthanisation. La digestion anaérobie participe à augmenter le potentiel de volatilisation de l'ammoniac du digestat [72]. Cependant, les résultats des publications sont controversés quant à l'importance relative de ces émissions selon la composition des digestats ainsi que des conditions d'épandage (matériel, conditions climatiques, etc.) [6 ; 16 ; 46 ; 85]. Malgré tout, certaines publications affirment que la

méthanisation participe à réduire la volatilisation de l'ammoniac à l'épandage [111] (car le digestat est plus liquide que les matières organiques brutes, facilitant son infiltration dans les sols).

• **Odeurs**

La digestion anaérobie des matières organiques participerait à réduire les odeurs lors de l'épandage du digestat [111], tout comme les différents traitements qu'il peut subir (ex. une séparation de phase permettrait de réduire jusqu'à 50 % des émissions odorantes comparé à l'épandage d'un lisier non traité) [75 ; 87 ; 89]. Le matériel et les conditions d'épandage conditionnent aussi les nuisances olfactives [7 ; 15 ; 21 ; 35 ; 37 ; 47 ; 116]. Il est à noter que la mesure des odeurs et l'évaluation de leur réduction suite à l'épandage d'un digestat sont très difficiles à mettre en œuvre [116].

Pistes de recommandations techniques

	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement
GES et polluants	Utiliser une rampe à pendillards ou des enfouisseurs à disques lors de l'épandage	Réduire	N ₂ O, NH ₃	★	◐	★★★	€€
	Respecter des périodes climatiques d'épandage	Réduire	N ₂ O, NH ₃	★	●	★★★	€
	Couvrir les véhicules transportant le digestat solide	Réduire	NH ₃	★	●	★	€

Niveau de faisabilité technique :

- ★ Simple
- ★★ Intermédiaire
- ★★★ Complexe
- ? Difficile à évaluer

Niveau de maturité :

- Peu mature
- ◐ Moyennement mature
- Mature

Efficacité :

- ★ Moyennement efficace
- ★★ Efficace
- ★★★ Très efficace
- ? Difficile à évaluer

Niveau d'investissement :

- € Faible
- €€ Modéré
- €€€ Elevé
- ? Difficile à évaluer

D'autres pistes de recommandations potentielles peuvent concerner une meilleure connaissance de la qualité des digestats, avec notamment une homologation potentielle en tant que fertilisants ou la définition de références de calcul de fertilisation pour les digestats.

Ressources / aller plus loin

[10] Devauchelle, E., 2013. Intérêt environnemental et bilan gaz à effet de serre des unités de méthanisation agricoles - Le biogaz au cœur de nos fermes. Solagro. 21p.

[58] Liebetrau J *et al.*, 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. Water Science and Technology.

[72] Lijo, L. *et al.*, 2014. Life Cycle Assessment of electricity production in Italy from anaerobic co-digestion of pig slurry and energy crops. Renewable Energy, 68. 625-635.

[111] Béline, F. *et al.*, 2013. La méthanisation en milieu rural et ses perspectives de développement en France. Sciences, Eaux & Territoires. 6-13.

[116] Houot, S., 2014. ESCO Mafor - Expérience scientifique collective concernant la valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire - document de synthèse.

Eléments de conclusion

Les principales émissions atmosphériques concernent le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ammoniac (NH₃). Des problèmes de mesures réelles de ces émissions ont été mises en évidence dans plusieurs publications, et cela participe à la controverse quant aux différents résultats qui ont pu être obtenus. D'autant plus que les émissions (polluants, GES, odeurs) dépendent beaucoup des pratiques mises en œuvre par l'exploitant au moment de l'épandage et du traitement appliqué potentiellement au digestat.

Annexe 5 – Fiches synthétiques sur les pistes de recherche dans le domaine de la méthanisation

- Fiche recherche « Mesure des émissions fugitives et non maîtrisées de méthane (CH₄) »...80
- Fiche recherche « Impact de l'ammoniac (NH₃) et du protoxyde d'azote (N₂O) dans la valorisation de substrats non digérés et de digestats ».....82
- Fiche recherche « Facteurs d'émissions atmosphériques en méthanisation ».....84
- Fiche recherche « Caractérisation et évaluation des impacts indirects ».....86

Mesure des émissions fugitives et non maîtrisées de méthane (CH₄)	Emissions	Odeurs	Polluants	GES			
	Etapes concernées	Appro. Substrat	Stockage substrat	Prod. Biogaz	Valo. biogaz	Stockage digestat	Valo. digestat
	Installations	ISDND	STEP	OMR	Ferme	Centralisée	

Contexte

Les émissions de méthane représentent 10,4 % des émissions de GES françaises en 2012 [97]. D'ici 2030, la France devra réduire de 40 % ses émissions de GES, et le biogaz pourrait fournir de 3 à 3,5 % de la production d'énergie d'après l'ADEME. Le développement de la méthanisation repose notamment sur des enjeux et des bénéfices environnementaux et énergétiques associés à cette filière. Pour assurer un développement pérenne et garantir les bénéfices environnementaux attendus, les émissions de méthane doivent être connues et maîtrisées.

En particulier, l'état des lieux bibliographique indique que les émissions non maîtrisées de méthane (CH₄) varient d'une valeur proche de 0 % à 10 % du méthane produit au niveau d'une installation de méthanisation. L'INERIS finalise (début 2015) une étude pour le compte du MEDDE, intitulée « Etat des lieux des connaissances des émissions de CH₄ et de N₂O des installations de méthanisation : Emissions sur l'ensemble de l'installation et aux différentes étapes de production et de valorisation du biogaz et du digestat et techniques de mesurage et surveillance du CH₄ » ; cette étude doit permettre d'identifier les situations (choix des matériaux, conception des installations, conditions de fonctionnement) qui sont à l'origine des émissions non maîtrisées de méthane.

Pistes de travail

- **Objectifs**
L'acquisition de données de terrain, au niveau d'installations françaises, et portant sur les émissions fugitives et non contrôlées de méthane est un enjeu identifié comme prioritaire par de nombreux acteurs en France.
Ces données pourront permettre de proposer des valeurs de références et de quantifier les impacts des actions techniques de réduction identifiées, en vue de formaliser des bonnes pratiques.
La réalisation de mesures sur des installations, idéalement représentatives de la diversité des situations existantes, permettra de disposer d'un retour d'expérience sur les niveaux de fuite réels, en vue de cibler des actions prioritaires (portant par exemple sur la conception des installations ou l'optimisation de certaines étapes de maintenance par exemple).
- **Organismes mobilisés sur ces thématiques**
INERIS, IRSTEA, LSCE et les exploitations susceptibles d'être sélectionnées (via le réseau TRAME / AAMF pour des exploitations agricoles et METEOR pour des installations de traitement des déchets)
- **Résultats attendus**
Acquisition et publication de données de références françaises concernant les niveaux d'émissions de CH₄ au niveau de plusieurs installations de méthanisation. La sélection d'un panel d'exploitations représentatives de la diversité des installations existantes en France est un point de vigilance important en vue d'une éventuelle extrapolation des données permettant de définir des valeurs de référence au niveau national.
Identifier et quantifier les techniques de réduction et rédiger un guide de bonnes pratiques.

Lien avec des projets existants

TRACKYLEAKS : projet financé par l'ADEME et piloté par l'IRSTEA, dont l'objectif est le développement d'une méthode pour identifier et quantifier les émissions fugitives de biogaz avec application aux installations de méthanisation. Ce projet en cours de démarrage (2015) doit permettre le développement et la validation d'un

estimateur de flux de biogaz à partir de séquences d'images infrarouges basées sur des techniques de flot optique. L'incertitude de mesure du débit de fuite doit également faire l'objet d'une estimation.

Le **DBFZ** vient de publier un rapport « *KlimaCH4 : Klimaeffekte von Biomethan* » présentant des résultats de mesures d'émissions fugitives de CH₄ sur des installations allemandes, incluant une comparaison de plusieurs approches métrologiques.

FuME - Fugitive Methane Emissions¹⁶ : ce projet en cours de développement, financé par Climate-KIC, a pour objectif de réaliser des campagnes de surveillance des émissions de méthane sur différents sites (dont des STEPs avec la participation de VEOLIA Environnement), en vue de comparer et éventuellement d'adapter des méthodes de mesure, et ensuite de proposer des recommandations et guides de bonnes pratiques pour différents secteurs. Ce projet regroupe de nombreux acteurs dont ARIA Technologies, NPL, LSCE et CEREAs.

Résumé				
Axes de travail	Typologie	Emissions	Installations	Horizon temporel
<ul style="list-style-type: none"> Acquérir des données de terrain concernant les émissions fugitives et non contrôlées de méthane Quantifier les impacts des actions techniques de réduction identifiées 	Mesure	CH ₄	A la ferme Centralisée STEP OMR	Court terme

Ressources / pour aller plus loin
<p>INERIS : « Emissions non maîtrisées de méthane : Etat des lieux bibliographiques sur les émissions non maîtrisées de méthane lors des étapes de digestion et d'épuration » (2015).</p> <p>Autres travaux de l'INERIS recensés dans la bibliographie (sur les ISDNDs notamment) : [94 ; 95 ; 96 ; 104].</p> <p>DBFZ : « KlimaCH4 : Klimaeffekte von Biomethan » (2014).</p> <p>TRACKYLEAKS : Contact IRSTEA Thierry Bioteau.</p>

¹⁶ <http://www.climate-kic.org/press-releases/european-consortium-to-combat-methane-emissions/>

Impact NH₃ et N₂O dans la valorisation de substrats non digérés et de digestats	Emissions	Odeurs	Polluants	GES			
	Etapes concernées	Appro. Substrat	Stockage substrat	Prod. Biogaz	Valo. biogaz	Stockage digestat	Valo. digestat
	Installations	ISDND	STEP	OMR	Ferme	Centralisée	

Contexte

Les émissions de protoxyde d'azote, qui représentent 11,6 % des émissions de GES françaises en 2012 [97], et les émissions d'ammoniac sont principalement liées aux activités agricoles ; en particulier, le stockage et l'épandage des effluents d'élevage représentent 73% des émissions nationales de NH₃ en 2012 [98].

Dans un contexte de développement rapide des installations de méthanisation, soutenu dans le cadre de l'appel à projets pour le développement de 1500 installations de méthanisation dans les territoires ruraux d'ici 2020¹⁷, se pose la question de l'évolution des émissions de N₂O et NH₃ des digestats de méthanisation et des modes de traitement et de valorisation associés.

Pistes de travail

- **Objectifs**
Consolider les travaux réalisés en France, permettant l'acquisition de données de terrain, au niveau d'installations françaises, et portant sur les émissions de NH₃ et N₂O de digestats bruts et transformés, du stockage à l'épandage. Par ailleurs, la comparaison de ces résultats avec des substrats bruts (effluents non méthanisés) semble aujourd'hui nécessaire.
Ces données pourront permettre de proposer des valeurs de références et de quantifier les impacts des actions techniques de réduction identifiées, en vue de formaliser des bonnes pratiques.
- **Organismes mobilisés sur ces thématiques**
INRA, IRSTEA, ainsi que des exploitations susceptibles d'être sélectionnées pour accueillir les programmes de surveillance. Dans le cadre de DIVA, plusieurs typologies d'installation ont été sélectionnées, avec l'association de Suez Environnement et Geotexia par exemple.
- **Résultats attendus**
Acquisition et publication de données de références françaises concernant les niveaux d'émissions de NH₃ et N₂O des digestats issus de plusieurs installations de méthanisation, et prenant en compte la diversité des filières substrats / procédés. La sélection d'un panel d'exploitations représentatives de la diversité des installations existantes en France est un point de vigilance important en vue d'une éventuelle extrapolation des données permettant de définir des valeurs de référence au niveau national.

¹⁷ <http://enqueteur.dgpc.developpement-durable.gouv.fr/index.php?sid=59839&lang=fr>
 ETAT DES CONNAISSANCES DES IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR ET DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES INSTALLATIONS DE VALORISATION OU DE PRODUCTION DE METHANE

Lien avec des projets existants

DIVA : projet de recherche industrielle financé dans le cadre du programme ANR BioEnergies 2010 (montant total : 3,8 M€) dont l'objectif est de caractériser les digestats et leurs filières de valorisation agronomique.



Mesure des émissions de NH₃

Ce projet, terminé début 2015 incluait notamment une évaluation comparative de plusieurs procédés de post-traitement des digestats, et une quantification des émissions gazeuses (N₂O, CO₂, CH₄ et NH₃) à l'épandage, avec des mesures réalisées sur 4 sites en France.

L'ensemble des travaux réalisés conclut notamment aux conditions de l'intérêt de mettre en œuvre un post-traitement du digestat.

Par ailleurs, des évaluations environnementales (via la méthode ACV) des procédés de post-traitement et du retour au sol des digestats bruts et transformés ont été réalisées sur la base des impacts au sol et des émissions gazeuses (CO₂, N₂O, CH₄ et NH₃).

REMI PROPHYTE : Ce projet propose de compléter les travaux en cours (ex : ANR DIVA), en termes d'évaluation environnementale (type ACV) en produisant de nouvelles données mesurées, pour consolider les bases de données existantes, et en intégrant les différentes étapes de post-traitements – séparation de phases, déshydratation, agglomération - pouvant être mises en place pour améliorer la présentation physique des produits finaux, jusqu'à la granulation. Les travaux envisagés intègrent l'acquisition de données pour les différentes étapes de procédés, de stockage et d'épandage sur les émissions de GES et NH₃, sur des unités opérationnelles en fonctionnement de routine.

VALODIM : projet financé par le Programme Investissements d'Avenir – Bpifrance (montant total : 12,5 M€) qui vise à produire des fertilisants respectueux de l'environnement à partir de déchets et effluents organiques suite à une étape de méthanisation. Ce projet initié en 2014 doit notamment permettre d'étudier les cinétiques de dégradation anaérobie des substrats, de caractériser les digestats et d'étudier leurs comportements lors de différents post-traitements. Ce projet, piloté par Arterris Innovation, regroupe de nombreux acteurs dont plusieurs coopératives agricoles, IRSTEA, INSA Toulouse et UTC Compiègne.

Résumé

Axes de travail	Typologie	Emissions	Installations	Horizon temporel
Acquérir des données de terrain concernant les émissions de NH ₃ et N ₂ O pour des substrats, digestats et les différentes filières de traitement / valorisation associées	Mesure	NH ₃ , N ₂ O	A la ferme Centralisée STEP OMR	Court terme

Ressources / pour aller plus loin

DIVA : Contact INRA Sabine Houot. Des publications seront disponibles courant 2015. Par ailleurs, des pistes de recherche sont également à l'étude pour approfondir DIVA.

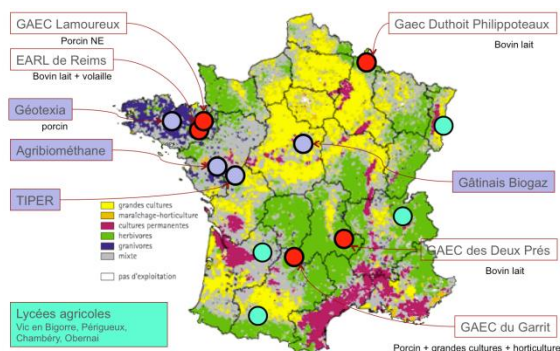
Facteurs d'émissions atmosphériques en méthanisation	Emissions	Odeurs	Polluants	GES			
	Etapes concernées	Appro. Substrat	Stockage substrat	Prod. Biogaz	Valo. biogaz	Stockage digestat	Valo. digestat
	Installations	ISDND	STEP	OMR	Ferme	Centralisée	

Contexte
<p>L'ADEME soutient la recherche sur la quantification et la réduction des émissions de polluants atmosphériques et de GES ; la maîtrise de ces émissions a été engagée depuis plusieurs années à travers l'amélioration des connaissances et l'identification des sources de réduction potentielles dans différents secteurs (transport, chauffage bois, urbanisme, etc...).</p> <p>En particulier, des outils d'évaluation des émissions ont été développés au cours des dernières années afin d'appuyer les différents acteurs dans leur démarche d'évaluation environnementale ; en ce qui concerne les installations comprenant des unités de méthanisation, plusieurs outils et méthodes sont aujourd'hui disponibles : DIGES (Version 2.0 finalisée en 2009, IRSTEA), AACT (AgriClimateChange Tool, SOLAGRO 2013), DIA'TERRE (2010, ADEME) ou encore le guide méthodologique de l'ASTEE pour l'évaluation des émissions de GES d'une STEP (2013).</p> <p>Ces outils concernent principalement les émissions de GES, et reposent sur des facteurs d'émissions qu'il sera nécessaire d'actualiser au regard des connaissances acquises et à venir.</p>

Pistes de travail
<ul style="list-style-type: none"> • Objectifs <p>Sur la base des résultats de programmes de R&D (et publications scientifiques associées) permettant de mieux connaître la nature et les impacts (quantifiés) des émissions au niveau des installations de méthanisation, il s'agira de réaliser une synthèse des résultats obtenus. La valorisation de ces résultats dans un ouvrage synthétique permettra de formaliser un état des connaissances quantitatif, et par la suite de mettre à jour les outils permettant la réalisation d'évaluations environnementales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organismes mobilisés sur ces thématiques <p>IRSTEA, INRA, INERIS. Des associations, organismes techniques, et bureaux d'études pourront également être associés, comme par exemple AILE, Biomasse Normandie, TRAME ou des chambres d'agriculture.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Résultats attendus <p>Acquisition et publication de facteurs d'émissions adaptés au contexte français, et présentant la diversité des situations (substrats, procédés de traitement et modes de valorisation des digestats).</p> <p>Réalisation d'une analyse critique et proposition de recommandations pour la mise à jour d'outils d'évaluation environnementale des exploitations incluant une unité de méthanisation.</p>

Lien avec des projets existants

METHALAE : projet financé dans le cadre de CASDAR (0,7 M€), qui a pour objectif de montrer dans quelles conditions la méthanisation peut être un catalyseur du passage vers l'agroécologie. La méthanisation rurale présente un potentiel de développement important, qui ne pourra cependant se concrétiser que s'il est démontré que ses impacts environnementaux et sociétaux sont positifs. Il s'intéresse aux différentes échelles, de l'exploitation agricole au territoire, et à différents plans : agronomique, économique, environnemental, sociétaux.



Plusieurs exploitations agricoles équipées de méthaniseurs (individuel ou collectif) ont été sélectionnées en vue d'étudier les impacts agronomiques, socio-économiques et environnementaux suite à l'introduction d'une unité de méthanisation sur l'exploitation.

DIGES : outil d'aide à la décision développé par IRSTEA, destiné initialement aux bureaux d'étude et porteurs de projets, mais également utilisés par les agents des délégations régionales de l'ADEME afin de les aider à mieux appréhender le bilan GES de projets de digestion et de co-digestion anaérobie. Cet outil permet en particulier de calculer les émissions de N₂O et CH₄ pour des installations traitant d'un à sept déchets en mélange ; il est accompagné d'un guide méthodologique et d'un guide de l'utilisateur qui indiquent comment utiliser et mettre à jour DIGES. La dernière version de l'outil, mise à disposition sur le site de l'ADEME, date de 2009.

Résumé

Axes de travail	Typologie	Emissions	Installations	Horizon temporel
<ul style="list-style-type: none"> Acquérir des facteurs d'émissions Recommandations pour consolider les outils d'évaluation 	Facteurs d'émissions	Polluants GES	A la ferme Centralisée STEP OMR	Moyen terme

Ressources / pour aller plus loin

- [3] : Guide méthodologique Version 2 – Application pour le calcul du bilan des émissions de gaz à effet de serre des installations de digestion anaérobie (IRSTEA, 2009).
 - [35] : Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'émission de particules vers l'atmosphère, et l'identification de facteurs d'émissions (INRA, 2011).
 - [38] : Programme de recherche sur les émissions atmosphériques du compostage, présentant les connaissances acquises et une synthèse bibliographique (ADEME, 2012).
- METHALAE (projet qui démarre) : Contact SOLAGRO Christian Couturier.

Caractérisation et évaluation des impacts indirects	Emissions	Odeurs	Polluants	GES			
	Etapes concernées	Appro. Substrat	Stockage substrat	Prod. Biogaz	Valo. biogaz	Stockage digestat	Valo. digestat
	Installations	ISDND	STEP	OMR	Ferme	Centralisée	

Contexte

D'après ATERRES 2050, le biogaz d'origine agricole représentera près de 30 % des ressources brutes en France à l'horizon 2050. Ce scénario, qui introduit un objectif de standardisation de la méthanisation dans les exploitations agricoles, est actuellement en cours de régionalisation et prend en compte certains impacts indirects associés au développement de ces installations à la ferme.

L'analyse bibliographique réalisée dans le cadre de cette étude, et des entretiens avec des experts ont confirmé que l'étude des impacts indirects de la méthanisation agricole fait l'objet de très peu de documents/publications ; ces problématiques se posent actuellement au niveau des instituts techniques et de recherche. Cela a pour conséquence la quasi-inexistence de données quantitatives relatives à ces impacts indirects, en particulier sur les émissions atmosphériques.

Pistes de travail

- Objectifs**
En s'appuyant sur les résultats des projets Methalae (retours d'expériences des modifications constatées à l'échelle des exploitations françaises) et Dertermeen, réaliser les scénarios agricoles prospectifs, à l'échelle d'un territoire, en vue de l'évaluation des impacts indirects, en termes d'émissions atmosphériques entre autres, liés à l'introduction d'unités de méthanisation.
- Organismes mobilisés sur ces thématiques**
SOLAGRO, IRSTEA
- Résultats attendus**

Cartographie des modifications susceptibles d'être entraînées par la mise en place d'une unité de méthanisation agricole ; sur ce point, il sera possible de capitaliser d'une part sur les réflexions en cours dans le cadre des projets de recherche en cours, mais également sur les premières réflexions proposées dans le cadre de cette étude.

Acquisition et publication de facteurs d'émissions adaptés au contexte français.

Lien avec des projets existants

METHALAE : projet financé dans le cadre de CASDAR (0,7 M€), qui a pour objectif de montrer dans quelles conditions la méthanisation peut être un catalyseur du passage vers l'agroécologie. Ce projet vise notamment à étudier les modifications du système de production à l'échelle de l'exploitation suite à l'introduction d'une unité de méthanisation : il peut s'agir d'une évolution dans la conduite de l'élevage ou des cultures, selon la composition des substrats, ou dans les pratiques phytosanitaires en lien avec les propriétés du digestat obtenu en sortie de digesteur. Plusieurs exploitations agricoles sont en cours de sélection et permettront de cartographier ces différentes modifications.

DETERMEEEN : projet financé dans le cadre d'un appel à projets de l'ADEME sur la connaissance des impacts de la gestion des déchets, qui a pour objectif d'étudier la prise en compte des contraintes spatiales et environnementales pour une approche systémique de l'insertion d'unités de méthanisation collectives au sein d'un territoire. Ce projet, piloté par IRSTEA, regroupe plusieurs acteurs dont le BRGM, Akajoule ainsi que Rennes Métropole.

AFTERRES 2050 : il s'agit d'un scénario développé par SOLAGRO qui présente une analyse reposant sur une triple transition, nutritionnelle, agricole et énergétique à l'horizon 2050. En tant qu'exercice de prospective, il repose sur un certain nombre d'hypothèses, comme par exemple la standardisation de la méthanisation dans les exploitations agricoles, qu'il s'agisse de systèmes d'élevage comme de cultures. Il est actuellement en cours de régionalisation sur 4 régions volontaires (Centre, Île-de-France, Picardie et Rhône-Alpes).

Résumé

Axes de travail	Typologie	Emissions	Installations	Horizon temporel
Consolider la caractérisation et l'évaluation des impacts indirects initiés dans le cadre de cette étude ADEME	ACV	GES	A la ferme Centralisée	Moyen terme

Ressources / pour aller plus loin

METHALAE : Contact SOLAGRO Christian Couturier

DETERMEEEN : Contact IRSTEA

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr