

Les émissions de méthane liées à la filière méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes

Campagne de mesures et enjeux environnementaux

2021

Diffusion : Décembre 2021

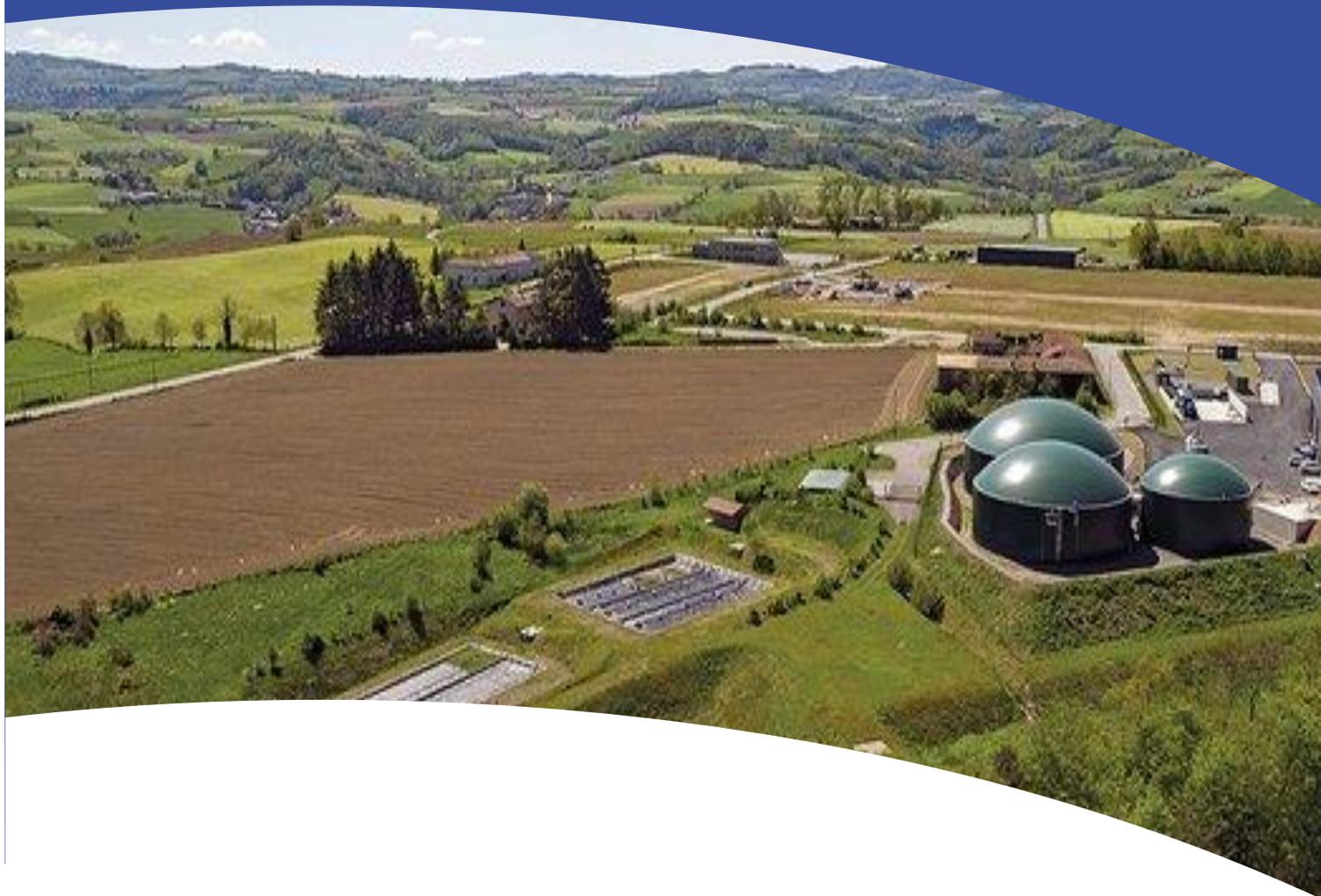
Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr



Les émissions de méthane liées à la filière méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes

Campagne de mesures et enjeux environnementaux

2021



Diffusion : Décembre 2021

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr

Les émissions de méthane liées à la filière méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes

2021



Diffusion : Décembre 2021

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr

Conditions de diffusion

Dans le cadre de la réforme des régions introduite par la Nouvelle Organisation Territoriale de la République (loi NOTRe du 16 juillet 2015), les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air de l'Auvergne (ATMO Auvergne) et de Rhône-Alpes (Air Rhône-Alpes) ont fusionné le 1er juillet 2016 pour former Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.atmo-auvergnerhonealpes.fr

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Atmo Auvergne-Rhône-Alpes **(2021) Les émissions de méthane liées à la filière méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes : campagne de mesures et enjeux environnementaux.**

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

- depuis le [formulaire de contact](#)
- par mail : contact@atmo-aura.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Financement

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière des membres suivants :

Région Auvergne-Rhône-Alpes

Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financées par l'ensemble des membres d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes remercie la Mairie de Saint-Denis-sur-Coise ainsi que la Communauté de Commune des Monts du Lyonnais pour avoir permis d'installer les dispositifs de mesures des polluants sur leur commune. Atmo Auvergne-Rhône-Alpes remercie également l'exploitant de l'unité de méthanisation « METHAMOLY » pour avoir accepté le déploiement d'un dispositif de mesures de polluants atmosphériques à proximité de son unité.



Résumé

La présente étude complète les précédentes études menées à l'échelle de la Région par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur l'**estimation des émissions de méthane** générées par la filière méthanisation, en particulier lors de la phase de production de biogaz. Ces émissions n'étaient à ce jour pas intégrées dans l'inventaire régional spatialisé des polluants atmosphériques. Pour cela, un recensement des unités de méthanisation à l'échelle régionale a permis d'estimer ces émissions de méthane tenant compte de leur typologie (Agricole, Territoriale non agricole, Industrielle, STEU). Une autre typologie, ISDND, a également été prise en compte bien que ne répondant pas strictement à la définition d'unité de méthanisation. Chaque typologie présentant des concentrations en méthane différentes dans le biogaz, des scénarios ont été investigués avec des valeurs de concentration minimum, moyennes et maximum de méthane dans le biogaz, en comparaison avec un scénario OMINEA. Ainsi, globalement, à l'échelle du territoire, indépendamment de la typologie, la contribution relative des émissions de méthane par rapport aux émissions de méthane émises toutes activités confondues varie entre 0,7% et 1,2%. Et en moyenne, sur l'année 2018, 3 161 tonnes de méthane ont été émises à l'atmosphère par ces installations à l'échelle régionale, ce qui représente environ 1% des émissions de méthane émises cette même année à l'échelle régionale. Ce résultat permet d'objectiver les enjeux qualité de l'air de la filière méthanisation. Ce volet d'étude permet aujourd'hui d'intégrer ces émissions de méthane dans l'**inventaire régionale spatialisé des polluants atmosphériques**. En complément, une **campagne de mesures** a été réalisée aux abords d'une unité de méthanisation de typologie agricole territoriale : d'abord dans le centre du village (site de fond), puis à proximité de l'unité (site industriel). Les mesures ont concerné le méthane, l'ammoniac, l'hydrogène sulfuré et les particules fines PM₁₀. Les concentrations de méthane mesurées à proximité de ce site industriel est de 1523 µg.m⁻³, soit 125 µg.m⁻³ par rapport au site de fond. Cette valeur est à rapprocher de la valeur moyenne, 1246 µg.m⁻³, mesurée dans l'air ambiant en 2018 à l'échelle du globe terrestre par les réseaux internationaux. Cette étude propose également d'objectiver le **bilan environnemental** d'une installation de méthanisation compte tenu des craintes et doutes exprimés par les riverains. Pour cela, une analyse des données de la littérature a permis d'apporter des éléments de contexte pour comparer un scénario de base « avec méthanisation » (correspond à l'implantation d'une unité de méthanisation) à un scénario de référence « business as usual » qui considère le traitement des déchets selon les étapes de stockage puis d'épandage. D'autres scénarios de références ont également été utilisés ; ils correspondent à des situations où les déchets transitent vers d'autres voies de valorisations, qu'elles soient conventionnelles ou renouvelables. Ce volet d'étude permet de montrer la difficulté à répondre strictement aux interrogations environnementales mais apportent toutefois des éléments de réponses en faveur du caractère vertueux d'installations d'unités de méthanisation, dans le périmètre d'étude décrit dans cette étude.



Sommaire

1. Introduction	10
2. Contexte, enjeux et objectifs	10
2.1. Contexte et enjeux	11
2.2. Objectifs	11
3. Méthanisation : état des connaissances sur les émissions de méthane en région Auvergne-Rhône-Alpes	12
3.1. Chiffres clés des énergies renouvelables	12
3.2. La méthanisation en bref	15
3.2.1. Présentation	15
3.2.2. Typologies des unités de méthanisation	15
3.2.3. Focus sur les installations de stockage ISDND	16
3.2.4. Compositions du biogaz	18
3.3. Parc régional des unités de méthanisation	19
3.4. Les travaux menés par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur les émissions régionales de méthane	21
3.4.1. 2015 : Amélioration des estimations de polluants vers l'atmosphère du secteur agricole	21
3.4.2. 2016 : Développement de la méthanisation et la qualité de l'air	21
3.4.3. 2017-2018 : Méthodologie et mesures de méthane en air ambiant	21
3.4.4. 2020 : Éléments d'estimation de l'impact de la méthanisation sur la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes	22
4. Consolidation du calcul des émissions de méthane en région Auvergne-Rhône-Alpes	22
4.1. Méthodologie	23
4.1.1. Caractéristiques requises pour les inventaires d'émissions	23
4.1.2. Principes méthodologiques	24
4.1.3. Données disponibles	24
4.1.4. Reconstitution des années non renseignées	27
4.1.5. Paramètres de calculs	28
4.2. Estimation des émissions de méthane	28
4.2.1. Activité de production de biogaz	28
4.2.2. Activité de production de biogaz et scénarios	32
4.2.3. Taux de fuite en méthane liée aux installations de production de biogaz	35
5. Campagnes de mesures du méthane	38
5.1. Objectifs	38
5.2. Présentation des sites de mesures	39
5.3. Résultats obtenus	40
5.3.1. Conditions météorologiques	40
5.3.2. Les particules fines (PM ₁₀)	41
5.3.3. Méthane	42
5.3.4. Ammoniac	45
5.3.5. H ₂ S	47
5.4. Conclusion	47

6. Les enjeux environnementaux liés à la filière méthanisation	47
6.1. Périmètre	47
6.2. Enjeux environnementaux	48
6.3. Dynamiques des émissions atmosphériques	49
6.3.1. Dioxyde de carbone (CO ₂).....	50
6.3.2. Méthane (CH ₄)	50
6.3.3. Protoxyde d'azote (N ₂ O).....	51
6.3.4. Hydrogène sulfuré (H ₂ S).....	51
6.3.5. Les digestats de méthanisation.....	51
6.4. Analyse des gains environnementaux associés à la filière méthanisation	52
6.4.1. Impacts induits et impacts évités	52
6.4.2. Analyse des gains environnementaux associés à la filière méthanisation.....	54
7. Vers une base régionale des sources de pollution intégrant toutes les émissions de méthane	59
8. Conclusions et perspectives	59
Bibliographie	62

Illustrations

Figure 1 : Production primaire d'énergies renouvelables dans l'Union européenne en 2018, par filière (en TWh/an)	13
Figure 2 : Contribution du biogaz à la production primaire d'énergies renouvelables totale dans l'Union Européenne en 2018 : a) en TWh, b) en %	13
Figure 3 : Répartition de la production primaire d'énergies renouvelables par filière en 2019 en France (en %)	14
Figure 4 : Evolution de la production brute d'énergie à partir de biogaz en France (en TWh)	14
Figure 5 : Processus de méthanisation : des déchets aux différentes voies de valorisations (Source : Auvergne-Rhône-Alpes Energie Environnement)	15
Figure 6 : Bilan des tonnages entrant dans les installations de traitement des ordures ménagères en France 2016 (source Club Biogaz et ADEME)	18
Figure 7 : Evolution du nombre total d'installations de production de biogaz en région Auvergne-Rhône-Alpes en fonction des typologies	20
Figure 8 : Installations de méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2020 (source : Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement)	20
Figure 9 : Méthodologie appliquée pour estimer les émissions de méthane liées aux activités de production de biogaz	24
Figure 10 : Proportion des installations recensées en région Auvergne-Rhône-Alpes en 2019 en fonction de leur typologie	25
Figure 11 : Répartition, par typologie, des installations de production de biogaz en région Auvergne-Rhône-Alpes en 2019 pour lesquelles des émissions de méthane ont pu être estimées. Le chiffre	

indiqué en-dessous du nom d'un département indique le nombre total d'installations dans ce département pour lesquels des émissions de méthane ont pu être estimées en 2019.....	25
Figure 12 : Emissions de méthane liées aux installations de production de biogaz (unité de méthanisation et ISDND) dans chaque département en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2019.	27
Figure 13 : Illustration de la méthode de reconstitution des données	28
Figure 14 : Evolution des émissions de méthane depuis 2016 sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (scénario OMINEA) : a) comparaison unités de méthanisation et ISDND, b) comparaisons des typologies au sein même de la famille unité de méthanisation.....	30
Figure 15 : Evolution, dans chaque département, des émissions de méthane (en tonne) entre 2016 et 2019 pour les installations de production de biogaz : a) ISDND inclus, b) ISDND exclus.	32
Figure 16 : Evolution, en fonction des scénarios, des émissions totales de méthane générées par les installations de production de biogaz en fonctionnement en région Auvergne-Rhône-Alpes : toutes les installations de production de biogaz, b) unité de méthanisation (i.e. ISDND exclus)	33
Figure 17 : Ecart relatif des émissions de méthane par rapport à la valeur de référence OMINEA pour chaque typologie d'installation (en %), en 2019	34
Figure 18 : Historique des émissions de méthane des installations de production de biogaz par scénario et par typologie d'installation de production de biogaz (le scénario OMINEA correspond au calcul national harmonisé).....	35
Figure 19 : Contribution, aux émissions de méthane, des installations de production de biogaz pour chacun des scénarios envisagés, en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2018	36
Figure 20 : Répartition des émissions de méthane en 2018 tous secteurs confondus (Inventaire v2020 complété de l'activité production de biogaz)	37
Figure 21 : Débit spécifique de fuite de méthane calculé pour l'année 2018, en fonction des scénarios envisagés : a) en gCH ₄ /m ³ biogaz produit, b) en gCH ₄ /m ³ biogaz produit.....	37
Figure 22 : Installation d'un dispositif de mesures des polluants (CH ₄ , NH ₃ , H ₂ S, PM ₁₀) et paramètres météorologiques dans le centre du village de la commune de Saint-Denis-sur-Coise (42)	39
Figure 23 : Unité de méthanisation agricole Méthamoly (Saint-Denis-sur-Coise)	40
Figure 24 : Données météorologiques.....	40
Figure 25 : Rose des vents	41
Figure 26 : Evolution temporelle des particules PM ₁₀ en données journalières	41
Figure 27 : Mesures du méthane sur les deux sites de mesures (en données horaires).....	43
Figure 28 : Rose des polluants Site proche du méthaniseur	44
Figure 29 : profils horaires et journaliers	45
Figure 30 : mesure d'ammoniac durant les deux campagnes de mesures	46
Figure 31 : Dynamiques des émissions atmosphériques d'unités de méthanisation (Source ADEME [19])	50
Figure 32 : Impacts générés par la méthanisation, par poste d'émissions (source : [14])	54
Figure 33 : Contribution des principaux paramètres environnementaux (CO ₂ biogénique, N ₂ O, CH ₄ , NH ₃ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , autres) (source issue de [14])	55
Figure 34 : % de réduction des impacts environnementaux des élevages impliqués dans la méthanisation (moyenne des différents systèmes de méthanisation ; source [23])	59

1. Introduction

La Région Auvergne-Rhône-Alpes est pleinement engagée en faveur d'un développement vertueux de la filière méthanisation, contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs de plusieurs politiques environnementales, notamment la loi de transition énergétique pour la croissance verte n° 2015-992 du 17 août 2015, la loi de programmation pluriannuelle de l'énergie et le Schéma Régional Biomasse. La filière méthanisation contribue à réduire les dépenses énergétiques et à atteindre les objectifs liés à la consommation d'énergie et au climat. Elle permet en effet de produire un biogaz en valorisant certains déchets organiques et agricoles et en permettant la production d'énergie sous forme d'électricité, de chaleur, de biométhane carburant, de biométhane pour l'injection dans le réseau de gaz naturel. En lien avec la stratégie nationale, le schéma régional biomasse porté par la région Auvergne-Rhône-Alpes ambitionne de mobiliser la biomasse pour la production d'énergie à l'horizon 2035 : 600 unités de méthanisation de plus par rapport à l'année 2018, soit 5 000 GWh/an supplémentaires produits dont 3 700 GWh/an injectés dans les réseaux de gaz, soit 11% de la consommation régionale de gaz de l'année 2018. Cette politique régionale œuvre ainsi pour propulser le biométhane au 3^{ème} rang des énergies renouvelables à l'horizon 2035. La filière méthanisation en plein essor suscite cependant de nombreuses interrogations au regard notamment des émissions résiduelles dans l'air de méthane liées au processus de production de cette énergie renouvelable. La littérature et les études menées par différentes institutions telles que l'ADEME montre un faible niveau de connaissance sur la quantification des émissions de polluants atmosphériques, notamment le méthane, liées aux installations de méthanisation. Du point de vue national, les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) abordent à ce jour les problématiques « air » liées à la méthanisation principalement sous l'angle de l'acceptabilité des riverains vis-à-vis des odeurs. Quelques AASQA ont également réalisé des mesures de méthane dans l'environnement de méthaniseurs, à l'instar d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes lors des campagnes de mesures en 2018.

En 2019, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a ainsi réalisé une première étude, en partenariat avec le Conseil Régional Auvergne-Rhône-Alpes, dans le but d'apporter un premier éclairage sur les enjeux de qualité de l'air associés à la filière méthanisation. Cette première analyse situe les enjeux de la filière méthanisation dans un contexte plus global lié aux émissions de gaz à effet de serre, de valorisation des déchets et de valorisation énergétique. En tant qu'Association agréée de surveillance de la qualité de l'air, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes suit les recommandations et les dernières avancées nationales en ce qui concerne le calcul des émissions polluantes de tous les secteurs d'activité. Ainsi, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes produit et met régulièrement à jour un cadastre des émissions de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre. Ces données du cadastre d'émissions polluantes, disponibles en open data, alimentent l'observatoire de la qualité de l'air et servent de données d'entrée aux cartographies modélisées de la qualité de l'air. Ces données servent également à alimenter l'ORCAE (Observatoire Régional Climat Air Energie). Ce cadastre permet de répertorier et de quantifier les différentes sources de polluants par secteur d'activité (industrie, agriculture, trafic, résidentiel, Etc.) à différentes échelles et sur l'ensemble de la région. Cependant, les calculs d'émissions et les méthodes de référence actuelles au niveau national ne prennent pas suffisamment en compte les émissions polluantes liées à l'ensemble du processus de méthanisation, ni les gains engendrés notamment par exemple en réduisant le stockage, le compostage, l'épandage ou en se substituant aux énergies fossiles. Il apparaissait ainsi important, au regard des enjeux de développement régionaux, de s'intéresser à ce sujet en termes d'acquisitions de nouvelles connaissances.

2. Contexte, enjeux et objectifs

Afin de mieux cerner les enjeux de la filière méthanisation, il est utile de la situer au regard des autres énergies, dans le périmètre européen, national et régional.

2.1. Contexte et enjeux

La méthanisation est l'une des quatre filières prometteuses identifiées par la Région Auvergne-Rhône-Alpes dans le développement des énergies renouvelables. C'est un processus de dégradation de la matière organique issue des déchets agricoles, ménagers, industriels ou des boues urbaines qui aboutit à la production d'un gaz, composé majoritairement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂), appelé **biogaz**, et d'un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée, appelé **digestat**. Le biogaz ainsi produit est une énergie renouvelable qui peut ensuite être valorisé énergétiquement de diverses manières : électricité, chaleur, carburant véhicule (Bio GNV), et en injection réseau. Pour ces deux derniers cas, le biogaz doit être considérablement épuré; le gaz ainsi épuré est appelé **biométhane**. Le digestat est quant à lui destiné généralement à un retour au sol. La méthanisation est ainsi considérée comme une filière prometteuse d'un point de vue environnemental en permettant la gestion des déchets organiques, la production d'énergie renouvelable, la substitution d'engrais chimiques par l'épandage du digestat, la limitation des émissions de gaz à effet de serre notamment du monde agricole en limitant les émissions de méthane.

La méthanisation est l'une des pierres angulaires du Schéma Régional Biomasse de la Région Auvergne-Rhône-Alpes qui s'engage depuis 2015 en faveur de la production de biogaz et a renouvelé cette ambition dans la charte « Ambition biogaz 2023 ». Cette charte comporte des objectifs à l'horizon 2023 avec notamment le fonctionnement de 180 unités de méthanisation à fin 2023 (600 unités en 2035), soit 1075 GWh injectés dans le réseau de gaz et 480 GWh valorisés par cogénération. La région est très dynamique en faveur d'implantation d'unités de méthanisation avec près d'un tiers des entreprises françaises de la filière biogaz implantées sur son territoire. En lien avec le schéma régional biomasse, la région favorise les installations de valorisation de biogaz en biométhane dédié à l'injection dans le réseau de gaz naturel, représentant aujourd'hui déjà 10% de ces installations au niveau national. La région planifie ainsi que le biométhane devienne la 3^{ème} énergie renouvelable en Auvergne-Rhône-Alpes à l'horizon 2035.

La filière méthanisation, en plein essor, suscite cependant de nombreuses interrogations au regard notamment des émissions résiduelles dans l'air de méthane (CH₄), d'ammoniac (NH₃) et de protoxyde d'azote (N₂O) liées au processus de production de cette énergie renouvelable. En effet, le méthane est un puissant gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement climatique. C'est aussi un forçeur climatique à courte durée (10 ans) et un des polluants précurseurs de l'ozone, polluant estival en constante augmentation en région Auvergne-Rhône-Alpes. La concentration moyenne mondiale de méthane dans l'atmosphère est aujourd'hui de 1860 ppb, soit une augmentation de 157% par rapport à l'année de référence 1750. Cette augmentation quasi-exponentielle nous amène à nous questionner sur les enjeux pour la qualité de l'air des émissions de méthane liées aux activités de méthanisation. Ces questionnements tiennent notamment à la difficulté d'identifier et quantifier les émissions atmosphériques générées par la filière méthanisation ainsi qu'au faible niveau de connaissance dans la littérature. Il apparaît ainsi important, au regard des enjeux de développements régionaux, de s'intéresser à ce sujet avec ce besoin d'objectiver sur les enjeux climatiques et les bioénergies.

2.2. Objectifs

La région Auvergne-Rhône-Alpes affiche une politique ambitieuse dans le développement des énergies renouvelables, notamment celui de la méthanisation. La méthanisation est un sujet pris en main par les acteurs de la qualité de l'air au niveau national sous l'angle des odeurs mais Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est le seul acteur à avoir travaillé sur le sujet à l'échelle régionale en proposant d'apporter des éléments d'anticipation permettant d'évaluer l'impact potentiel du développement de la filière méthanisation sur la qualité de l'air et le changement climatique, en lien avec la gouvernance en cours de mise en place au niveau régional sur la méthanisation. Cette démarche, plus globale, se propose d'estimer la part des émissions liées à la méthanisation dans l'ensemble des émissions atmosphériques, tous secteurs confondus au niveau de la région. Nous complétons par ailleurs ce travail par une approche du sujet par la mesure dans l'air ambiant, notamment de méthane et d'ammoniac, gaz susceptibles d'être émis lors du processus de méthanisation.

Notre objectif est d'objectiver les enjeux de **qualité de l'air** liés à la méthanisation en estimant les **émissions de méthane (CH₄)** liées aux installations de méthanisation et d'analyser les **impacts environnementaux** potentiels liés au développement de cette filière du point de vue de la qualité de l'air. Il s'agira pour cela de

regarder ce que peuvent représenter les émissions de méthane à l'échelle régionale par rapport aux autres activités émettrices de méthane. L'étude des émissions de méthane aux sous-échelles d'une unité de méthanisation (stockage, unité de valorisation, épandage du digestat, Etc.) ne constitue pas un sujet d'étude dans ce rapport. Toutefois, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes souhaite apporter des éléments d'informations sur d'autres polluants à enjeux de la filière méthanisation ; il s'agit de l'**ammoniac (NH₃)** et de l'**hydrogène sulfuré (H₂S)**.

L'intérêt ici est donc d'objectiver le sujet lié aux émissions de méthane des unités de méthanisation et de pouvoir amener des premières données sur les relations entre méthanisation et qualité de l'air.

La précédente étude menée en 2020 par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes avait porté sur un travail documentaire nécessaire à l'estimation, pour la première fois en région, de la contribution des émissions de méthane liées à la filière méthanisation sur l'ensemble des activités régionales émettrices de méthane. Dans le cadre de la présente étude, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes poursuit ses travaux pour prendre en compte ces émissions de méthane liées aux activités de méthanisation dans l'inventaire régional spatialisé des polluants atmosphériques. En attendant des avancées méthodologiques nationales plus complètes sur ces aspects, il est ainsi envisagé dans un premier temps de consolider le calcul d'émissions de méthane en tenant compte de la nature des déchets méthanisés. Dans un second temps, il s'agira d'intégrer ces émissions de méthane dans l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques. Dans un troisième temps, une campagne de mesure de méthane sera effectuée en air ambiant à proximité d'une unité de méthanisation afin d'observer les variations de concentrations de méthane par rapport aux niveaux standard dans l'atmosphère. Enfin, compte tenu des réticences, craintes et doutes exprimés par certains riverains proches d'installations de méthanisation (nuisance olfactives, gaz à effet de serre, Etc.), il semble intéressant de porter des efforts sur la compréhension globale et communiquer sur les gains environnementaux apportés par les unités de méthanisation, comparé à une situation où il n'y aurait pas d'autres voies de valorisation des déchets ou à une situation où il y a une autre voie de valorisation (conventionnelle ou renouvelable).

3. Méthanisation : état des connaissances sur les émissions de méthane en région Auvergne-Rhône-Alpes

3.1. Chiffres clés des énergies renouvelables

A l'échelle européenne, la France occupe la 2^{ème} place, derrière l'Allemagne, en termes de production primaire d'énergies renouvelables, avec 293 TWh produites en 2018 (Figure 1). Avec 10,20 TWh d'énergie renouvelables produites issue du biogaz en 2018, la France produit 5,3% d'énergie renouvelable issue du biogaz en Europe et se hisse en 4^{ème} position des pays européens qui produisent le plus d'énergies renouvelables issues du biogaz mais se place en 14^{ème} position en part relative avec 3,48 % d'énergies renouvelables produites issues du biogaz sur la production totale d'énergies renouvelables nationale (Figure 2).

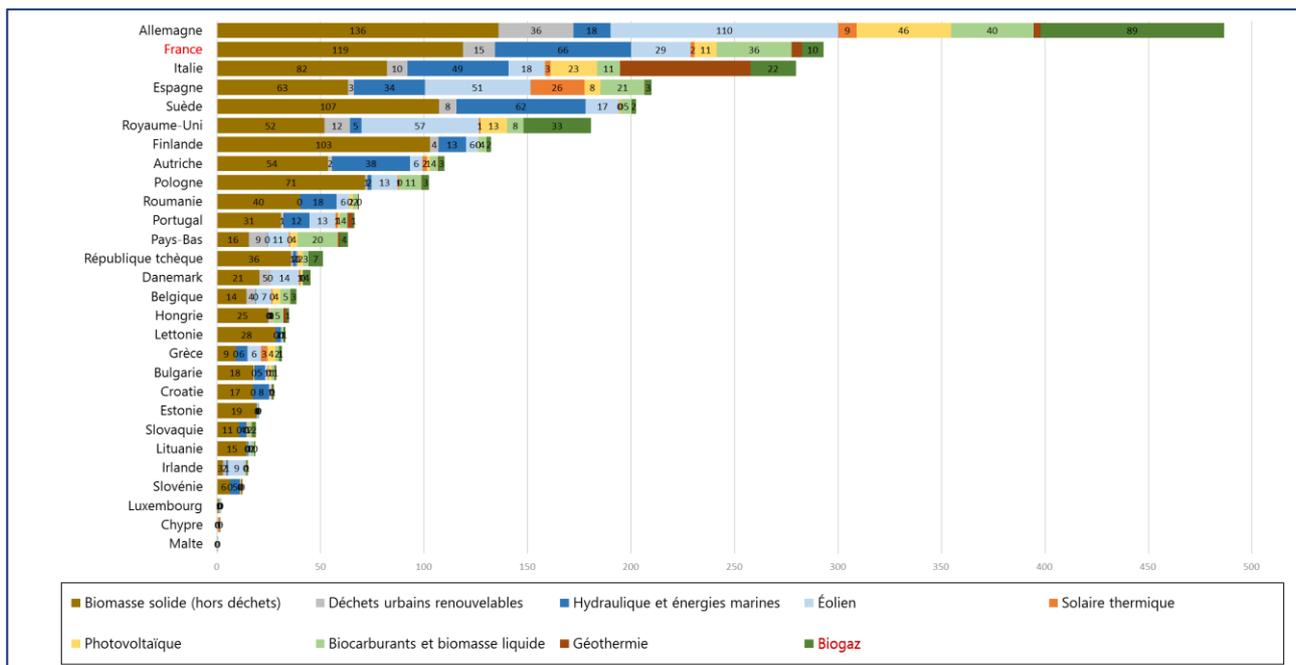


Figure 1 : Production primaire d'énergies renouvelables dans l'Union européenne en 2018, par filière (en TWh/an)

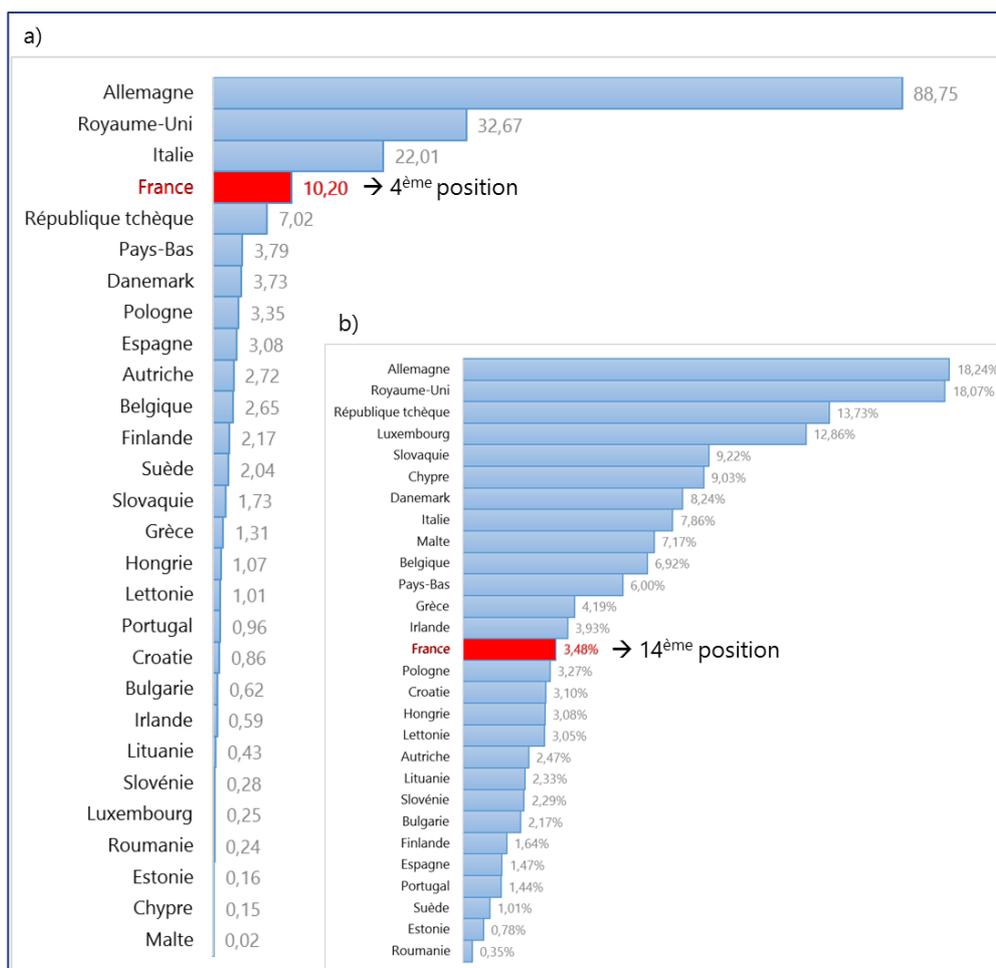


Figure 2 : Contribution du biogaz à la production primaire d'énergies renouvelables totale dans l'Union Européenne en 2018 : a) en TWh, b) en %

A l'échelle nationale, la production primaire d'énergies renouvelables en 2019 est de 320 TWh, soit une augmentation de 9% par rapport à 2018. D'ici à 2020, la France ambitionne de doubler la part des énergies

renouvelables pour représenter 32% de la consommation d'énergie (17,2% en 2019). La France produit 3,6% d'énergies renouvelables issues du biogaz sur la totalité produite d'énergies renouvelables, soit une légère augmentation de 3,4 % par rapport à 2018 (Figure 3). Le biogaz est le 7^{ème} contributeur en énergies renouvelables en France en 2019 [1].

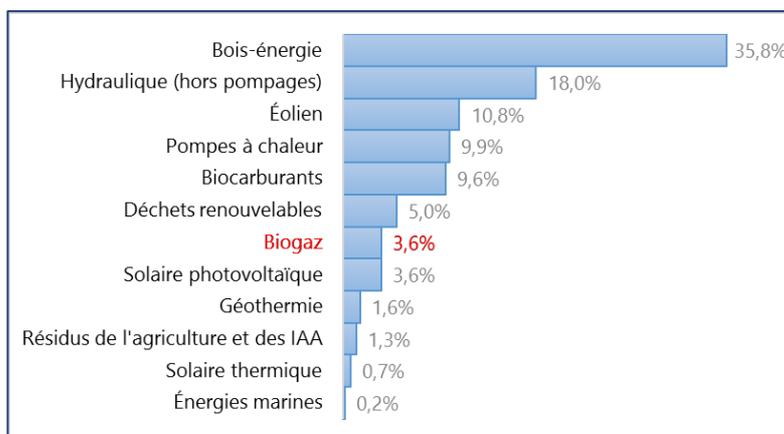


Figure 3 : Répartition de la production primaire d'énergies renouvelables par filière en 2019 en France (en %)

Le biogaz produit peut être utilisé pour produire de l'électricité, de la chaleur ou subir une étape d'épuration permettant d'obtenir du biométhane utilisable comme carburant véhicule ou directement injectable dans le réseau de gaz naturel. La Figure 4 montre l'évolution de la production brute d'énergie à partir de biogaz en France entre 2000 et 2019.¹ Le biométhane devient une voie de valorisation en augmentation importante tenant principalement au fait que le rendement énergétique est meilleur que ceux obtenus avec les voies de valorisation en électricité et en chaleur, et par des aides financières de l'Etat français. En 2018, la France a investi 4,767 Mds€ pour soutenir la filière des énergies renouvelables, dont environ 350 M€ dédiés au biogaz (56 M€ pour la valorisation du biogaz en biométhane pour injection dans le réseau de gaz naturel en 2019).

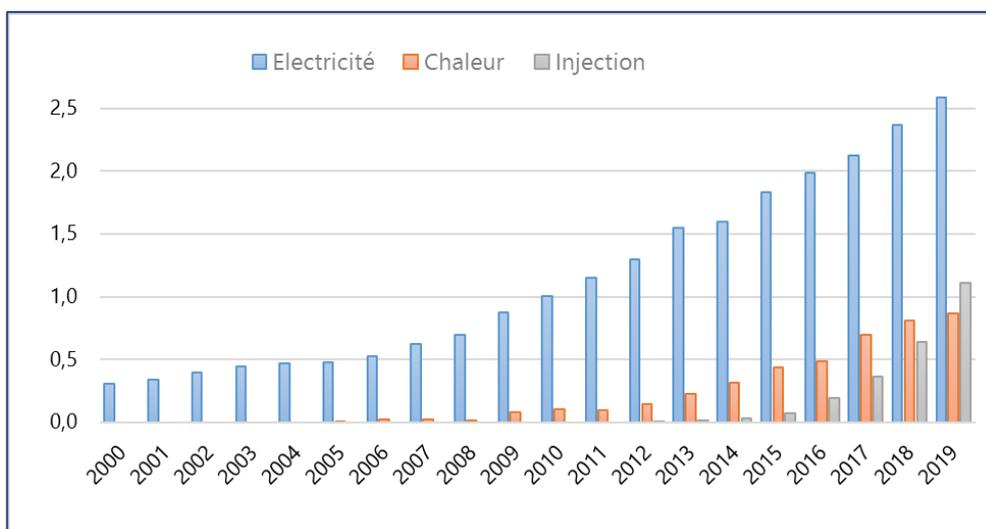


Figure 4 : Evolution de la production brute d'énergie à partir de biogaz en France (en TWh)

A l'échelle régionale, en 2019, la production totale d'énergie en région Auvergne-Rhône-Alpes était de 133 TWh, dont 32,5 % était attribuée aux énergies renouvelables, ce qui représente 13,5% des énergies renouvelables produites à l'échelle nationale. En région Auvergne-Rhône-Alpes, le biogaz contribue à hauteur de 1,08 % dans cette production d'énergies renouvelables. Avec 116 unités de méthanisation implantées sur son territoire en 2020, la région Auvergne-Rhône-Alpes représente à elle seule 12% du parc national de méthaniseurs.

¹ L'énergie est comptabilisée ici sous sa forme finale lorsqu'il s'agit d'électricité ou, lorsqu'elle est vendue, de chaleur. A contrario, l'énergie est comptabilisée sous sa forme primaire avant conversion (énergie contenue dans le biogaz) lorsque l'énergie finale produite correspond à de la chaleur non commercialisée.

3.2. La méthanisation en bref

3.2.1. Présentation

La méthanisation est un processus biologique de dégradation (digestion), spontané ou contrôlé, de la matière organique fermentescible, d'origine animale ou végétale, par des micro-organismes en l'absence de dioxygène (digestion anaérobie). La biomasse fermentescible peut être issue des déchets agricoles, ménagers, industriels ou des boues urbaines qui aboutit à la production d'un gaz appelé biogaz, composé majoritairement de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2) et d'un digestat, produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée. Le biogaz ainsi produit est une énergie renouvelable qui peut ensuite être valorisé énergétiquement de diverses manières : électricité, chaleur, cogénération, carburant véhicule (Bio GNV), et injection réseau. Pour ces deux derniers cas, le biogaz doit être considérablement épuré; le gaz ainsi épuré est appelé biométhane. Le digestat est quant à lui destiné généralement à un retour au sol. D'autres voies de valorisations existent à des échelles de maturités relativement faible telles que la production de dihydrogène, un vecteur d'énergie produit directement à partir de biogaz. La Figure 5 montre le processus de méthanisation depuis l'introduction des déchets jusqu'à leurs différentes voies de valorisations.

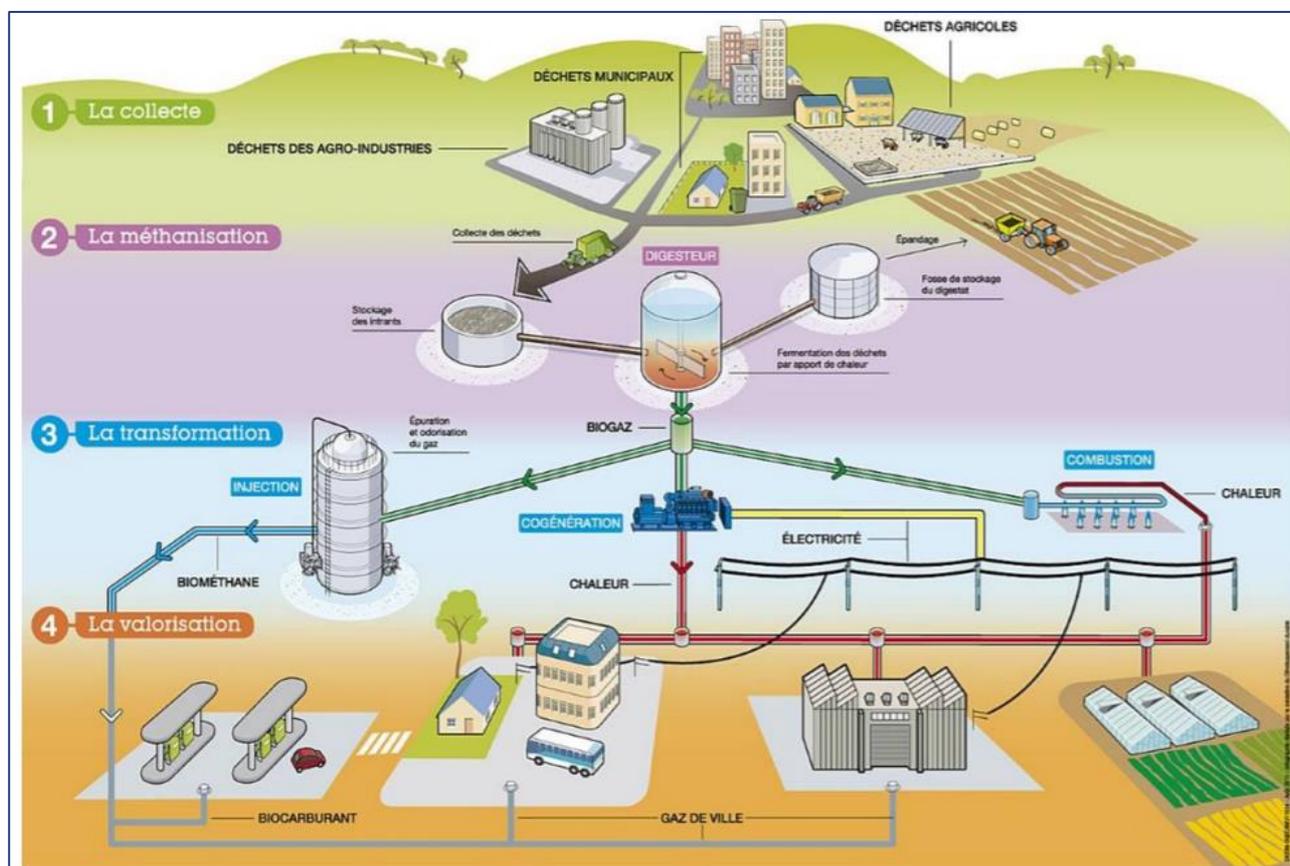


Figure 5 : Processus de méthanisation : des déchets aux différentes voies de valorisations (Source : Auvergne-Rhône-Alpes Energie Environnement)

Les technologies mises en œuvre dans la méthanisation peuvent être de nature continue ou discontinue et fonctionner en voie sèche ou humide, en fonction de la nature et de la quantité de déchets introduits. **Il y a autant de types d'installations de méthanisation qu'il y a de types de déchets entrants et donc de compositions de biogaz.** Il est cependant possible de classer les installations de méthanisation par typologie.

3.2.2. Typologies des unités de méthanisation

La méthanisation est un processus qui s'inscrit dans une filière de traitement des déchets ou produits associés. A cet effet, les installations de méthanisation retenues dans le cadre de notre étude sont regroupées en différentes typologies en fonction des déchets traités et des situations :

- Les unités de méthanisation **Agricoles** parmi lesquelles :
 - Les unités de méthanisation **Agricole à la ferme** (appelées également « individuelle ») qui sont portées par un agriculteur, ou par un groupement d'agriculteurs en nombre restreint, et dont le capital, majoritairement agricole, n'est détenu que par une seule exploitation. Les déchets bruts concernés sont à plus de 70% constitués par des effluents de fermes et des déchets agricoles.
 - Les unités de méthanisation **Agricole collective**, qui correspondent à des unités de méthanisation à la ferme pour lesquelles le capital, majoritairement agricole, est détenu par au moins deux exploitations agricoles. Les déchets bruts concernés sont à plus de 70% constitués par des effluents de ferme et des déchets agricoles ; des déchets exogènes sont considérés.
 - Les unités de méthanisation **Agricole territoriale** qui correspondent à des unités de méthanisation agricole collective pour lesquelles le capital, majoritairement agricole, est détenu par une ou plusieurs exploitations agricoles. Les déchets bruts concernés sont des effluents de ferme et des déchets agricoles avec une proportion de déchets exogènes supérieur à 30%.
- Les unités de méthanisation **Territoriale non agricole**, dans lesquelles le capital est détenu majoritairement par un privé, une collectivité. Tous les déchets bruts peuvent être considérés sauf les déchets issus des ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux), STEU (Station de Traitement des Eaux Usées) et TMB (Tri Mécano-Biologique). Souvent, ces déchets sont issus d'élevages et de l'industrie agro-alimentaire qui sont co-digérés dans une même installation. Les données transmises par AuRA-EE (Auvergne-Rhône-Alpes – Énergie Environnement) comptabilisent des déchets ménagers et assimilés (DMA) qui ne constituent pas une typologie mais un déchet ; ces déchets sont considérés comme allant dans des unités de méthanisation Territoriales non agricoles. Pour cette raison, la production de biogaz issue de la méthanisation des déchets DMA sera comptabilisée dans la typologie Territoriale non agricole.
- Les unités de méthanisation de type **STEU** (Station de Traitement des Eaux Usées urbaines) où le capital est détenu majoritairement par un privé, une collectivité. Les déchets sont des boues issues des effluents de station de traitement des eaux usées. Aucun autre type de déchets n'est considéré.
- Les unités de méthanisation de type **Industriel** (pouvant également être appelé Agro-industrielle ou **IAA** pour « industrie Agro-Alimentaire) dont le capital est détenu par un industriel. Les déchets concernent majoritairement les secteurs de l'agro-alimentaire, la chimie, les papeteries, l'industrie pharmaceutique.
- Les **ISDND**, avec ou sans aspiration, dont le capital est détenu par un privé ou une collectivité. Les déchets considérés sont issus des décharges d'OM classiques sans TMB. Les ISDND peuvent également recevoir des déchets FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères triés à la source). Ils peuvent contenir un TMB (tri mécano-biologique). Pour des raisons qui sont mentionnés dans la partie ci-après 3.2.3, les ISDND ne seront pas considérés comme des unités de méthanisation mais seront toutefois évaluées dans le cadre de ce rapport compte tenu des émissions de méthane que leurs activités génèrent.

Les données recueillies par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'étaient pas complètement harmonisées du point de vu des appellations des typologies fréquemment rencontrées dans la littérature.

Aussi, nous avons décidé d'harmoniser les installations de production de biogaz selon les typologies suivantes :

- Unités de méthanisation (méthaniseurs) :
 - **Agricole**
 - **Territoriale non agricole**
 - **Industrielle**
 - **STEU**
- Installation de stockage : **ISDND**

3.2.3. Focus sur les installations de stockage ISDND

Les installations ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux) sont considérées comme des typologies à part entière de la filière méthanisation. Elles ne font pas partie de l'objectif régional de développement de la méthanisation (Ambitions biogaz 2023). Pour les ISDND, il s'agit de gaz de récupération sur un modèle de traitement des déchets par enfouissement qui ne s'inscrit pas dans une approche économie circulaire vertueuse à la différence d'unités de méthanisation sur déchets ménagers triés à la source par exemple, le tri à la source et la valorisation étant un objectif majeur pour les biodéchets d'ici à 2023, et à caractère obligatoire au-delà. La région Auvergne-Rhône-Alpes a récemment lancé une enquête auprès de différentes installations de méthanisation (en cours) et les ISDND ne font, en ce sens, pas partie de cette enquête méthanisation. En effet, la mise en décharge de déchets organiques dans les ISDND est réalisée avant tout dans un objectif d'élimination (dégradation spontanée) et non de production contrôlée de biogaz ; le biogaz ainsi produit étant appelé **biogaz de décharge** ou biogaz fatal. Les seuls déchets autorisés à y être enfouis sont les déchets dits "ultimes", c'est-à-dire ceux qui ne peuvent être valorisés par recyclage, ni être orientés en UIOM « dans les conditions techniques et économiques du moment ». Pour les autres typologies d'installations, le processus de dégradation a lieu de manière contrôlée (température, humidité, Etc.), le biogaz ainsi produit étant appelé **biogaz de méthanisation**, que nous appellerons tout simplement biogaz dans ce rapport. Ce biogaz est plus riche en méthane que ne l'est le biogaz de décharge. Ceci est lié d'une part à la nature contrôlée du processus de dégradation (optimisation des paramètres bio-physico-chimiques, Etc.) des unités de méthanisation, et d'autre part aux inconvénients du processus de dégradation spontané ayant lieu dans les ISDND (aspiration d'air ambiant due à la perméabilité des massifs de déchets, conduisant à un appauvrissement du biogaz de décharge en méthane). L'utilisation de déchets à des fins de production d'énergie contribue à l'économie circulaire quand elle est réalisée sur des déchets n'ayant pu être évités et non valorisables sous forme matière. En ce sens, la méthanisation doit permettre le détournement des déchets destinés à leur stockage dans des ISDND. La loi de transition énergétique pour la croissance verte n° 2015-992 du 17 août 2015 prévoit notamment de réduire la quantité de biodéchets enfouis en ISDND conduisant à une diminution de la production de biogaz. Dans ce contexte de réorientation des déchets, le Paquet Economie Circulaire (PEC) adopté le 14 juin 2018 par la Commission Européenne précise ces réorientations de déchets et la réglementation y afférant, notamment celle d'interdire la mise en décharge de déchets collectés séparément. La production de biogaz issu des ISDND va alors diminuer. La Figure 6 montre le bilan national 2016 des tonnages entrant dans les ITOM (Installations de Traitement des Ordures Ménagères). La quantité de déchets introduits dans les ISDND est importante. La prise en compte, dans l'estimation des émissions de méthane, du nombre d'ISDND ainsi que de la quantité de déchets traités par ces ISDND aura une contribution importante sur l'estimation totale des émissions de méthane, toutes typologies confondues. Les ISDND ont toujours été les plus gros contributeurs en termes de quantité produite de biogaz. Avec les stratégies nationales et régionales, l'enfouissement des déchets organiques dans les ISDND est voué à décroître pour enfin disparaître dans environ 20 ans.

Les émissions de méthane provenant du stockage de déchets dans les ISDND sont prises en compte dans l'inventaire spatialisé des polluants atmosphérique d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Cependant, ces émissions de méthane sont liées à la phase de stockage des déchets et constituent en ce sens des émissions diffuses. L'inventaire ne prend pas en compte l'étape de production de biogaz et n'intègre alors pas les émissions de méthane liées au processus de production de biogaz. Par ailleurs, la méthodologie utilisée dans nos différentes études est basée notamment sur le calcul d'un facteur d'émissions qui prend en compte les quantités de biogaz produites par les différentes installations et non pas sur la base de quantité de déchets introduits et/ou stockés en ISDND.

Pour ce qui nous concerne, nous considérerons les émissions de méthane générées par la production de biogaz issu d'unités de méthanisation et des ISDND.

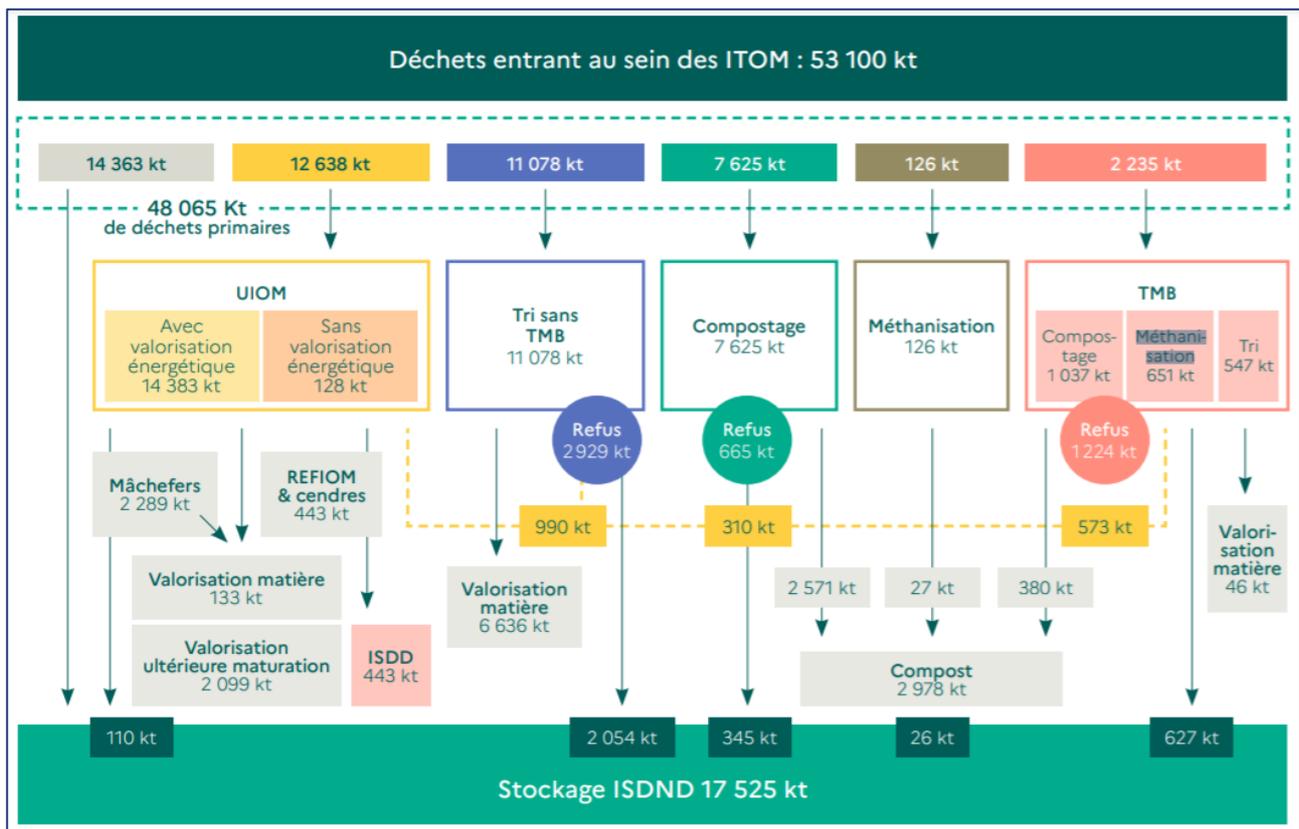


Figure 6 : Bilan des tonnages entrant dans les installations de traitement des ordures ménagères en France 2016 (source Club Biogaz et ADEME)

3.2.4. Compositions du biogaz

La nature du biogaz issu du processus de dégradation d'une biomasse fermentescible peut contenir du méthane en des proportions pouvant varier grandement d'une typologie d'unité de méthanisation à une autre, cela étant lié à la nature des déchets, chacun présentant un pouvoir méthanogène différent. Pour une même typologie d'unité de méthanisation, il n'est pas rare d'avoir par ailleurs un biogaz de différentes compositions, ceci étant lié principalement au mix d'intrants utilisé. Il est donc impossible d'afficher une composition de biogaz unique pour chaque typologie d'unité de méthanisation ; **il existe autant de biogaz que de sources de matières organiques**. L'estimation des émissions de méthane liées à la filière méthanisation pourrait être évaluée de manière plus précise si les données nécessaires au calcul, notamment la composition du biogaz de chaque installation, étaient fournies. La composition du biogaz des installations en service au niveau national ou régionale ne sont, pour la majeure partie d'entre elles, pas fournies. Le Tableau 1 donne la composition du biogaz pour chacune des typologies d'installations de production de biogaz. Les valeurs minimales (Min), moyennes (Moy) et maximales (Max) sont issues des données remontées par les exploitants sur les installations de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Tous les exploitants n'ont pas fait remonter leurs données ; aussi, les valeurs Min, Moy et Max sont affichées ici sur la base d'un nombre faible d'installations. Par exemple, les valeurs Min, Moy et Max de la typologie Industrielle sont difficiles à obtenir ; les exploitants de cette typologie d'unité n'ont en général pas d'information sur la teneur en méthane dans le biogaz car leur unité de méthanisation est d'abord un outil de traitement des déchets (réduction des volumes) avant d'être un outil de valorisation énergétique. De manière générale, lorsque les données ne sont pas connues, elles sont complétées par celles issues de la littérature [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]. Certaines sources affichent des valeurs légèrement différentes mais il est difficile de considérer une source plutôt qu'une autre car les valeurs affichées par certaines sources datent un peu, d'autres sources affichent des valeurs basées sur le recensement d'un nombre très limité d'unités, Etc. L'enquête lancée par la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2021 auprès des installations permettront sans doute d'avoir davantage d'informations. Ainsi, les valeurs relatives aux typologies Agricole, Territoriale, STEU émanent des exploitants de ces installations en région Auvergne-Rhône-Alpes. Les valeurs relatives aux typologies Industrielle et ISDND sont issues de la littérature [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8].

Tableau 1 : Composition du biogaz en fonction de la typologie des installations de production de biogaz

	Typologie d'installation de production de biogaz	Scénarios			
		OMINEA	Min	Moy	Max
Biogaz de méthanisation	Agricole	55%	51%	55,0%	64%
	Territoriale non agricole	55%	54%	56,5%	59%
	Industrielle	55%	55%	71%	87%
	STEU	55%	62%	63%	64%
Biogaz de décharge	ISDND	55%	37%	55%	68%

Dans le cas des ISDND, les minimum et maximum ont été pris en considérant 3 types de décharges :

- décharges d'ordures ménagères (80% de matières organiques) avec une production naturelle sans aspiration, pour lesquelles les teneurs en méthane dans le biogaz sont les plus importantes ;
- décharges d'ordures ménagères (80% de matières organiques) avec une production forcée avec aspiration ;
- décharges d'ordures ménagères (50% de matières organiques) avec une production forcée avec aspiration, pour lesquelles les teneurs en méthane dans le biogaz sont les plus faibles.

Le biogaz de décharge (ISDND) peut présenter de grandes variations en composition, liées principalement aux différents types de décharges mais également à son ancienneté ; celles en fin de vie présentant une teneur en méthane plus faible pouvant atteindre 25%. La valeur Max affichée de 68% dans le cas des ISDND est assez élevée, la plupart des ISDND affichent plutôt des valeurs Max aux alentours de 58%.

3.3. Parc régional des unités de méthanisation

Historiquement, les unités de méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes étaient principalement liées à des stations de traitement des eaux urbaines, le plus grand parc de cette typologie en France, et les ISDND avec tri (installations de stockage de déchets non dangereux d'ordures ménagères). Les progrès technologiques et les avancées en faveur de l'environnement et du climat ont favorisé l'émergence d'autres typologies d'unités de méthanisation, notamment les unités agricoles.

En 2020, la région Auvergne-Rhône-Alpes comptabilisait 116 unités de méthanisation en services toutes typologies confondues, ce qui représente 14,45% du parc français en 2020. En 2021, la région Auvergne-Rhône-Alpes comptabilise 126 unités de méthanisations en service toutes typologies confondues, dont 18 de typologie ISDND et 73 de typologie agricole (Figure 7), ces dernières représentant ~58% du parc total d'unités de méthanisation en région en 2021 (~55% en 2020), ce qui en fait la typologie prépondérante en nombre d'unités. Rien que sur l'année 2021, il y a actuellement 39 unités de méthanisation agricoles en projet sur la région (Figure 8). Cette dynamique de croissance des unités de méthanisation agricoles est observée à l'échelle nationale même si des disparités demeurent selon les territoires. Le nombre d'unités de méthanisation de typologie industrielle et territoriale augmente timidement. Le nombre d'unités de typologie ISDND n'augmente plus.

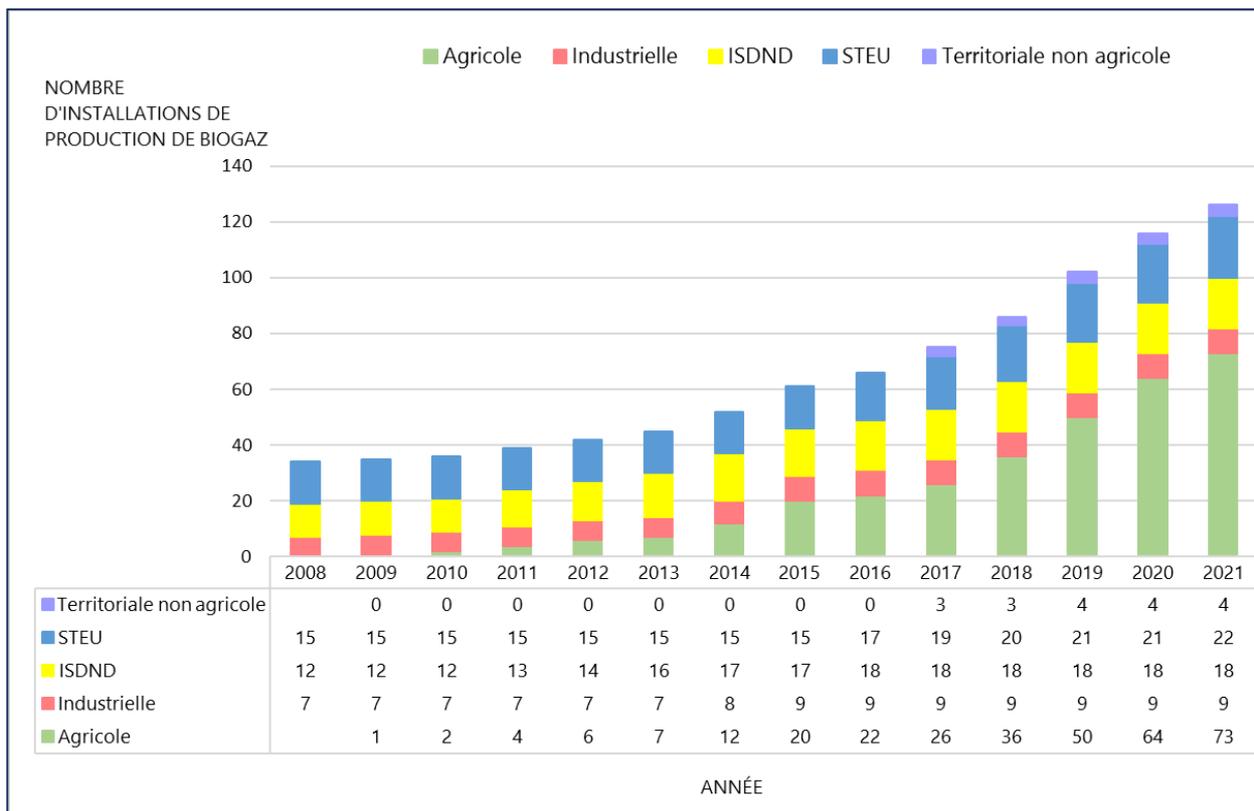


Figure 7 : Evolution du nombre total d'installations de production de biogaz en région Auvergne-Rhône-Alpes en fonction des typologies

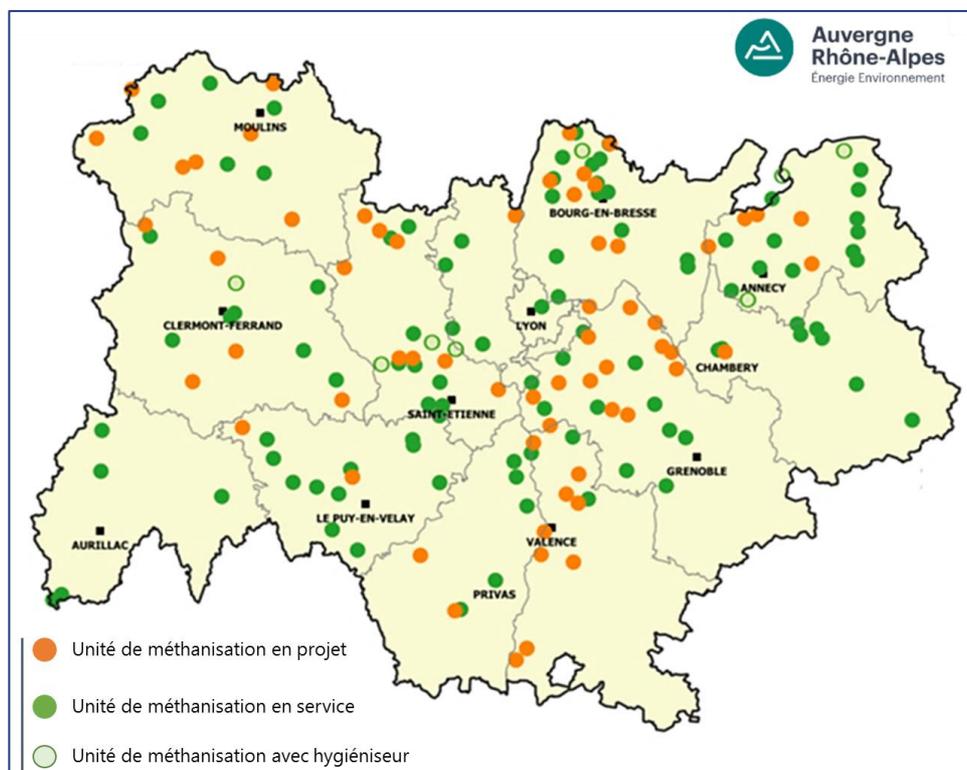


Figure 8 : Installations de méthanisation en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2020 (source : Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement)

3.4. Les travaux menés par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur les émissions régionales de méthane

Depuis 2015, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a initié des travaux permettant d'avoir des premières informations sur les émissions de méthane en région, qu'elles soient de natures bibliographiques, sectorielles ou expérimentales. Les études bibliographiques menées sont intégrées dans chacune des études menées ; il ne s'agira donc pas ici de refaire une étude bibliographique mais seulement donner les principaux objectifs et résultats obtenus des études réalisées et montrer le continuum dans la démarche d'amélioration des connaissances d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

3.4.1. 2015 : Amélioration des estimations de polluants vers l'atmosphère du secteur agricole

Il s'agissait ici de réaliser un travail d'amélioration de l'inventaire des émissions du secteur agricole, dont le méthane [9]. Il s'agissait en particulier de mettre à jour les méthodes d'évaluation des émissions du secteur agricole à partir d'un guide de référence pour l'évaluation des émissions régionales, en développant de nouveaux programmes de calculs, en élargissant les postes d'émissions considérés et en intégrant de nouvelles données les plus locales possibles (données d'activité, facteurs d'émissions, Etc.). Ce travail a mis en évidence la contribution importante du secteur Agriculture aux émissions de méthane. Ce travail a également mis en évidence les perspectives d'améliorations, notamment dans la meilleure prise en compte de données régionales et de facteurs d'émissions plus adaptés aux efforts actuels et futurs dans la réduction des émissions de ce secteur, dans la répartition spatiale et temporelle des émissions, et dans l'inventaire régional.

3.4.2. 2016 : Développement de la méthanisation et la qualité de l'air

Contrairement à la précédente étude [9] qui concernait tous les polluants impliqués dans le secteur agricole en particulier, cette étude-ci s'est focalisée, pour la première fois, sur la filière méthanisation [10]. L'année 2016 a montré que les objectifs d'implantations d'unités de méthanisation visés en 2013 sur le territoire national à horizon 2020 (Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote) ne pouvaient être tenus, majoritairement pour des raisons de rentabilité, de financement et d'acceptabilité sociétale. En réponse à cet état de fait, Atmo Auvergne-Rhône a été sollicité par ses partenaires, notamment des collectivités, pour apporter des éléments objectifs pour accompagner le développement de la filière, sur deux sujets principaux : a) l'acceptabilité sociétale de l'implantation d'une unité de méthanisation au regard des inquiétudes des riverains vis-à-vis d'éventuelles nuisances olfactives ou d'une dégradation potentielle de la qualité de l'air, et b) des interrogations sur d'éventuelles fuites de méthane en lien avec l'étanchéité de certains équipements des procédés de méthanisation. Cette étude a ainsi pu dresser un état des lieux sur les impacts potentiels de la filière méthanisation sur la qualité de l'air et les émissions des gaz à effet de serre. Elle a notamment mis en évidence la difficulté à quantifier les émissions de méthane compte tenu de la diversité des installations (taille, type de déchets, choix technologiques, Etc.).

3.4.3. 2017-2018 : Méthodologie et mesures de méthane en air ambiant

Dans la continuité de la précédente étude [10] et en réponse au besoin particulier de quantification des émissions de méthane dans l'air ambiant dans le périmètre régional, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a réalisé une étude en 2017-2018 visant à disposer de niveaux de référence sur la région indépendamment de la source d'émission, et d'établir un protocole métrologique de mesures du méthane dans l'air ambiant [11]. Cette étude

a permis de réaliser les premières mesures de méthane en région Auvergne-Rhône-Alpes sur les différents sites de mesures investigués, avec des typologies différentes. Les principaux résultats montrent que les niveaux de fond de méthane sont similaires à ceux identifiés dans la littérature. A contrario, les sites de proximité (rurale élevage ou d'installations de traitement de déchets) affichent une variabilité plus importante, avec une variation saisonnière ne semblant pas être très marquée, bien que la période hivernale, où les conditions de dispersion sont moins favorables, présente plus de pointes de concentrations. Un site en particulier affiche des niveaux de concentrations de méthane sensiblement plus élevés ; il s'agit d'un site, de typologie périurbaine sous influence industrielle, valorisant des déchets ménagers et composé d'une Unité de Valorisation Énergétique (UVE), d'un méthaniseur, d'une plateforme de compostage, et d'une Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND).

3.4.4. 2020 : Éléments d'estimation de l'impact de la méthanisation sur la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes

Dans la continuité des précédentes études, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a réalisé une étude en 2020, en partenariat avec le Conseil Régional Auvergne-Rhône-Alpes, dans le but d'apporter un premier éclairage sur les enjeux de qualité de l'air associés à la filière méthanisation, notamment ceux relatifs aux émissions atmosphériques de méthane générées par la filière [12]. Un premier travail bibliographique, centré sur la quantification des émissions de méthane, a permis d'identifier les principaux paramètres nécessaires à la quantification des émissions de méthane : taux de fuite, facteur d'émission, quantité de biogaz produite, et quantité de déchets méthanisés. Ce travail a également permis de relever l'importance de mettre en œuvre des bonnes pratiques sur toute la chaîne de valeur allant du transport des déchets jusqu'à leurs valorisations, ainsi qu'à la maîtrise de la conception des installations, pour limiter les pertes en méthane et les nuisances olfactives pouvant être générées. En se référant aux données de l'année 2018, les émissions de méthane des méthaniseurs représenteraient **environ 0,3%** des émissions totales de méthane en Auvergne-Rhône-Alpes tous secteurs confondus. Ce résultat doit être considéré avec prudence compte tenu de la variabilité importante des paramètres identifiés dans la littérature et pris en compte dans cette étude pour quantifier ces émissions de méthane. Ce faible pourcentage permet cependant de relativiser l'impact de ces émissions de méthane, liées à la filière méthanisation, sur la qualité de l'air. Notons toutefois que les émissions de méthane liées aux ISDND n'ont pas été incluses dans le périmètre de cette étude (voir la partie 3.2.3). Aussi, il est proposé dans notre présente étude d'intégrer les émissions de méthane des ISDND afin de prendre en compte la diversité des installations émettrices de méthane en région (voir partie 4.2).

Ces prochaines années, le nombre d'installations de méthanisation sera amené à croître et avec, les émissions de méthane probablement. Mais dans le même temps, ces futures installations seront construites selon des normes plus strictes permettant de maîtriser les pertes en méthane. Dans un contexte de croissance du parc d'installations de méthanisation, l'amélioration continue de la conception, de la construction et de la bonne conduite des installations permettraient de limiter l'augmentation des émissions de méthane. En prenant comme hypothèse une simple augmentation du parc des installations de méthanisation sans tenir compte d'une amélioration de leur construction, les quantifications des émissions de méthane en 2023 et 2035 représenteraient 1% et 3%, respectivement, des émissions totales de la région, tous secteurs d'activités confondus (les émissions de méthane des ISDND n'ont pas été prises en compte). Cette augmentation reste cependant encore relativement faible au regard des émissions de méthane des autres secteurs d'activités.

Cette étude a permis de situer les enjeux de la filière méthanisation dans un contexte plus global lié aux émissions de gaz à effet de serre, de valorisation des déchets et de valorisation énergétique.

4. Consolidation du calcul des

émissions de méthane en région Auvergne-Rhône-Alpes

Dans la continuité des études précédemment menées et dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a décidé d'actualiser l'estimation des émissions de méthane à l'échelle régionale en tenant compte de la typologie des unités de méthanisation.

4.1. Méthodologie

La méthodologie mise en place pour le calcul des émissions de méthane (CH₄) suit les recommandations du guide national OMINEA [13], décliné dans le guide PCIT². De façon générale, l'élaboration des calculs des émissions polluantes doit respecter les principales composantes et caractéristiques techniques du système national d'inventaires des émissions de polluants et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA).

4.1.1. Caractéristiques requises pour les inventaires d'émissions

Les inventaires d'émissions doivent généralement présenter les caractéristiques décrites ci-après afin d'être effectivement utilisables [14]. Ces caractéristiques sont des exigences formelles dans le cas des inventaires réalisés dans le cadre des Conventions internationales (CCNUCC, CEE-NU / CLRTAP) et des directives de l'Union Européenne. La conception et le développement du SNIEBA sont effectués afin d'être compatibles avec ces caractéristiques qui sont :

- **Exhaustivité** : toutes les sources entrant dans le périmètre défini par le ou les inventaires doivent être traitées.
- **Cohérence** : les séries doivent être homogènes au fil des années.
- **Exactitude / incertitude** : les estimations doivent être aussi exactes que possible compte tenu des connaissances du moment. Ces estimations ne pouvant souvent être très précises compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu et des difficultés à les mesurer ou les modéliser, elles doivent être accompagnées des incertitudes associées.
- **Transparence** : les méthodes et les données utilisées doivent être clairement explicitées pour pouvoir être évaluées dans le cadre de la validation et de la vérification. En conséquence, la traçabilité des données est indispensable. Les données doivent être enregistrées et accessibles. Cette caractéristique est également très utile pour la mise à jour ou la comparaison des inventaires. Cependant, elle peut être limitée dans quelques cas par le respect de la confidentialité.
- **Comparabilité** : les inventaires doivent autant que possible pouvoir être comparés. Cette comparaison peut porter sur les aspects géographiques et temporels aussi bien que sur les sources prises en compte (mêmes sources, mêmes méthodologies dans le même espace-temps). Cette qualité requiert généralement une adéquation avec les autres qualités citées ci-dessus et l'utilisation de référentiels identiques ou au moins compatibles.
- **Confidentialité** : le respect de certaines règles légales ou contractuelles limite l'accès à certaines informations. Les données communiquées dans les inventaires doivent respecter les règles de confidentialité qui sont éventuellement définies.

² Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques

- **Ponctualité** : le dispositif d'élaboration des inventaires doit permettre de produire ceux-ci dans les délais requis.

4.1.2. Principes méthodologiques

En respectant cette méthode et en l'appliquant au secteur des traitements biologiques des déchets, l'OMINEA propose une première approche d'évaluation des émissions de CH₄ [14] :

« Concernant la méthanisation, une méthode nationale est appliquée. Elle consiste d'abord à estimer les taux de génération de biogaz (320 m³/ tonne de matière brute) sur les centres de méthanisation d'ordures ménagères français sur la base de l'état des lieux de la filière méthanisation en France réalisé par l'ADEME, l'ATEE et le Club biogaz en 2011. Les émissions de CH₄ sont ensuite calculées sur la base de la teneur en CH₄ du biogaz issu de la méthanisation de déchets (60%) et d'un taux de fuite du biogaz produit. Ce taux de fuite (de 5%) est la valeur par défaut proposé dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC » [15].

La méthodologie qui en découle est illustrée par le schéma conceptuel suivant (Figure 9) :

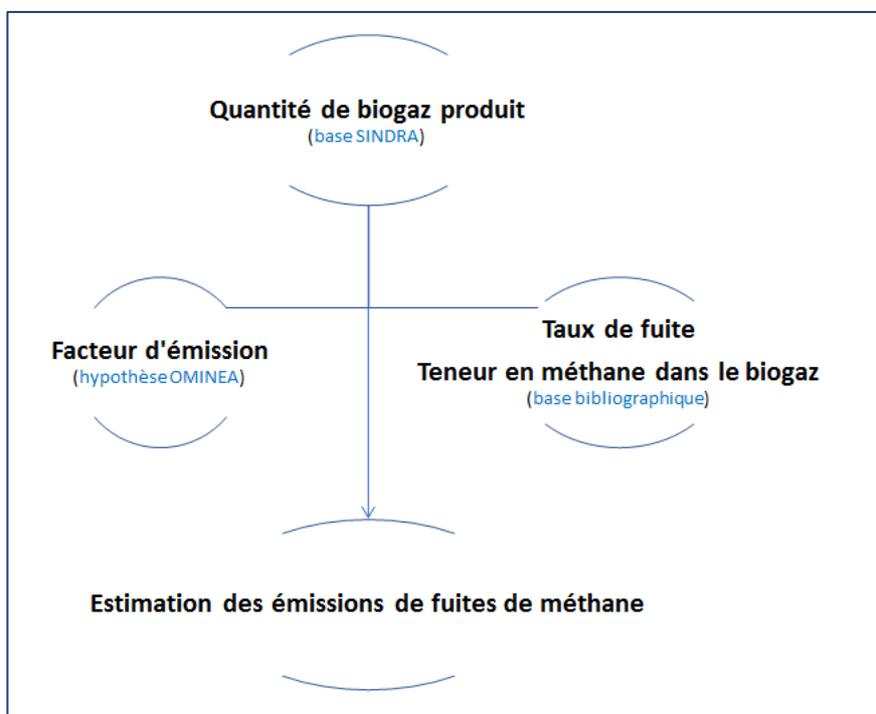


Figure 9 : Méthodologie appliquée pour estimer les émissions de méthane liées aux activités de production de biogaz

Finalement, le calcul est réalisé en suivant les étapes suivantes :

1. Evaluation des quantités totales de biogaz produites en exploitant les déclarations disponibles dans la base de données SINDRA [16] ;
2. Estimation des fuites de biogaz (5%) [12] ;
3. Application de la teneur en CH₄ du biogaz (55%) ;
4. Application du facteur d'émissions de CH₄.

Les travaux d'Atmo Grand Est sur le sujet ont servi de base pour initier une cohérence entre les AASQA [17].

4.1.3. Données disponibles

Les déclarations de la base SINDRA nous ont été fournies par l'Observatoire des Déchets en Auvergne-Rhône-Alpes pour les années 2015 à 2019 [18]. Toutefois, compte tenu du nombre relativement faible de déclarations

indique le nombre total d'installations dans ce département pour lesquels des émissions de méthane ont pu être estimées en 2019.

En 2019, il y avait 25 unités de méthanisation pour lesquelles nous n'avons pas eu d'informations sur les débits de biogaz et dont nous n'avons donc pas pu calculer les émissions de méthane ; cela représente près de 22% d'installations contre 16% en 2018. Toutefois, il est possible d'estimer les émissions de méthane des installations non évaluées. Cela reste une hypothèse de travail permettant une estimation mais ne doit pas remplacer les émissions de méthane du parc d'installations pour lesquelles les données existent. La méthodologie consiste à calculer les émissions moyenne de méthane (à l'échelle régionale et non à l'échelle des départements) en 2019 pour chaque typologie. Le nombre d'unités par typologie non évaluées est connue. Nous pouvons raisonnablement appliquer la moyenne des émissions de chaque typologie, pondéré par le nombre d'installations de chaque typologie.

- En 2019 :
 - o ISDND inclus : Les émissions de méthane potentiellement générées par les 25 unités de méthanisation, ISDND inclus, non évaluées par manque de données représenteraient 914 tonnes de méthane à l'échelle régionale en 2019. Additionnés aux émissions de méthane générées par les unités de méthanisation évaluée en 2019, ISDND inclus, cela conduirait à des émissions régionale de méthane de **4 030** tonnes de méthane.
 - o ISDND exclus : En excluant cette fois-ci les ISDND des installations de méthanisation évaluées et non évaluées, les émissions de méthane potentiellement générées par les installations non évaluées représenteraient 284 tonnes de méthane. Additionnés aux émissions de méthane générées par les unités de méthanisation évaluée en 2019, ISDND exclus, cela conduirait à des émissions régionale de méthane de **1 300** tonnes de méthane.
- En 2018, le même raisonnement peut être tenu :
 - o ISDND inclus : Les émissions de méthane potentiellement générées par les 16 unités de méthanisation, ISDND inclus, non évaluées par manque de données représentent 890 tonnes de méthane à l'échelle régionale en 2018. Additionnés aux émissions de méthane générées par les unités de méthanisation évaluée en 2018, ISDND inclus, cela conduirait à des émissions régionale de méthane de **4 053** tonnes de méthane.
 - o ISDND exclus : En excluant cette fois-ci les ISDND des installations de méthanisation évaluées et non évaluées, les émissions de méthane potentiellement générées par les installations non évaluées représenteraient 120 tonnes de méthane. Additionnés aux émissions de méthane générées par les unités de méthanisation évaluée en 2018, ISDND exclus, cela conduirait à des émissions régionale de méthane de **1 078** tonnes de méthane.



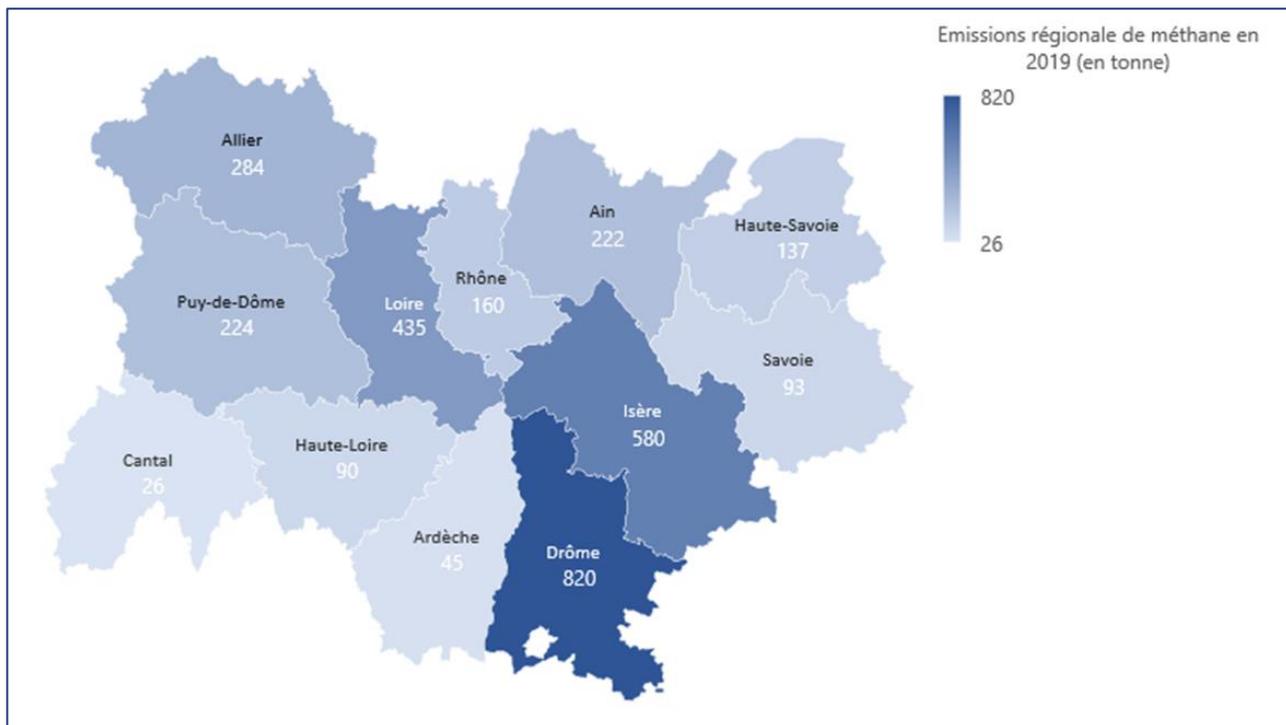


Figure 12 : Emissions de méthane liées aux installations de production de biogaz (unité de méthanisation et ISDND) dans chaque département en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2019.

4.1.4. Reconstitution des années non renseignées

Sur la base des dates d'ouverture et de fermeture des unités de méthanisation, lorsqu'une pour une année, une déclaration n'est pas renseignée dans la base de données SINDRA, une méthode de reconstitution des données a été utilisée pour compléter les déclarations SINDRA pour les années manquantes, en considérant les 3 cas suivants :

- Le début de série de données n'est pas renseigné : dans ce cas, la valeur de la première année renseignée est reportée sur les années antérieures ;
- Le milieu de série n'est pas renseigné : dans ce cas, les valeurs intermédiaires sont reconstituées en interpolant les valeurs déclarées encadrantes ;
- La fin de série n'est pas renseignée : dans ce cas, la dernière valeur rencontrée est reportée sur les années suivantes.

La Figure 13 donne une illustration de la méthode de reconstitution des données :

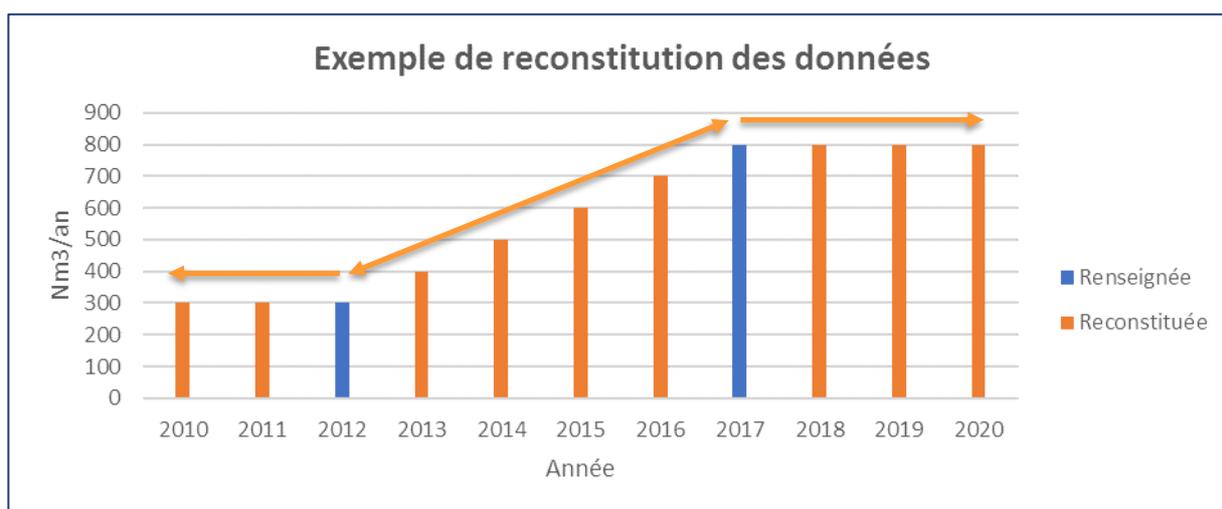


Figure 13 : Illustration de la méthode de reconstitution des données

4.1.5. Paramètres de calculs

Sur le principe, chaque installation de méthanisation est potentiellement spécifique. Ainsi, le biogaz résultant dépend, notamment, de la composition et de la nature des déchets entrants, de la conception de l'installation, de la nature des sols sur laquelle elle est bâtie, Etc. De la même façon, la réalité des fuites de biogaz de chaque site peut être liée, par exemple, à la dimension de l'installation, à la qualité des matériaux utilisés pour sa conception et aux soins pris lors de sa construction.

Toutefois, comme très peu de données sont disponibles dans la littérature pour caractériser les effets de ces différents points, finalement, nous avons utilisé un taux de fuite de biogaz constant de 5% et une teneur de CH₄ fixe de 55% pour les ISDND et pour chaque typologie de méthaniseurs :

- Agricole
- Territoriale non agricole
- Industrielle
- STEU
- ISDND

4.2. Estimation des émissions de méthane

4.2.1. Activité de production de biogaz

Les données SINDRA mises à notre disposition ne permettent de prendre en compte qu'une partie des unités de méthanisations en activité sur la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le Tableau 2 indique le nombre d'unités qui ont été en activité sur les années concernées. Seules les unités pour lesquelles des données d'activités ont été recensées sont prises en compte.

Tableau 2 : Nombre d'installations de production de biogaz en région Auvergne-Rhône-Alpes pour lesquelles les données ont pu être exploitées.

Typologie des installations de production de biogaz	2016	2017	2018	2019
Méthaniseurs	51	56	64	68
ISDND	20	20	20	20
Total	71	76	84	88

Le Tableau 3 donne l'historique du total des émissions de CH₄ en fonction de la typologie des installations (les unités de méthanisation et les ISDND). Ce tableau montre que les valeurs sont relativement stables sur les 4 années calculées (**moyenne de 3 153 tonnes/an**) :

Tableau 3 : Historique des émissions de CH₄ et fonction de la typologie des installations.

Typologie des installations de production de biogaz	Unité	2016	2017	2018	2019
Agricole	t/an	179	206	266	328
Territoriale non agricole	t/an	249	267	282	284
Industrielle	t/an	171	173	176	176
STEU	t/an	269	240	233	225
ISDND	t/an	2 356	2 224	2 204	2 102
Total	t/an	3 225	3 111	3 161	3 116
		Moyenne : 3 153 tonnes/ an			

Sur l'ensemble des installations (unités de méthanisation et ISDND), les émissions de CH₄ liées aux seules installations ISDND sont largement majoritaires (Figure 14a). Toutefois, leur contribution accuse une baisse régulière d'environ 10% entre 2016 et 2019. Elles représentaient 73% des émissions totales de CH₄ de ce secteur en 2016 et ne représentent plus que 67% du total en 2019. Il est très difficile d'analyser cette baisse des émissions de méthane liées aux ISDND ; en effet, il est arrivé qu'une baisse soit liée à l'arrêt momentané d'une exploitation. Ceci peut également être lié à la baisse des déchets fermentescibles destinés initialement aux ISDND mais qui doivent être détournés vers des voies de valorisation comme les unités de méthanisation (voir 3.2.3).



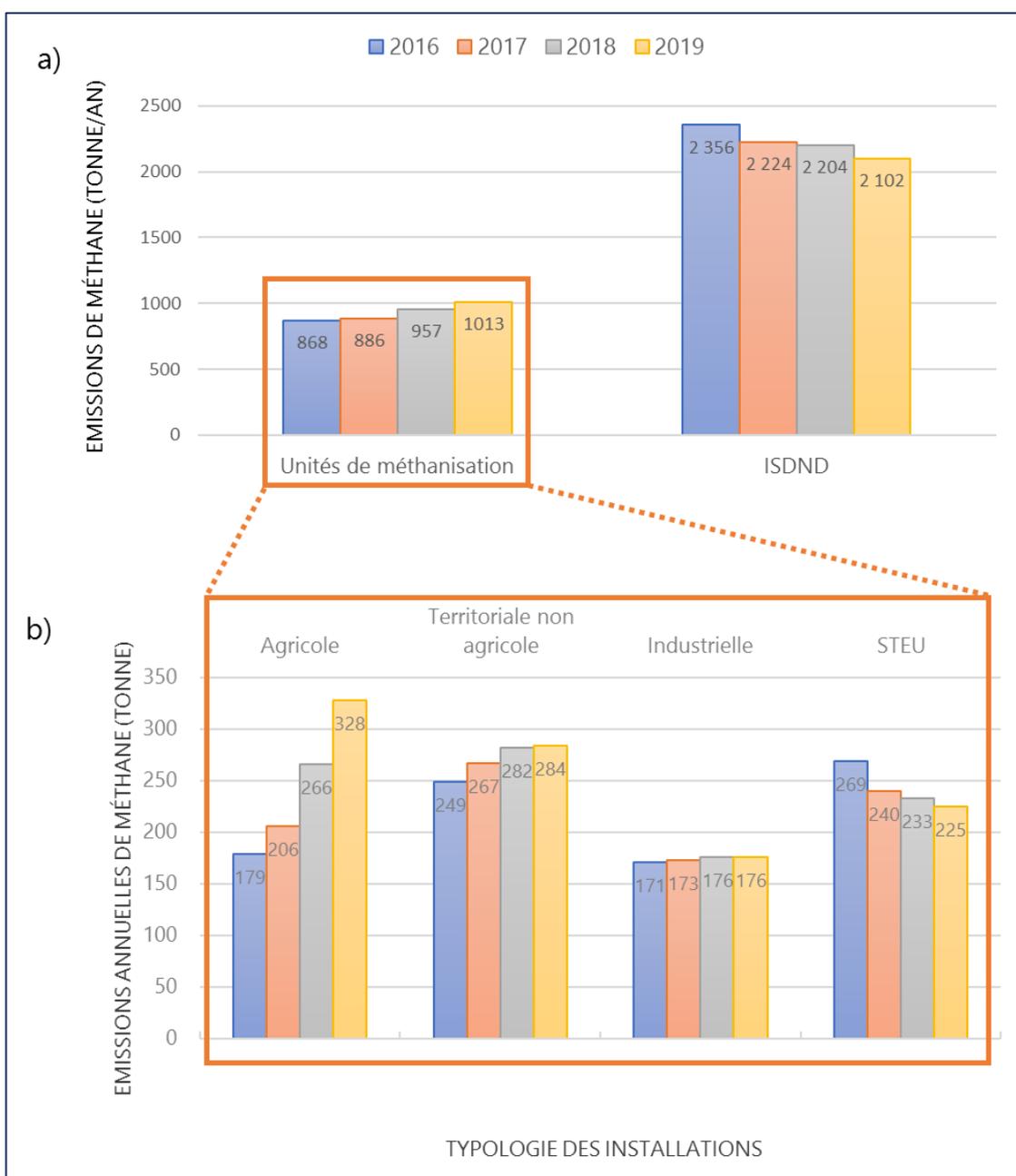


Figure 14 : Evolution des émissions de méthane depuis 2016 sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (scénario OMINEA) : a) comparaison unités de méthanisation et ISDND, b) comparaisons des typologies au sein même de la famille unité de méthanisation.

La contribution totale des autres types de méthaniseurs (ISDND exclus) est en hausse constante entre 2016 et 2019 (Figure 14a). Cependant, chaque type de site a une progression spécifique (Figure 14b) :

- Les émissions des installations Agricole sont en nette progression et augmentent d'environ 83% entre 2016 et 2019. Ceci est lié à l'augmentation, ces dernières années, du nombre d'installations de ce type en région Auvergne-Rhône-Alpes (voir Figure 7).
- Les émissions des installations Territoriale non agricole croissent également d'environ 20% sur la période.
- Les émissions des installations Industrielle sont relativement stables.
- Les émissions des installations STEU sont en baisse constante avec une réduction de 16% de leur contribution entre 2016 et 2019 alors que pendant cette même période le nombre d'installation a progressé de 17 unités en 2016 à 21 unités en 2019.

Evolution des émissions de méthane par département

La Figure 15 montre l'évolution, dans chaque département, des émissions de méthane (en tonne) entre 2016 et 2019 pour les installations de production de biogaz : a) ISDND inclus, b) ISDND exclus. L'évolution des émissions de méthane dans chaque département de la région est plutôt stable entre 2016 et 2019. Il est difficile de corréliser ces petites variations temporelles du fait de la variabilité du nombre d'installations entre 2016 et 2019 dans chaque département, que certaines installations mais aussi de la variabilité du fonctionnement de certaines exploitations entre 2016 et 2019. Par exemple, un arrêt annuel d'une seule installation ISDND peut suffire à modifier les émissions de méthane. Lorsque les émissions de méthane issues des ISDND sont comptabilisées (Figure 15a), les départements de la Drôme, l'Isère et la Loire représentaient en 2019 près de 59% des émissions totales de méthane liées à la production de biogaz. Le département de la Drôme participe pour près de 26,3% des émissions totales de méthane liées à la production de biogaz alors qu'elle ne participe que pour 13,7% lorsque les émissions de méthane issues de la production de biogaz des ISDND sont exclus (Figure 15b). Il n'y a donc pas de hiérarchisation à établir ici ; tout dépend du nombre et de la typologie d'installations implantées dans un département et de leurs évolutions dans le temps.



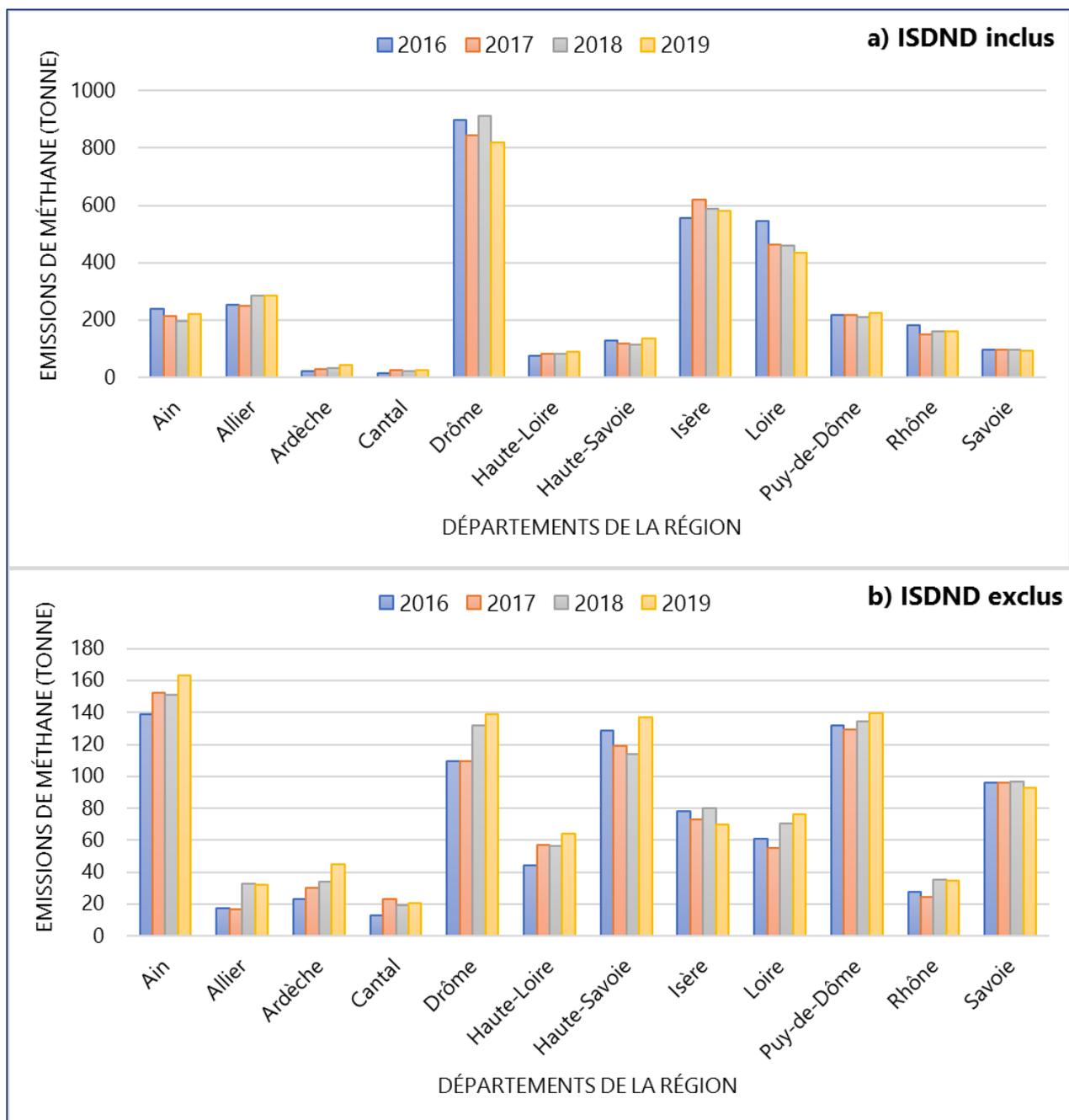


Figure 15 : Evolution, dans chaque département, des émissions de méthane (en tonne) entre 2016 et 2019 pour les installations de production de biogaz : a) ISDND inclus, b) ISDND exclus.

4.2.2. Activité de production de biogaz et scénarios

Les scénarios envisagés

Comme cela a déjà été souligné, il y a peu de données disponibles dans la littérature pour évaluer la contribution des installations de méthanisation. Pour cette raison, nous avons appliqué les méthodes harmonisées au niveau national qui s'appuient sur un taux de fuite (5%) et une teneur de CH₄ unique (55%) quel que soit le type d'installation de production de biogaz, qu'il soit un biogaz de méthanisation ou un biogaz de décharge. *Dans les figures et tableaux qui vont suivre, le calcul harmonisé national sera appelé « OMINEA » pour le distinguer des résultats des scénarios.* Toutefois bien que cela reste encore à un stade marginal, la littérature propose des gammes de valeurs de teneur en CH₄ dans le biogaz fonction de la typologie des installations, ce qui apporte une précision supplémentaire pour déterminer les émissions.

Afin de réaliser une simulation, nous avons sélectionné des gammes de valeurs issues du terrain et de la littérature et nous les avons appliquées pour faire trois types de calculs (pour plus de précision, voir la partie 3.2.4) :

- Scénario-Min : calcul des émissions en utilisant la valeur minimale de la gamme de valeur proposées.
- Scénario-Moy : calcul des émissions en utilisant une valeur intermédiaire entre le minimum et le maximum de la gamme proposée.
- Scénario-Max : calcul des émissions en utilisant la valeur maximale de la gamme de valeurs proposées.

Evolution des émissions de méthane par typologie

Sur l'ensemble des installations de production de biogaz (unités de méthanisation et ISDND), il y a peu d'écart sur le total global des émissions de CH₄ entre le calcul national harmonisé (appelé ici scénario OMINEA) et le Scénario-Moy (Figure 16a) ; l'écart relatif est en moyenne de 2,2%. En revanche, les émissions de méthane calculées selon le Scénario-Min, respectivement Scénario-Max, sont toujours sous-estimées, respectivement surestimées, par rapport à celles calculées selon le scénario OMINEA (écarts relatifs moyens de 23%). Si l'on exclut cette fois-ci les ISDND (Figure 16b), les émissions de méthane calculées selon le scénario OMINEA sont toujours plus faibles que les autres scénarios. Les écarts relatifs moyens sont désormais de 22%, 7,7% et 1,1%, respectivement pour les scénarios : Scénario-Max, Scénario-Moy, Scénario-Min. Ceci est principalement lié aux valeurs minimums de méthane rencontrées dans les ISDND. Cette figure montre qu'il est important d'utiliser, pour chaque installation de production de biogaz, les teneurs en méthane réelles et non celles moyennées issues de la littérature. Ceci constitue une piste de réflexion en vue d'une prochaine étude.

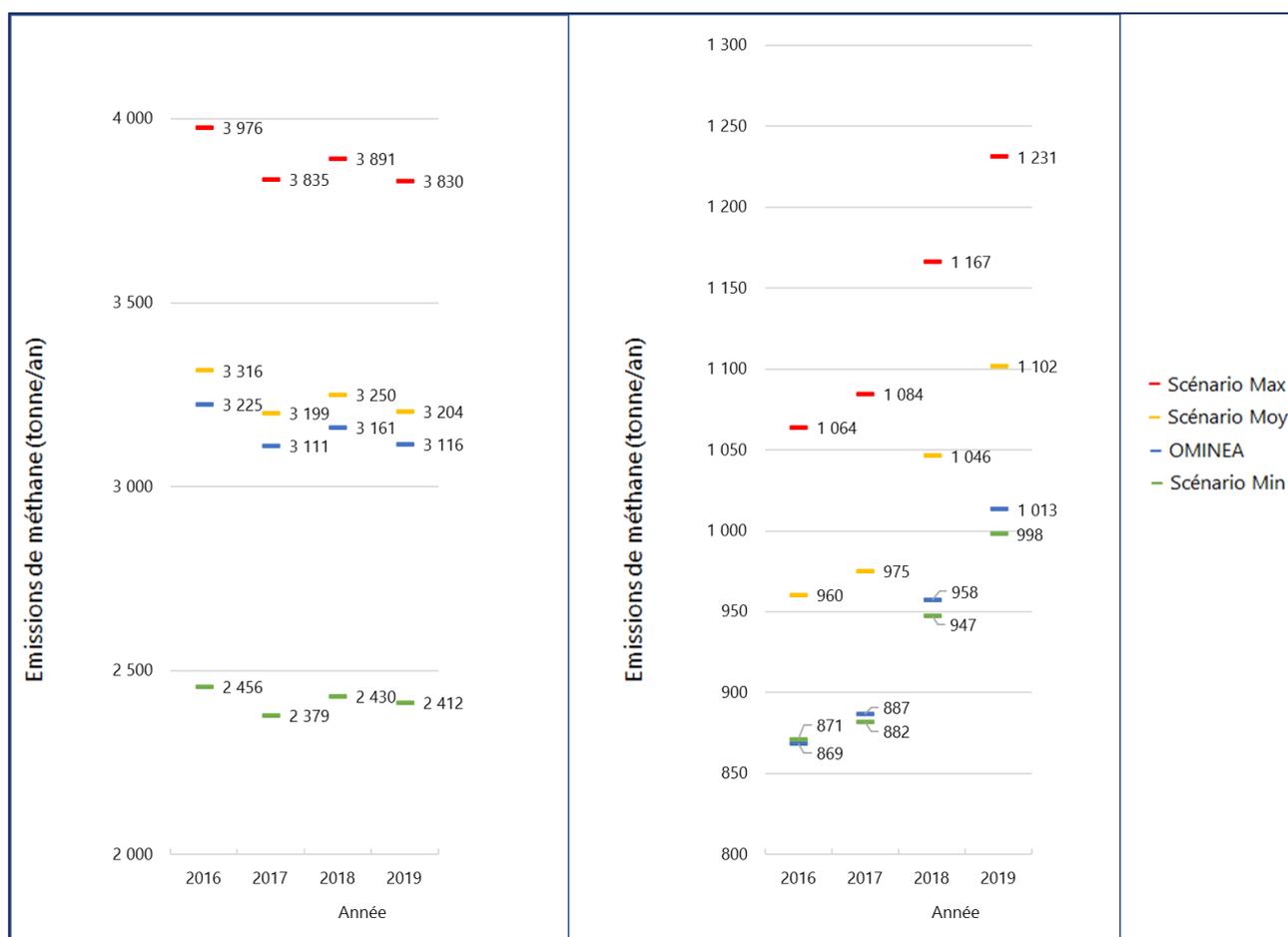


Figure 16 : Evolution, en fonction des scénarios, des émissions totales de méthane générées par les installations de production de biogaz en fonctionnement en région Auvergne-Rhône-Alpes : toutes les installations de production de biogaz, b) unité de méthanisation (i.e. ISDND exclus)

En revanche, la même analyse peut être effectuée pour chaque typologie d'installation investiguée dans cette présente étude. La Figure 17 montre l'écart des émissions de méthane calculées selon les émissions Scénario-

Min, Scénario-Moy et Scénario-Max par rapport au scénario de référence OMINEA, pour chaque typologie d'installation. Cette figure indique que les émissions de méthane estimées sur la base des compositions du biogaz (voir partie 3.2.4) varient différemment en fonction de la typologie des installations. Les émissions de méthane estimées selon les scénarios Scénario-Moy et Scénario-Max sont toujours supérieures à celles calculées selon le scénario OMINEA. La typologie Industrielle est celle qui affiche des écarts relatifs les plus importants ; ceci est dû à la valeur maximale de la teneur en méthane dans le biogaz prise dans ces scénarios. En revanche, l'analyse est plus nuancée lorsque l'on considère le scénario Scénario-Min, surtout pour les ISDND.

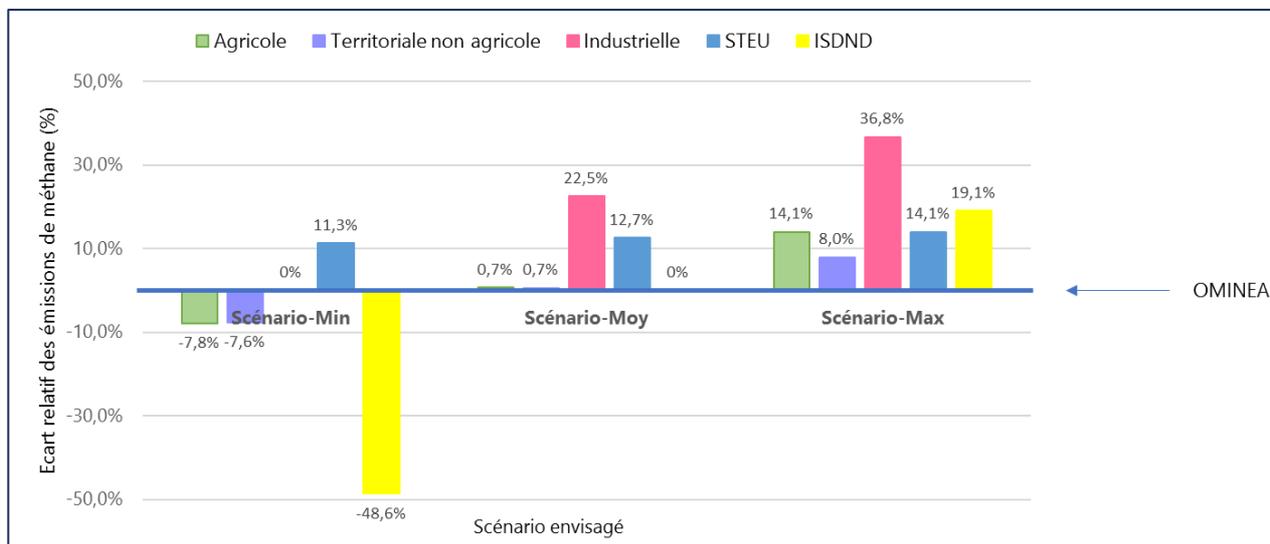


Figure 17 : Ecart relatif des émissions de méthane par rapport à la valeur de référence OMINEA pour chaque typologie d'installation (en %), en 2019

Dans le précédent rapport d'Atmo, seul le scénario OMINEA avait été utilisé pour calculer les émissions totales méthane, toutes typologies confondues [12]. La présente étude indique que même le Scénario-Moy ne suffit pas à s'approcher des émissions calculées selon le scénario OMINEA.

La Figure 18 compare les évolutions des émissions de méthane depuis 2016 de chaque typologie d'installation de production de biogaz (unités de méthanisation et ISDND) en fonction des différents scénarios envisagés. Globalement, les émissions de méthane liées aux méthaniseurs Agricole augmentent depuis 2016 en raison du nombre croissant de leur nombre depuis 2016 (voir Figure 7). Les émissions de méthane liées aux méthaniseurs Territoriale non agricole augmentent plus timidement depuis 2016 en raison probablement de l'augmentation timide du nombre croissant de ces unités depuis 2016 (voir Figure 7). Les émissions de méthane liées aux méthaniseurs de typologie Industrielle restent presque constantes en raison probablement d'une stagnation du nombre d'unités de ces typologies depuis 2016 (voir Figure 7). En revanche, les ISDND constituent la seule typologie qui accuse une diminution des émissions de méthane depuis 2016.

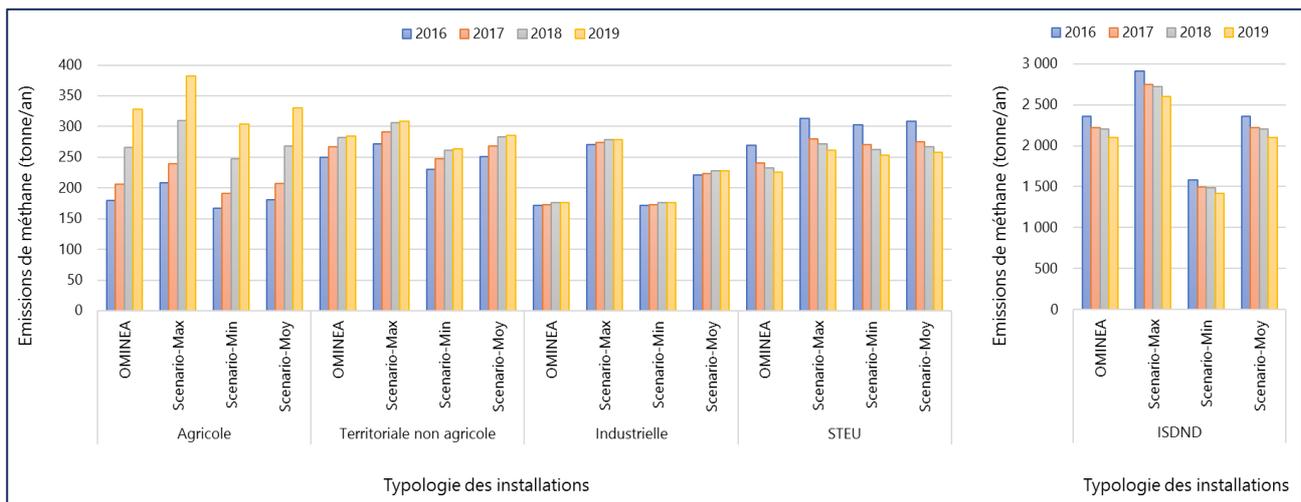


Figure 18 : Historique des émissions de méthane des installations de production de biogaz par scénario et par typologie d'installation de production de biogaz (le scénario OMINEA correspond au calcul national harmonisé).

4.2.3. Taux de fuite en méthane liée aux installations de production de biogaz

La Figure 19 montre la contribution, aux émissions de méthane, des installations de production de biogaz en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2018. L'année de référence choisie ici est 2018 puisqu'elle correspond au dernier bilan d'inventaire des émissions de polluants réalisé par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Le précédent rapport d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes était basé sur les données de 2017 et les fuites de méthane liées aux unités de méthanisation avaient alors été estimées à 0,3% des émissions totales de la région, toutes activités confondues. Cette valeur était basée sur le scénario OMINEA. Dans la présente étude, un pourcentage de fuite de 0,3% a également été obtenu pour l'année 2018. Cependant, nous avons souhaité vérifier dans quelles mesures les variations de la teneur en méthane dans le biogaz, donc des typologies d'installations, pouvaient impacter sur ce taux de fuite. La Figure 19 montre que la prise en compte de valeurs Min, Moy et Max de teneur en méthane dans le biogaz pour chaque typologie étudiée (Agricole, Territoriale non agricole, Industrielle, STEU) ne fait pas varier significativement ce taux de fuite, ce dernier représentant 0,4% des émissions totales de la région Auvergne-Rhône-Alpes, toutes activités confondues dans le cas extrême de teneur maximale en méthane. Cependant, la Figure 19 montre par ailleurs que la prise en compte des émissions de méthane liées à la production de biogaz issu des ISDND impacte significativement le taux de fuite en méthane, variant de 0,7% dans le cas du Scénario-Min à 1,2% dans le cas du Scénario-Max. La prise en compte des émissions de méthane liées à la production de biogaz issu des ISDND triple la part des émissions de méthane liées aux activités de production de biogaz en région, en 2018. Le cadastre des émissions de polluants réalisé par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes intègre les émissions de méthane pour la typologie ISDND mais seulement les émissions liées au stockage des déchets (émissions diffuses) et non pas les émissions de méthane liées à l'étape de production de biogaz. Il faut donc prendre en compte les émissions de méthane relative à cette étape.

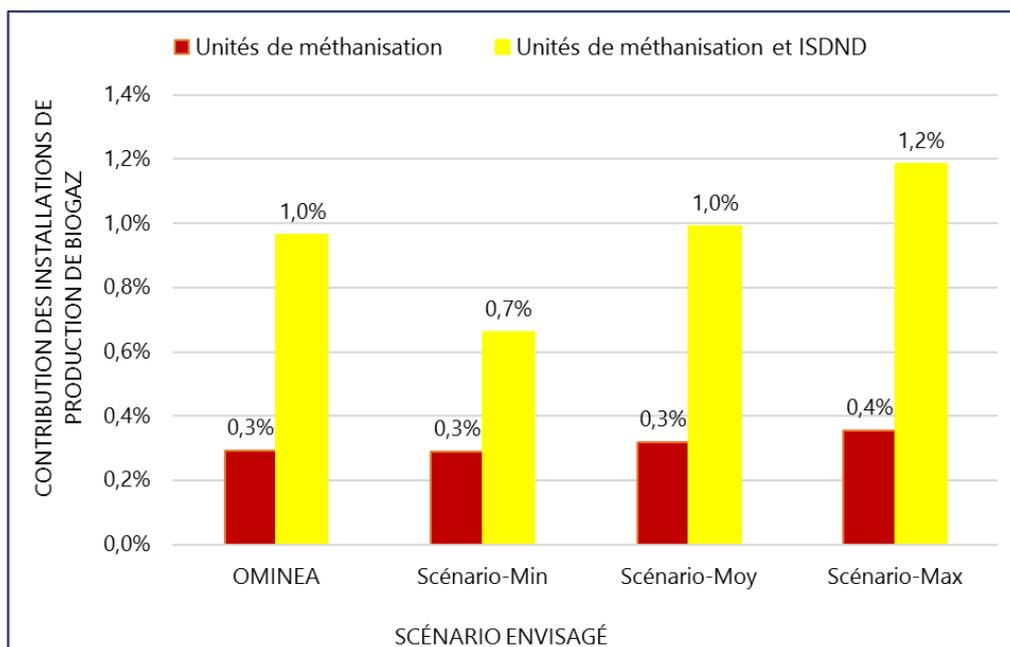


Figure 19 : Contribution, aux émissions de méthane, des installations de production de biogaz pour chacun des scénarios envisagés, en région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2018

L'inventaire des émissions d'Atmo-Auvergne-Rhône-Alpes a été mis à jour en 2020 et la dernière année disponible est 2018. En considérant l'ensemble des secteurs d'activité dans la région (y compris l'activité de production de biogaz qui n'est pas incluse par défaut dans l'inventaire d'émissions d'Atmo-Auvergne-Rhône-Alpes, voir partie 7), **331 182 tonnes de CH₄ ont été émises en 2018** (Figure 20), soit près de 14,7% des émissions totales de méthane au niveau national, toutes activités confondues (activités de traitement des déchets et incinérateurs). La contribution du secteur « Agriculture/sylviculture » est largement prépondérante (61%). Le secteur du « Traitement et élimination des déchets » arrive en seconde position et représente 25% des émissions totales de CH₄. La contribution de l'activité de méthanisation (ISDND incluse) arrive en 6^{ème} position avec **3 161 tonnes en 2018, ce qui représente environ 1% des émissions totales de méthane en région.**

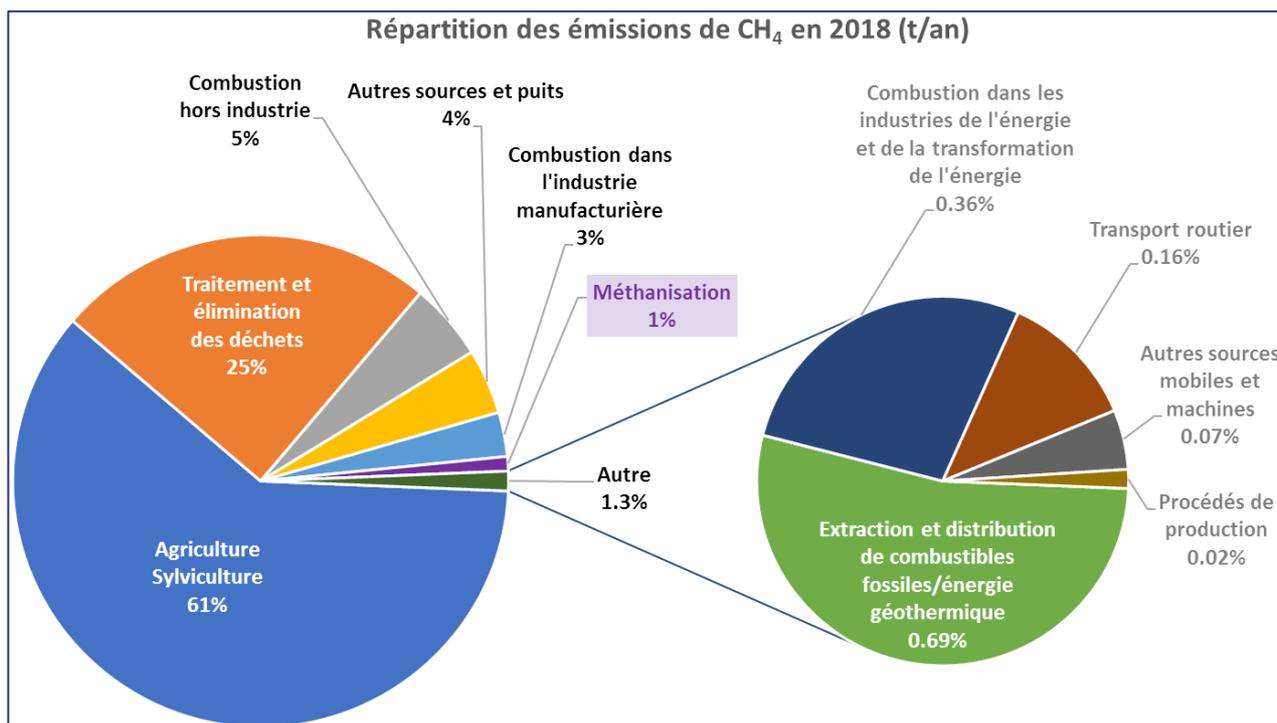


Figure 20 : Répartition des émissions de méthane en 2018 tous secteurs confondus (Inventaire v2020 complété de l'activité production de biogaz)

Avec un débit de production totale de biogaz, toutes typologies confondues (unités de méthanisation et ISDND) sur la région Auvergne-Rhône-Alpes de **160 935 503 m³ en 2018**, cela correspond à un débit spécifique de fuite de 19,6 g_{CH₄} / m³_{biogaz produit} (scénario de référence OMINEA). Ce chiffre n'évolue pas avec les années. Selon les autres scénarios considérés, ce débit spécifique peut varier entre 15 et 24,2 g_{CH₄} / m³_{biogaz produit}. En considérant un pouvoir de réchauffement global du méthane 25 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone (sur 100 ans), ce débit spécifique de fuite de méthane peut varier entre 374 et 605 g_{CO₂éq} / m³_{biogaz produit}. Ces débits spécifiques correspondent à des facteurs d'émissions du méthane. Par ce calcul, nous retombons sur la valeur de référence utilisée pour évaluer les fuites de méthane et qui est celle de 19,65 g_{CH₄}/Nm³_{biogaz produit} du scénario OMINEA.

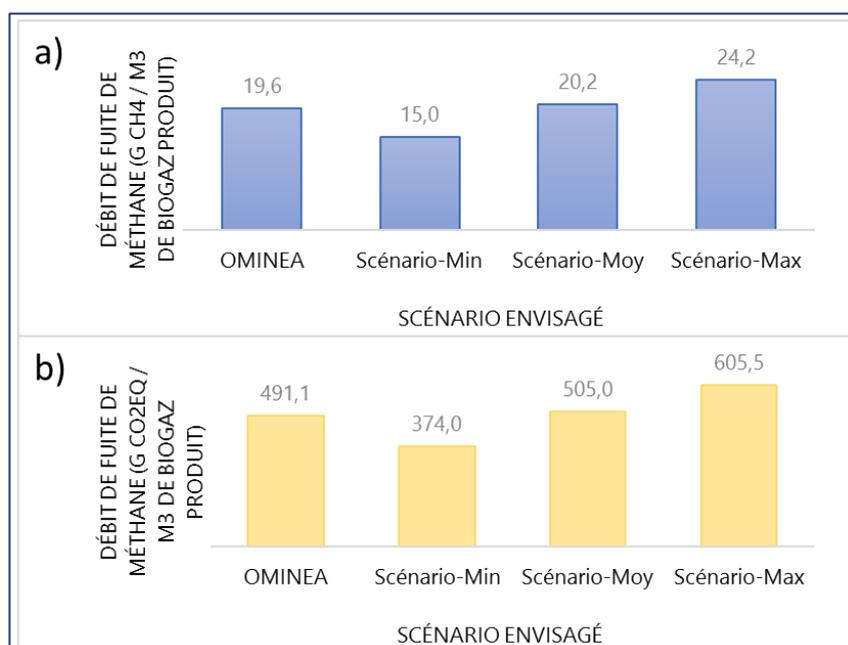


Figure 21 : Débit spécifique de fuite de méthane calculé pour l'année 2018, en fonction des scénarios envisagés : a) en g_{CH₄}/m³ biogaz produit, b) en g_{CH₄}/m³ biogaz produit

5. Campagnes de mesures du méthane

5.1. Objectifs

Deux campagnes de mesures du méthane (CH₄) en air ambiant à proximité de l'unité de méthanisation Méthamoly ont été mises en œuvre, grâce au capteur de méthane acquis en 2015 avec le soutien de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, avec pour objectif principal d'observer les variations de concentrations de ce polluant par rapport aux niveaux standards dans l'atmosphère. D'autres polluants ont également été suivis : l'ammoniac (NH₃), l'hydrogène sulfuré (H₂S) et les particules fines (PM₁₀). L'ammoniac et le sulfure d'hydrogène ont été suivis car ils présentent un potentiel odorant important, ainsi que des enjeux sanitaires avérés, pouvant conduire à des symptômes d'irritations du système respiratoire chez les personnes exposées. Le suivi de ces polluants, en parallèle du méthane, est également motivé par le manque de données sur leurs émissions aux abords d'unités de méthanisation. Les émissions d'ammoniac peuvent être importantes lors des phases de stockage (substrat, digestat), et surtout lors de l'épandage du digestat, et ce indépendamment de l'existence d'un procédé de méthanisation. Par ailleurs, de récentes études soulignent une possible augmentation des émissions « aval » d'ammoniac comparé à un scénario sans méthanisation [19].

L'hydrogène sulfuré est suivi compte tenu des réticences, craintes et doutes exprimés à l'échelle nationale par certains riverains proches d'installations de méthanisation au regard de nuisances olfactives. Les particules en suspension PM₁₀ sont quant à elles ici suivies comme indicateur complémentaire, puisqu'elles peuvent être générées par des gaz précurseurs comme l'ammoniac, notamment en cas d'épisodes de pollution atmosphérique avec une composante agricole. Les particules fines secondaires d'origine agricole (transformation de l'ammoniac en ammonium et réaction, avec les oxydes d'azote principalement émis par le secteur routier) sont connues pour être de taille inférieure à 2,5 µm. Ces particules PM_{2,5} n'étant à ce jour pas pris en compte dans les arrêtés préfectoraux de gestion des épisodes de pollution, les particules PM₁₀ ont été choisies comme indicateur dans le cadre de nos campagnes de mesures ; il est à noter que les particules PM_{2,5} sont contenues dans les résultats de mesure de PM₁₀. Enfin, les paramètres météorologiques ont été mesurés : direction et vitesse du vent, température, humidité.

Une première campagne de mesure a été réalisée **du 08 avril 2021 au 11 juin 2021** dans le village de Saint-Denis-sur Coise, en zone habitée, situé à environ 1 km de l'unité de méthanisation Méthamoly. L'objectif ici est de mesurer les niveaux de concentrations du méthane, dans des situations et conditions définies, en vue d'une surveillance de l'exposition de la population aux émissions environnantes et d'observer si des signaux de méthane provenant de l'unité de méthanisation pouvaient être mesurés. Une seconde campagne de mesures a ensuite été réalisée à environ 50 mètres de l'unité de méthanisation Méthamoly **du 11 juin 2021 au 12 août 2021**, avec pour objectif particulier d'obtenir des informations sur les niveaux de méthane sous influence proche de l'unité de méthanisation (influence industrielle), situation qui sera mise en regard de celle rencontrée dans la première campagne de mesure.

Il est à noter que les mesures de polluants faites dans le cadre de ces campagnes de mesures ont été réalisées en air ambiant et non pas à l'émission de l'installation. Par ailleurs, l'unité de méthanisation Méthamoly étant environnée par des champs agricoles, les niveaux de concentrations de polluants mesurés avec nos capteurs peuvent en être influencés (émissions d'ammoniac lors d'épandage notamment) et ne peuvent être directement reliés à cette unité. Enfin, il est à noter que des engins de chantier (terrassement) en activité étaient présents à proximité de l'unité de méthanisation. Les travaux se trouvaient au Nord Est de la localisation de notre installation de mesures de la seconde campagne de mesure. L'accès à cette zone se trouvait à une dizaine de mètres et le chantier en lui-même à environ 60 mètres.

5.2. Présentation des sites de mesures

Site de mesure en fond rural

Une première campagne de mesures a été conduite sur un parking situé dans le centre du village de la Commune de Saint-Denis-sur-Coise: Le bourg 42140 Saint-Denis-sur-Coise du 8 avril 2021 au 11 juin 2021 (Figure 22).



Figure 22 : Installation d'un dispositif de mesures des polluants (CH_4 , NH_3 , H_2S , PM_{10}) et paramètres météorologiques dans le centre du village de la commune de Saint-Denis-sur-Coise (42)

Site de mesures en proximité industrielle

L'unité de méthanisation Méthamoly est issue d'une initiative d'un collectif de 12 exploitants agricoles des Monts du Lyonnais. Située sur la zone artisanale de la Croix Chartier, sur la Commune de Saint-Denis-sur-Coise (42), elle est opérationnelle depuis mars 2019 et constitue la première unité de méthanisation de typologie **agricole territoriale** en région Auvergne-Rhône-Alpes (Figure 23). Elle a été choisie de manière à accompagner les études de terrain organisées par les instances régionales auprès des projets de méthaniseurs. De taille importante, elle est constituée d'un digesteur de 2 400 m³, d'un post-digesteur de 1 600 m³ et d'une cuve de stockage de digestat avec gazomètre de 3 400 m³ (Figure 23). Elle permet de traiter localement environ 17 000 tonnes de matières organiques par an, constituées majoritairement d'effluents d'élevages provenant de 6 fermes voisines (6 000 tonnes : 1/3 de fumiers et 2/3 de lisiers) et de biodéchets issus du Territoire (IAA, restauration collective : 7 000 tonnes de graisses, soupes de déconditionnement et MIATE³). L'unité permet ainsi de produire :

- du biogaz (contenant 60% de méthane) qui est ensuite valorisé, sur site, en biométhane, destiné à l'injection dans le réseau de distribution de gaz naturel (environ 125 Nm³/h de biométhane produit, contenant plus de 97% de méthane) ; il permet d'alimenter l'équivalent de 1 200 foyers.
- du digestat via un plan d'épandage (15 000 tonnes).

Le fonctionnement de cette unité de méthanisation repose sur un procédé mésophile voie humide, infiniment mélangé ; le temps de séjour des matières est d'environ 35 jours. Les matières entrantes sont stockées, avant méthanisation, dans un bâtiment de réception, mis en dépression avec une extraction et un traitement de l'air par un bio-filtre pour éliminer tout risque de nuisance olfactive.

Il est à noter que l'unité de méthanisation Méthamoly est environnée par des champs agricoles.

³ Matières d'Intérêt Agronomique issues du Traitement des Eaux



Figure 23 : Unité de méthanisation agricole Méthamoly (Saint-Denis-sur-Coise)

5.3. Résultats obtenus

5.3.1. Conditions météorologiques

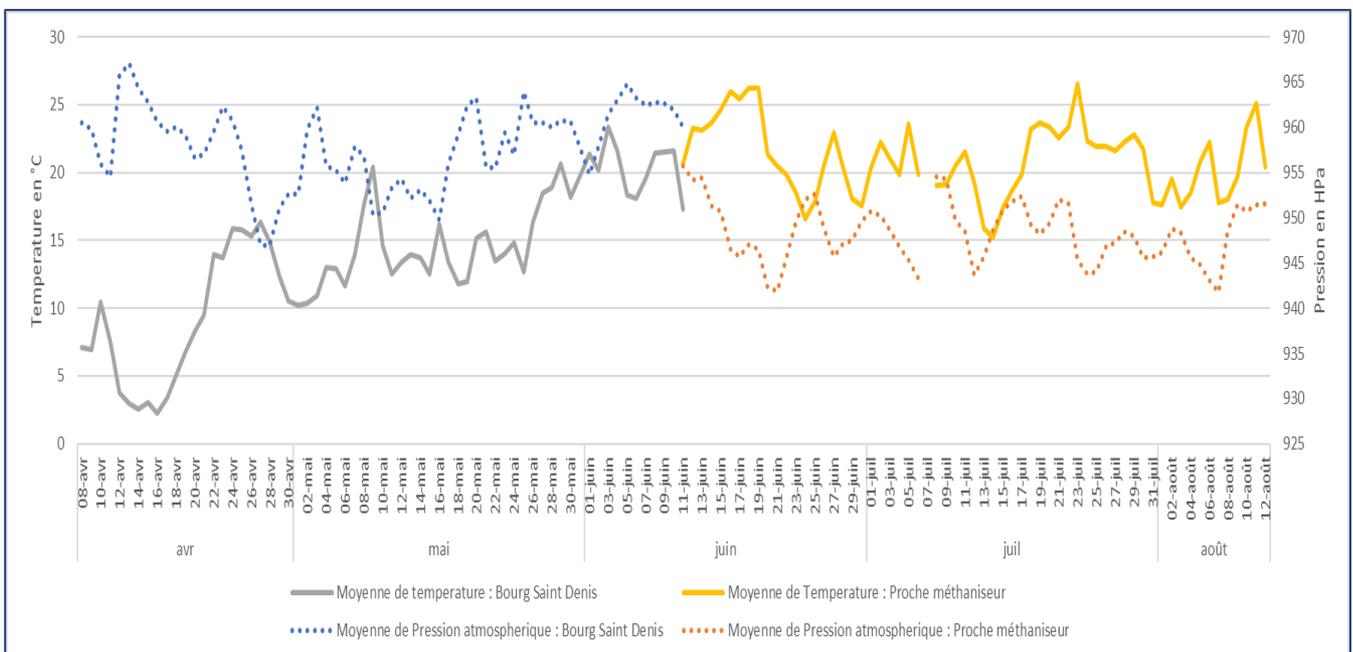


Figure 24 : Données météorologiques

La première période de mesure (du 08 avril 2021 au 11 juin 2021) a démarré avec deux mois plutôt froids, une pluviométrie faible en avril et en excès pour le mois de mai. Le mois de juin a été plutôt doux avec même une vague de chaleur du 12 au 19 juin (plus de 5°C au-dessus des moyennes). En ce qui concerne la pluviométrie, elle est de nouveau excédentaire. Le mois du Juillet a été plutôt frais pour la saison et à nouveau très pluvieux. Le mois d'aout quant à lui a été plus fidèle aux normales de saison.

Les roses des vents réalisées grâce aux mesures météorologiques sur chacun des sites montrent une grande majorité de vents faibles et une prédominance des vents venant de l'ouest dans le bourg de Saint-Denis et de vents plutôt nord-ouest sur le second site.

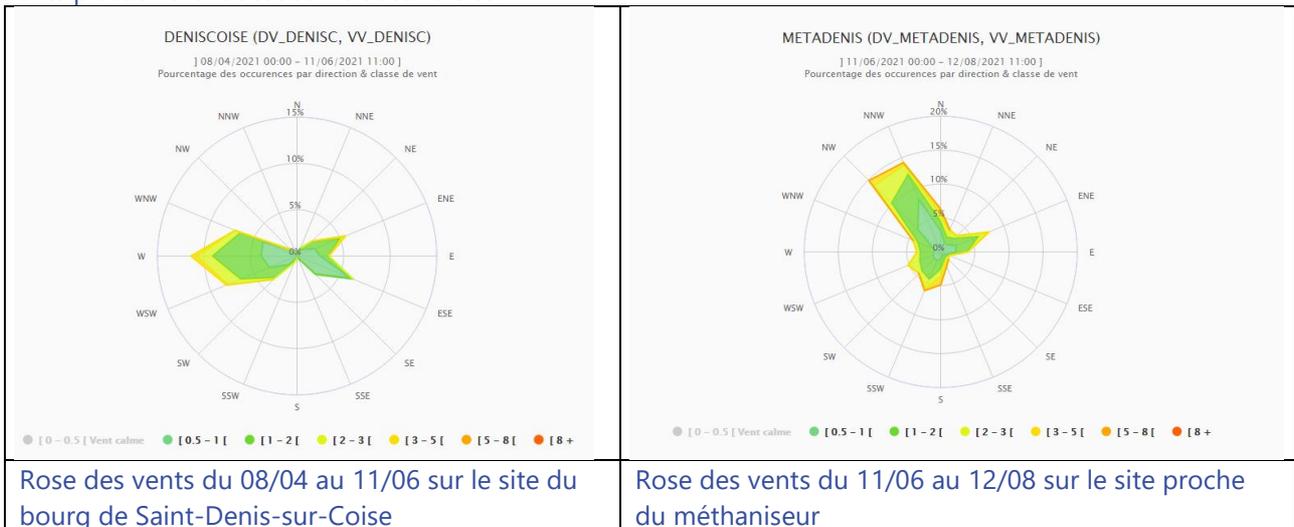


Figure 25 : Rose des vents

Coté pollution aucune vigilance pollution n'a été activée durant les périodes de mesures dans le bassin d'air concerné (Contreforts du massif central).

5.3.2. Les particules fines (PM₁₀)

Les sources d'émissions des particules fines PM₁₀ sont très variées et proviennent à la fois de la combustion de différents matériaux à des fins énergétiques (majoritairement chauffage au bois non performant), du transport routier et d'activités industrielles très diverses.

La réglementation fixe :

- une valeur limite à 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle ;
- un seuil d'information et de recommandations à 50 µg.m⁻³ en moyenne journalière.

Pour la mesure des particules PM₁₀, un TEOM FDMS de la marque Ecomesure a été utilisé. Cet appareil est constitué d'une microbalance à élément oscillant couplée à un module FDMS (Filter Dynamics Measurement System).

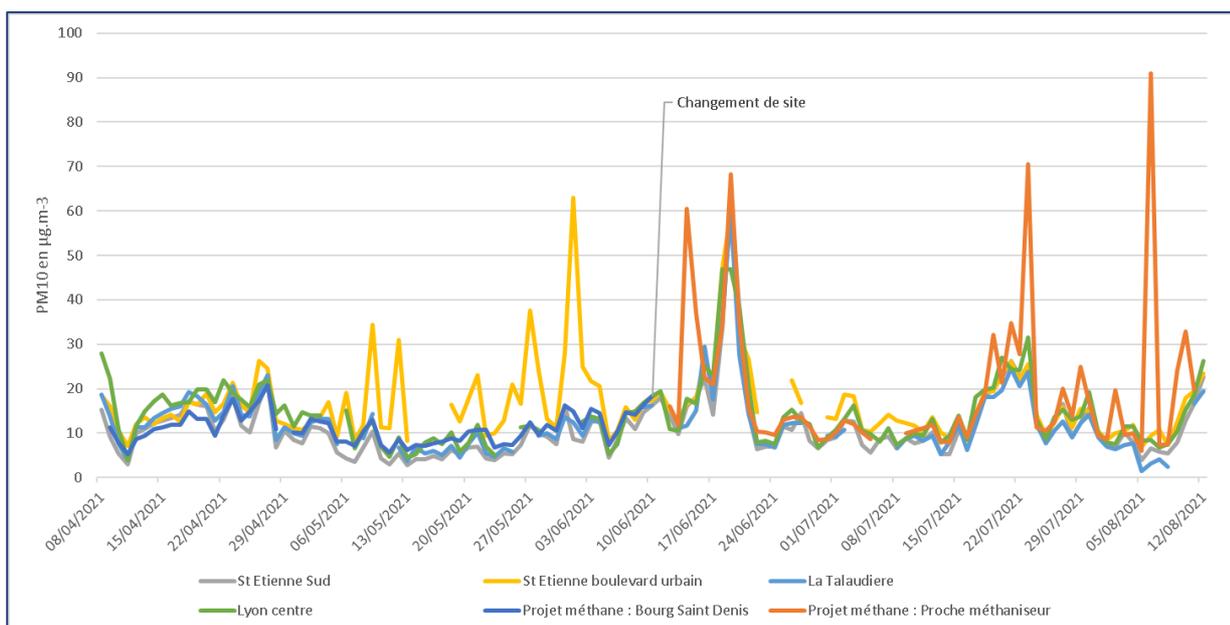


Figure 26 : Evolution temporelle des particules PM₁₀ en données journalières

Tableau 4 : Moyenne des données journalières du 08/04 au 11/06/2021

	Projet méthane : Bourg Saint Denis	St Etienne Sud (site urbain de fond)	St Etienne boulevard urbain (site trafic)	La Talaudière (site périurbain de fond)	Lyon centre (site urbain de fond)
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	11,12	9,36	16,93	11,24	12,84
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	20,80	21,80	63,00	23,00	22,20

Tableau 5 : Moyenne des données journalières du 11/06 au 12/08/2021

	Projet méthane : Proche méthaniseur	St Etienne Sud	St Etienne boulevard urbain	La Talaudière	Lyon centre
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	19,5	13,1	16,5	13,0	14,8
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	91,0	63,7	59,3	59,9	46,9

Il y a très peu de différences entre les sites, les moyennes sont proches et les concentrations bien corrélées au niveau de la variation temporelle. Les niveaux de concentrations en particules fines sont homogènes entre les sites urbains de fond et les stations sous influence directe du trafic à l'exception de pics ponctuels.

Sur le site proche du méthaniseur quatre dépassements du seuil d'informations ont été relevés durant la période, cependant la présence de travaux de construction proche de la station de mesure expliquent probablement ces pointes de concentrations. Les chantiers sont connus pour émettre des particules de taille plutôt élevée dont les PM10 (envol de particules, émissions des engins de chantiers). Une mesure de particules plus fines en PM2.5 aurait permis probablement de s'affranchir de l'influence du chantier.

5.3.3. Méthane

D'après les réseaux internationaux qui mesurent les concentrations de méthane dans l'air ambiant en continu dans toutes les régions du globe, celles-ci augmentent en permanence, avec 1869 ppb en 2018 contre 1835 en 2015 soit une hausse de 34 ppb.

Les mesures réalisées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sont exprimées, comme pour les autres polluants classiquement mesurés, en $\mu\text{g.m}^{-3}$ (facteur de conversion : 1869 ppb équivalent à $1246 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Les mesures ont été effectuées avec un analyseur de marque « Picarro ». Le principe de mesure de cet appareil est optique : la concentration de gaz est déterminée à partir de l'absorption du faisceau laser en utilisant la loi de Beer Lambert.

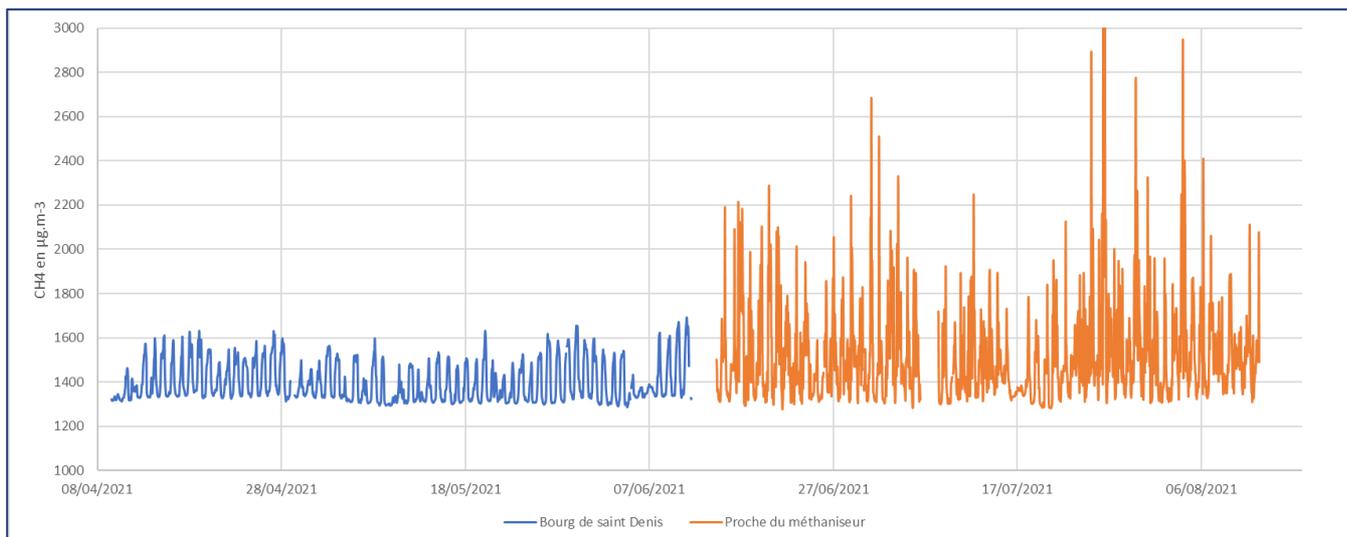


Figure 27 : Mesures du méthane sur les deux sites de mesures (en données horaires)

Tableau 6 : Moyenne des données horaires, site Bourg Saint Denis du 08/04 au 11/06/2021, site proche méthaniseur du 11/06 au 12/08/2021, Beaulieu du 10/11/2017 au 11/12/2017, Rageade du 28/09/2017 au 16/10/2017 et Grenoble les frênes du 7/11/2016 au 12/06/2017

	Projet méthane : Bourg Saint Denis	Projet méthane : Proche méthaniseur	Beaulieu (site industriel) 2017	Rageade (site rurale) 2017	Grenoble les frênes (site urbain) 2016
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	1398	1523	1594	1369	1320
Ecart type ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	90	282	674	106	54
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	1693	5681	8617	1918	1540

En comparaison avec les données mesurées en 2017, deux comportements différents apparaissent sur nos sites de mesures, les mesures du bourg se rapproche d'un site de fond urbain ou rural, avec des valeurs proches des valeurs habituellement mesurées en air ambiant, sans variations importante, ni pics. Sur la période considérée, elles ne semblent donc pas influencées par une source de méthane et l'activité de Méthamoly.

Les mesures proches du méthaniseur sont plus élevées, avec des pointes et variations plus fortes (écart-type élevé). En observant la rose des pollutions, représentant les concentrations moyennes de méthane en fonction de la direction du vent, il est constaté que la valeur maximale observée durant la période est associée à un vent provenant de l'ouest : les masses d'air provenaient donc de la direction de l'unité de méthanisation.

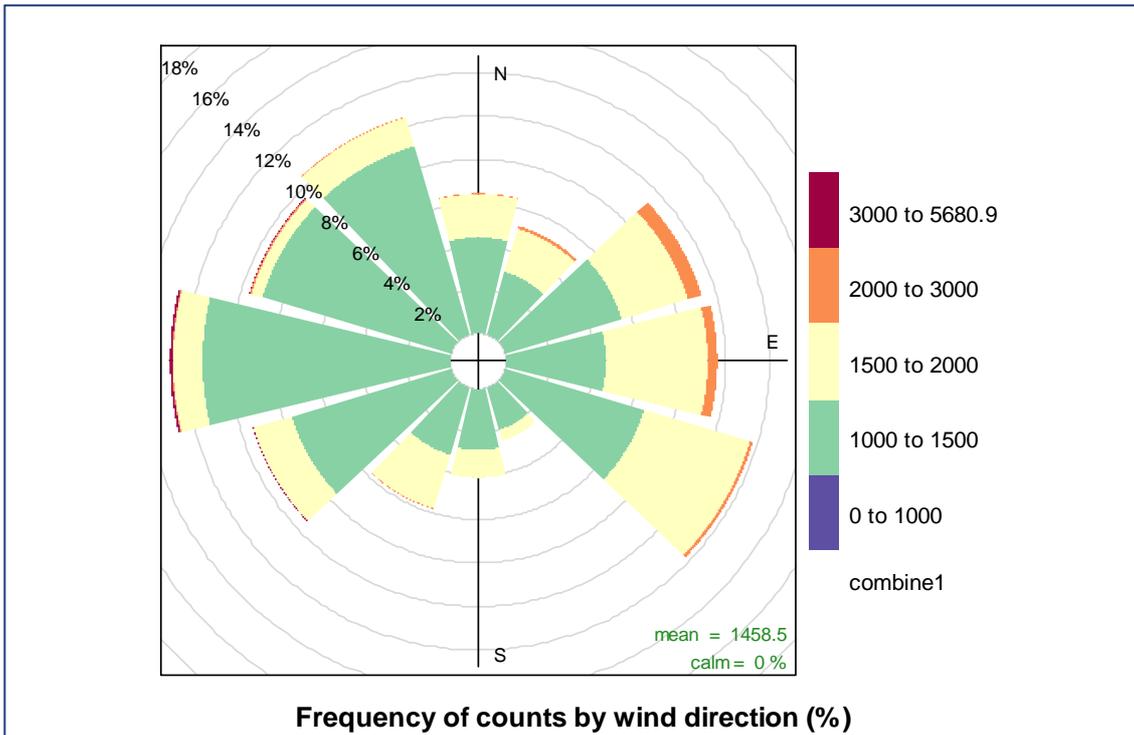
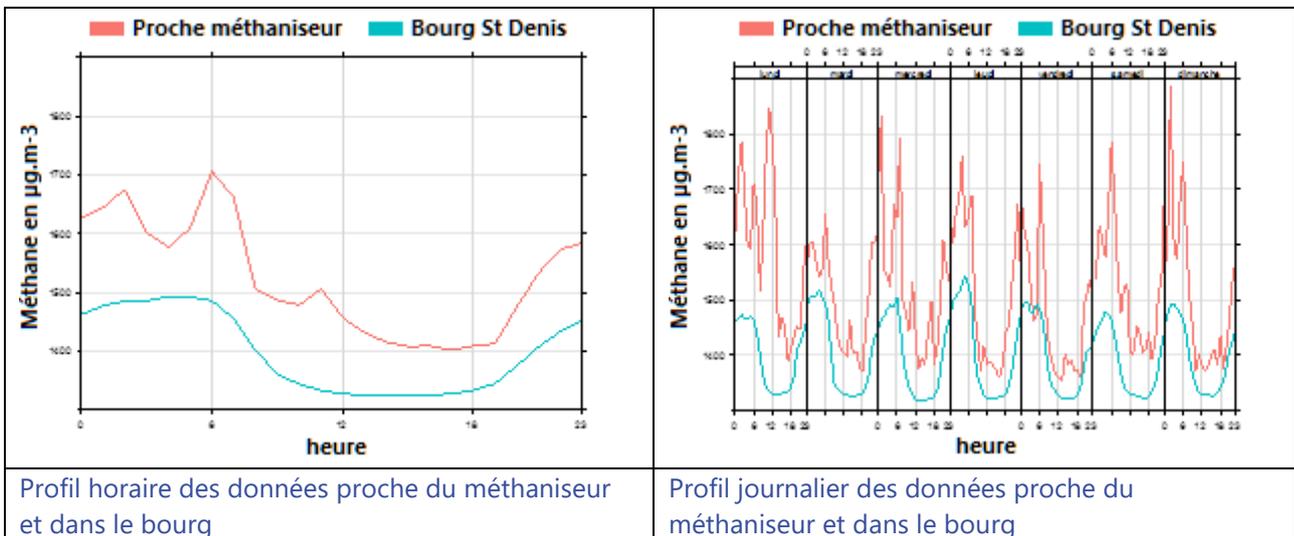


Figure 28 : Rose des polluants Site proche du méthaniseur

L'observation des profils horaires et journaliers des deux sites de mesure (Bourg et proche du méthaniseur) montre que les valeurs les plus fortes sont mesurées entre 20h et 8h. Le profil observé pour le site proche de l'unité de méthanisation est différent des profils relevés lors de la première campagne de 2017 (Beaulieu en proximité industrielle). En effet, les valeurs sont élevées tous les jours de la semaine et plutôt de 20h à 8h. Sur le site de Beaulieu, dont les mesures ont été effectuées en 2017, les pics sont principalement observés en fin de journée et pas le dimanche. Cela peut être dû aux jours de fonctionnement de l'unité de méthanisation mais aussi à la saison de mesure, plus froide (novembre 2017).



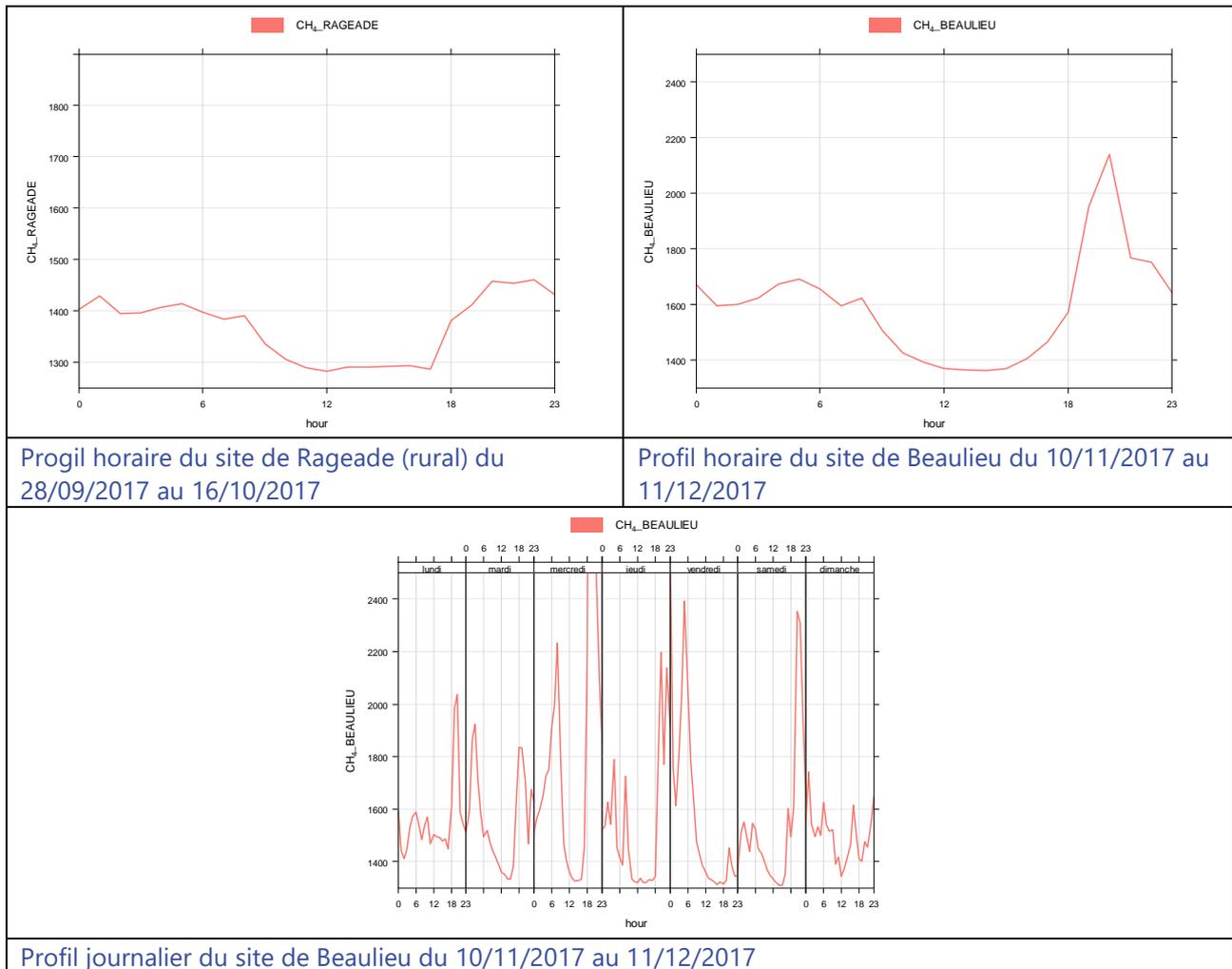


Figure 29 : profils horaires et journaliers

5.3.4. Ammoniac

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour l'ammoniac en air ambiant. Il existe cependant des valeurs toxicologiques de référence (VTR), une valeur de référence pour la vie entière (concentration estimée à laquelle aucun effet néfaste sur la santé, non cancérigène, n'est susceptible d'apparaître pour une exposition continue des populations, y compris les plus sensibles, par inhalation, pendant toute la durée de la vie) :

- Valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour une exposition au NH₃ par inhalation (ANSES, 2018) :
 - VTR pour une exposition aiguë (sur une durée de 24 heures) : 5900 µg/m³ ;
 - VTR Pour une exposition subchronique et chronique (quelques jours à un an) : 500 µg/m³
- Concentration de référence de l'EPA pour une vie entière (INERIS, 2012) : 100 µg.m⁻³

Des gammes de concentrations habituellement rencontrées dans l'environnement sont également communiquées par de nombreux guides ou études qui peuvent servir d'éléments de comparaison en l'absence de cadre réglementaire bien défini :

- Les niveaux de concentrations observées dans des milieux non influencés par les activités humaines sont de l'ordre de 0,3 à 3 µg.m⁻³ (INRA, 2002) ;
- L'OMS IPCS (OMS-IPCS, 1986) donne une teneur de l'ammoniac de 3,5 à 4,2 µg.m⁻³ pour les sites ruraux, et de l'ordre de 17,5 µg.m⁻³ pour les cités urbaines. Certains facteurs modifient largement les concentrations attendues comme l'activité industrielle mais aussi entre autres l'élevage intensif, le traitement des terres agricoles par des engrais azotés (INERIS, 2012). Une concentration allant jusqu'à

1500 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a déjà été mesurée dans un enclos où se trouvait parké un cheptel important (INERIS, 2012).

L'influence de ces facteurs se retrouve notamment dans des études réalisées en France présentées ci-dessous (liste non exhaustive).

- Etude d'Atmo Occitanie en milieu industriel (Atmo Occitanie, 2019)
 - Teneurs hebdomadaires maximales comprises entre 50 et 57 $\mu\text{g.m}^{-3}$
 - Concentration moyenne annuelle égale à 12 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2018 contre 93 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2015 à 50m de l'usine ;
 - Concentration moyenne annuelle égale à 9 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2018 contre 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2015 à 300m de l'usine ;
 - Concentrations moyennes annuelles inférieures à 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 600m et 750m de l'usine ;
 - Concentrations de l'ordre de 2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ dans la zone habitée la plus proche à 3km de l'usine
- Etude d'Atmo Sud au sein d'habitations sous influence industrielle (Atmo Sud, 2018) :
 - Concentration moyenne de l'analyse en continu (quelques mois) : 8 $\mu\text{g.m}^{-3}$
- Etudes d'Atmo Auvergne à Saint Eloy-les-Mines (milieu industriel, fabrication d'isolant)
 - Concentration maximale de l'analyse en continu (sur 15mn) : 535,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (coïncidant avec un dysfonctionnement industriel entraînant un arrêt de certaines unités)
 - Moyenne des mesures hebdomadaires réalisées par tubes passifs (pendant quelques semaines) : de 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 25 $\mu\text{g.m}^{-3}$
- Etude d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes en zone périurbaine de Lyon sous influence d'une vaste zone de cultures (Air Rhône-Alpes, 2016) d'avril à octobre
 - Concentrations moyennes mensuelles de 3 à 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$
 - Concentration moyenne : 8 $\mu\text{g.m}^{-3}$
 - Concentration maximale horaire : 121 $\mu\text{g.m}^{-3}$

Comme pour le méthane les mesures ont été effectuées un analyseur de marque « Picarro ».

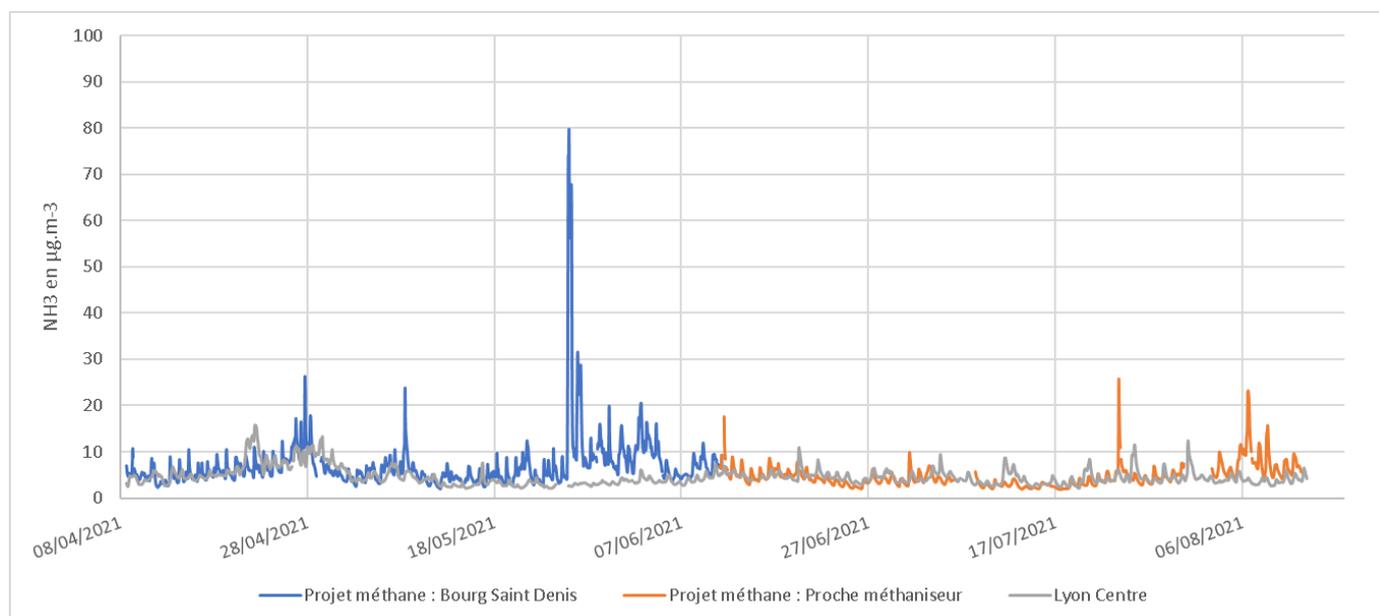


Figure 30 : mesure d'ammoniac durant les deux campagnes de mesures

Tableau 7 : moyenne des mesures horaires, du 08/04 au 12/08/2021

	Projet méthane : Bourg Saint Denis	Projet méthane : Proche méthaniseur	LYON Centre
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	7,02	4,69	4,60
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	79,3	25,5	15,8

Il apparaît que les concentrations horaires de NH₃ mesurées sur le du bourg de Saint Denis sont supérieures à celles mesurées sur le site urbain de fond de Lyon Centre, avec des variations plus importantes au cours des journées, et des données plus fortes à la fin du mois de mai. Cette différence de niveaux de concentration dans l'air met en évidence l'influence de l'environnement proche de la remorque sur les concentrations ambiantes. Il est probable de mesurer l'influence d'une activité agricole proche, l'épandage de toute les types de fertilisants étant autorisé durant cette période d'après le calendrier de la Draaf Auvergne-Rhône-Alpes.

Sur le site proche du méthaniseur seuls un ou deux pics ressortent, les données sont proches de celles de Lyon centre.

Néanmoins, les niveaux sont tout de même assez modérés avec des moyennes journalières faibles

On peut également souligner que les concentrations ne dépassent jamais la concentration maximale horaire mesurée sur un site influencé en périphérie de Lyon (Air Rhône-Alpes, 2016).

5.3.5. H₂S

Comme pour le méthane les mesures ont été effectuées avec un analyseur de marque « Picarro ».

Les mesures effectuées sur les deux sites sont inférieures à la limite de détection de l'appareil.

Le H₂S a été mesuré pour observer d'éventuels effets odorants du méthaniseur. Il apparaît donc que le dispositif de filtration pour limiter les odeurs lors du stockage des intrants est efficace au regard de ces résultats. Par ailleurs, le village de Saint-Denis-sur-Coise ne semble pas faire l'objet de plaintes de riverains vis-à-vis de cette activité de méthanisation.

5.4. Conclusion

La première mise en œuvre des mesures de méthane (CH₄), d'ammoniac (NH₃), d'hydrogène sulfuré (H₂S) et de particules fines (PM₁₀) proche d'une unité de méthanisation a permis de recueillir des premiers éléments concernant les niveaux de concentration environnant ces sites industriels.

- Les données de particules fines sont corrélées avec celles effectuées sur le reste de la région. Elles ont été probablement influencées par un chantier proche sur les mesures en proximité du méthaniseur.
- Les données de méthane sont plus élevées en proximité du méthaniseur, la moyenne de ce site est de 1523µg.m⁻³, supérieure de 125 µg.m⁻³ par rapport au site de fond situé dans le bourg de Saint-Denis-sur-Coise avec un cycle jour nuit très marqué.
- Les données d'ammoniac quant à elles se sont avérées plus fortes sur le site de fond qu'en proximité du méthaniseur.

Afin de consolider ces premières mesures, il faudrait disposer de périodes de mesures plus longues afin de pouvoir étudier plus finement les facteurs corrélés avec la hausse des concentrations et également avoir des données de fonctionnement de l'unité de méthanisation et des travaux agricoles environnants (heures de fonctionnement, pannes, livraison, épandage agricole, Etc.).

6. Les enjeux environnementaux liés à la filière méthanisation

6.1. Périmètre

Les réticences, craintes et doutes exprimés par certains riverains, les préoccupations climatiques, l'autonomie énergétique, l'épuisement des ressources, Etc. sont autant d'enjeux qui ont largement contribué à la modernisation des procédés de méthanisation et à l'émergence de nouveaux modes de valorisation

énergies/matières. En dépit des efforts alloués pour faire face à tous ces enjeux, la filière méthanisation souffre encore, à tort ou à raison, d'une mauvaise image. La région Auvergne-Rhône-Alpes se mobilise en favorisant notamment le dialogue avec les exploitants d'unités de méthanisation de la région afin de mieux environner les enjeux de cette filière. Dans le cadre de notre étude, il s'agira de dresser un état des lieux des enjeux et gains environnementaux associés à la filière méthanisation en sondant la littérature. D'autres enjeux à caractère économique, politique, stratégique, sanitaire, ou autres sont énoncés dans un souci de compréhension globale mais ne constituent pas en eux-mêmes un état des lieux. **Il s'agira autant que possible de comprendre les éventuels gains environnementaux du fait de l'implantation d'unités de méthanisation.** Il s'agira ainsi de comparer un **scénario de base** « avec méthanisation » à un **scénario de référence** « business as usual » qui considère le traitement des déchets selon les étapes de stockage puis d'épandage. D'autres scénarios de références sont également utilisés dans la littérature ; ils correspondent à des situations où les déchets transitent vers d'autres voies de valorisations, qu'elles soient conventionnelles ou renouvelables. Dans le périmètre de cette étude, il n'est pas question de dresser un inventaire exhaustif des avantages et inconvénients du fait de l'implantation d'unités de méthanisation, ni même de réaliser une analyse de cycle de vie (ACV). Il est à noter qu'un état des lieux des enjeux environnementaux liés à l'implantation d'unités de méthanisation est très complexe à dresser [20]. A ce jour, aucune donnée globale n'existe ; divers organismes s'évertuent à évaluer les gains environnementaux propres à une partie seulement de la filière méthanisation. Le **scénario de base** ne reflète souvent qu'une partie de la filière, et les **scénarios de référence** sont quant à eux très spécifiques. Le scénario de référence est en général choisi en fonction du périmètre d'étude retenu dans le scénario de base. Par exemple, si le scénario de base comprend une phase de production/utilisation de biométhane en vue d'une injection réseau, le scénario de référence pourra être celui de la production/utilisation du gaz naturel. Dans cet exemple, les ACV représentent la meilleure option pour comparer des scénarios entre eux. Cependant, la définition du périmètre d'études d'un scénario peut différer d'un auteur à l'autre ; certains auteurs peuvent en effet considérer ou non une étape dans la gestion des déchets, peuvent ou non considérer le caractère biogénique des émissions de CO₂, Etc. La prise en compte de toute la filière depuis le transport des déchets jusqu'à l'utilisation finale énergie/matière tenant compte de tous les paramètres n'est à ce jour pas réalisée ou très peu détaillée. En générale, les quelques ACV rencontrées dans la littérature accessible sont réalisées sur un cas concret d'une unité de méthanisation (typologie, taille, intégration ou non des différentes étapes de méthanisation, un seul mode de valorisation, valorisation agricole lorsqu'elle est réalisée, Etc.). Les enjeux environnementaux peuvent alors être abordés sous l'angle de différents **indicateurs environnementaux** : typologie des unités de méthanisation, différentes étapes du procédé, bilans de gaz à effet de serre, bilan carbone, valorisation énergie/matière, Etc. Il est donc très difficile et complexe d'aborder tous ces points dans notre présente étude. L'état des lieux sur les enjeux et gains environnementaux de la filière méthanisation sera abordée dans la présente étude sous l'angle des **impacts directs (ou induits)** et des **impacts indirects (ou évités)** liés à l'implantation d'une unité de méthanisation. Basé sur la littérature accessible, des éléments d'informations et de compréhensions seront apportés pour décrire, pour chacun de ces impacts, les gains environnementaux sous les aspects : bilan net des émissions de polluants à l'atmosphère et bilan net agricole. Cette structuration des enjeux environnementaux ne se base sur aucune méthodologie reconnue dans la littérature, la seule faisant foi restant à ce jour l'ACV, même si elle reste encore perfectible, mais que nous ne traiterons pas dans le cadre de cette étude.

6.2. Enjeux environnementaux

Sur certains aspects, il n'y a pas de doute : la méthanisation est une filière prometteuse d'un point de vue environnemental à différents niveaux. Elle permet une meilleure gestion locale des déchets, une production d'énergie renouvelable, la production d'une matière fertilisante pouvant se substituer partiellement aux engrais chimiques, et contribue à réduire les émissions de certains polluants, notamment le méthane. La méthanisation permet une valorisation matière (digestat) et une valorisation énergétique (électricité, chaleur, biométhane). En se faisant, elle permet de valoriser par exemple les sous-produits des industries et les déchets verts, de créer des emplois, Etc. La comparaison d'un scénario de base « avec méthanisation » à un scénario de référence peut se faire selon différentes approches pour lesquelles des « **indicateurs environnementaux** » doivent être clairement identifiés. La liste des indicateurs environnementaux peut être longue car chaque situation

rencontrée peut être particulière. Il est ainsi nécessaire de définir le périmètre d'étude d'évaluation des enjeux et gains environnementaux en définissant ces indicateurs environnementaux :

- Scénario : définir le scénario de base comme point de comparaison avec un scénario de référence. Par exemple : comparer le scénario de base avec un scénario de référence « business as usual ».
- Typologie : définir la typologie des scénarios à comparer. Par exemple, le compostage avec l'enfouissement. Définir également les caractéristiques de l'installation (taille, kWh, Etc.).
- Substrats : définir les intrants pour chaque scénario envisagé, la taille de l'installation, Etc.
- Etape de la méthanisation : définir quelles sont les étapes clés qui seront prises en compte dans l'évaluation environnementale. Par exemple : s'intéresser uniquement à l'étape de valorisation du biogaz.
- Voie technologique : définir par exemple le type de voie de valorisation du biogaz (électricité, chaleur, biométhane) et définir un scénario de référence pertinent, par exemple : comparaison entre les scénarios valorisation du biogaz en électricité (électricité d'origine renouvelable) au scénario production d'électricité nucléaire.
- Impacts environnementaux. Par exemple, faire une comparaison entre un scénario de base et un scénario de référence en regardant les impacts induits et évités par la filière méthanisation sur le changement climatique, sur les phénomènes d'acidification et d'eutrophisation, sur le smog, Etc.
- Paramètres environnementaux. Par exemple, dresser un bilan environnemental de la filière méthanisation en prenant en considération un ou plusieurs des paramètres environnementaux suivants : CH₄, N₂O, NH₃, CO₂, azote, Etc.
- Autres.

Du choix nécessaire de tous ces indicateurs environnementaux peut dépendre le bilan environnemental. Ce prérequis est donc nécessaire. Par ailleurs, La singularité de certaines unités de méthanisation, de par la nature des mix d'intrants, Etc., rend difficile le choix d'un scénario de référence pertinent ; ceci peut se traduire par une sous-évaluation ou une surévaluation des gains environnementaux associés à l'implantation d'une unité de méthanisation. Bien souvent, certains impacts environnementaux et paramètres environnementaux ne sont pas pris en considération, principalement par manque de données dans la littérature ; par exemple, le smog est trop peu considéré, le monoxyde de carbone trop peu documenté, les nuisances olfactives trop peu étudiées, Etc. Il est à noter que deux unités de méthanisation de même typologie peuvent présenter des bilans environnementaux différents en raison de la nature différente des intrants (mix de déchets différents), de la voie de valorisation envisagée, de la taille de l'exploitation, Etc. Le manque de détails dans la littérature accessible, la pluralité des situations rencontrées alimentent le doute autour du caractère vertueux de la filière méthanisation : d'un côté, l'impact sur les émissions de polluants, la qualité de l'air et le changement climatique, la préservation des ressources, Etc. et de l'autre côté les phénomènes d'acidification, d'eutrophisation, Etc. Il est donc nécessaire de :

- Situer les enjeux environnementaux en identifiant un scénario de référence.
- Dresser un inventaire aussi exhaustif que possible des impacts induits mais également des impacts évités du fait de l'implantation d'une unité de méthanisation.
- De définir le périmètre d'études en identifiant les indicateurs environnementaux clés.

6.3. Dynamiques des émissions atmosphériques

La méthanisation des déchets s'inscrit dans une logique d'économie circulaire en permettant de produire un biogaz, considéré comme une énergie renouvelable ; pouvant être valorisé de différentes façons, et un digestat qui est considéré comme une valeur fertilisante valorisable en agriculture. L'utilisation d'énergie renouvelable issue de la valorisation du biogaz permet de réduire l'utilisation d'énergies fossiles (ex. : chaleur, carburant) et contribue ainsi à une réduction des émissions de GES comparé à un scénario de référence sans voie de valorisation énergétique/matière. En lien avec cette logique d'économie circulaire, les flux entre les acteurs (collecte, production, utilisation, Etc.) s'organisent autant que possible en boucles courtes, favorables à une réduction d'un certain nombre de postes tels que le transport.

Une étude ADEME de 2015 (Metha QA-GES) a mis en lumière les principales étapes du procédé de méthanisation pour lesquelles les émissions atmosphériques d'un certain nombre de polluants étaient les plus importantes (Figure 31) [19].

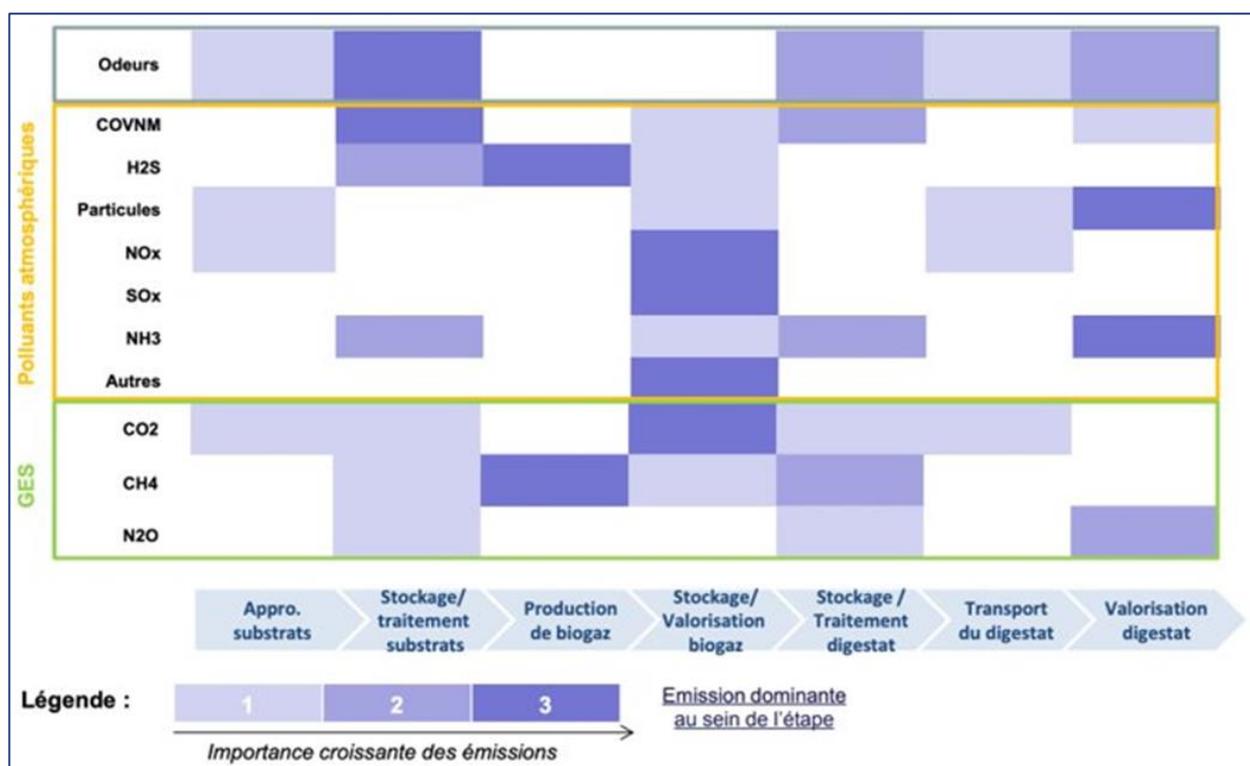


Figure 31 : Dynamiques des émissions atmosphériques d'unités de méthanisation (Source ADEME [19])

Il est intéressant de constater sur cette figure que l'étape la plus émettrice potentiellement de méthane est celle de production de biogaz, contrairement à ce qu'indiquait le guide de bonnes pratiques de l'ATEE en 2011 qui n'avait identifié aucune émission pour cette étape. Ceci indique que des efforts d'acquisition en connaissances sur les émissions atmosphériques liées à la filière méthanisation doivent se poursuivre.

6.3.1. Dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ est principalement issu de la combustion des énergies fossiles mais également de la biomasse dont la méthanisation. Les émissions de CO₂ interviennent à différents niveaux (voir Figure 31). Sur cette figure, il est important d'apporter une précision quant à la nature des émissions de CO₂ lors des différentes phases de la méthanisation : les émissions de CO₂ peuvent être d'origines fossiles (ex. étape d'approvisionnement) ou d'origine biogéniques (ex. : étape valorisation du biogaz). Ce point est important dans l'évaluation des gains environnementaux en termes de bilan net CO₂ puisque le CO₂ d'origine biogénique n'est pas comptabilisé comme contribuant aux émissions de GES, contrairement au CO₂ d'origine fossile. Néanmoins, la non-comptabilisation des émissions de CO₂ biogéniques dans les gains environnementaux reste encore un sujet de controverse, surtout dans les ACV ; c'est un point crucial car la comptabilisation des émissions de CO₂ biogéniques peut contrebalancer les impacts vertueux de la méthanisation ; tout est une question de vitesse de relargage par rapport à la vitesse de fabrication de la matière végétale. Ramené à la production d'1 m³ de biogaz, la quantité de CO₂ émise à l'atmosphère a été évaluée à 6 kg dans l'absolu ; dans le même temps, ce même m³ de biogaz produit permet d'éviter le rejet de 2,3 kg de CO₂ en relatif (c'est-à-dire en comparaison avec un scénario de traitement des déchets sans voie de valorisation) [21]. Il est entendu que ces chiffres dépendent fortement de la nature et composition des déchets, de la typologie des unités de méthanisation, Etc.

6.3.2. Méthane (CH₄)

Le méthane contenu dans le biogaz est un gaz à effet de serre, son captage permet ainsi d'éviter des scénarios antérieurs où le biogaz peut être émis à l'atmosphère : émissions au cours du stockage de lisier, émissions diffuses en centre de stockage, Etc [22]. La valorisation énergétique du biogaz permet également une substitution aux énergies fossiles.

6.3.3. Protoxyde d'azote (N₂O)

Des oxydes d'azotes sont émis durant certaines étapes de la méthanisation dont le protoxyde d'azote (N₂O) qui est un composé très problématique compte tenu de son pouvoir de réchauffement global élevé (Figure 31). Les émissions de N₂O peuvent être à la fois directes et indirectes. Les émissions indirectes de N₂O résultent de la volatilisation du NH₃ durant les phases de post-traitements (éventuels), stockage et épandage du digestat [23]. Tout comme les émissions de NH₃, celles de N₂O sont très difficiles à évaluer précisément alors que ces composés contribuent de manière importante à l'évaluation des gains environnementaux.

6.3.4. Hydrogène sulfuré (H₂S)

Le biogaz produit avant épuration contient entre 0 et 0,5 % de H₂S (sulfure d'hydrogène) [22]. Les risques se situent au niveau de la préfosse de stockage des substrats (émission de H₂S en cas de mélange non contrôlé de certaines matières), du local technique et des canalisations. Cependant, le H₂S étant corrosif pour les moteurs, le biogaz doit faire l'objet d'une épuration qui permet de réduire la teneur en H₂S de 90 à 99 %. La réglementation prévoit aussi des valeurs limites pour le H₂S dans le biogaz en sortie d'installation, et des dispositifs de mesure de la quantité de polluants dans le gaz sont également installés.

6.3.5. Les digestats de méthanisation

Les étapes liées à la gestion des digestats peuvent être considérées comme des étapes clés au regard notamment des enjeux environnementaux. Dans le cadre d'une ANR (Agence Nationale pour la Recherche), Solagro a réalisé en 2020 un important état des lieux sur les digestats et leurs procédés de post-traitement dans l'objectif d'actualiser les données nationales d'inventaires liés à la gestion des digestats [24], en se limitant aux intrants d'origines agricoles et ménagers. Leur état des lieux confirme les principales conclusions trouvées dans la littérature : la qualité des digestats dépend majoritairement des intrants méthanisés, sans toutefois pouvoir corrélérer entre eux les qualités de chacun. Cette étude a par ailleurs tenté d'apporter des éléments de réponses à certaines questions encore sous le feu de controverses telles que les émissions gazeuses lors de l'étape d'épandage, le comportement des digestats lors du retour au sol. Cette étude a permis de montrer qu'un post-traitement des digestats permet de concentrer les éléments constitutifs. L'utilisation des digestats bruts ou liquides sont souvent perçus/considérés comme néfastes d'un point de vue environnemental comparé aux digestats post-traités. Toutefois, l'étude de Solagro indique que les digestats bruts et liquides seraient finalement intéressants d'un point de vue économique et que ces aspects mériteraient d'investiguer davantage à la sécurisation de l'épandage de ces types de digestats.

Certaines étapes, si elles ne sont pas mises en œuvre ou mal exécutées peuvent impacter significativement les gains environnementaux d'une unité de méthanisation. La plupart s'accordent à dire que la valorisation des digestats est nécessaire dans un schéma vertueux de valorisation des déchets.

Production du digestat

Digestion

La méthanisation de la matière organique, notamment celle des déchets agricoles (déjections d'élevages, Etc.) permet de réduire la pollution azotée en améliorant la valeur fertilisante de ces déchets [21]. Ces matières, si elles n'avaient pas été méthanisées, auraient probablement été dirigées vers des filières de traitement pas toujours vertueuses d'un point de vue environnemental ; elle permet donc en ce sens de réduire la quantité de déchets. Cependant, le stockage du digestat génère des dégagements gazeux malodorants ; une étape de compostage est alors souvent réalisée. Une étude a montré que la méthanisation des déchets permettait de **réduire les émissions de NH₃ de près de 20% en comparaison à un scénario de référence (stockage conventionnel ou compostage)** [25].

Valorisation du digestat

Le digestat doit faire l'objet d'un plan d'épandage, sauf s'il subit une post-étape de compostage, car il peut avoir un impact environnemental, dépendant fortement d'un certain nombre de paramètres tels que la qualité en amont de la matière méthanisée, le procédé d'épandage, Etc. L'épandage du digestat permet par exemple d'avoir un bien meilleur amendement qu'il n'est possible d'avoir avec un épandage d'un digestat brut. Un rapport de 2018 montre que l'épandage du digestat n'entraîne pas plus de dispersion des nutriments dans les eaux ni de risque sanitaire que les engrais minéraux ou les engrais organiques [26]. Les principaux éléments à caractère fertilisant sont l'azote, le phosphore et le potassium (NPK). La digestion anaérobie de la matière traitée dans un digesteur de méthanisation produit un digestat dont l'espèce N se trouve principalement sous forme ammoniacale NH_4^+ (forme minérale) dont une fraction relativement faible est assimilable par les plantes, le reste pouvant se volatiliser, subir une nitrification, ou autres [27]. La volatilisation a majoritairement lieu pendant les phases de post-traitements (éventuels), stockage et épandage du digestat. L'espèce ammoniacale NH_4^+ se retrouve dans l'air ambiant et contribue ainsi à la formation in fine de particules. Grâce aux progrès technologique, la volatilisation de l'espèce ammoniacale est en générale assez limitée grâce à l'utilisation de procédés d'épandages spécifiques (pendillards par exemple). En revanche, l'azote ammoniacale NH_4^+ peut facilement subir une nitrification conduisant à l'espèce nitrate NO_3^- qui est une espèce facilement assimilable par les plantes mais en même temps facilement lessivable pouvant ainsi conduire à une pollution des eaux (acidification, eutrophisation). Ce dernier point nécessite donc d'être vigilant sur la quantité d'azote présente dans le digestat avant épandage afin d'éviter, en sortie, une trop forte concentration de NO_3^- dans les eaux. Une étude de l'ADEME a montré par ailleurs que les teneurs en N ammoniacal étaient fortement corrélées à la nature des intrants, la méthanisation des eaux usées urbaines et celle de déjections animales conduisant à une forte teneur en azote ammoniacale [22]. Par ailleurs, la teneur en azote ammoniacal dépend très fortement de la nature du digestat. Elle est très importante dans les digestats bruts et liquides, les digestats solides contenant majoritairement l'azote sous forme organique. Attention cependant à la qualité globale du digestat de ces deux types de déchets méthanisés, le digestat issus de la digestion de déchets agricoles contient en général beaucoup moins de composés indésirables que ceux issus de la digestion des eaux usées urbaines [28]. Néanmoins, l'utilisation du digestat contribue à réduire le recours aux engrais chimiques. Il est à noter que l'évaluation environnementale par une ACV de l'étape de production d'un digestat est difficile à réaliser. Ceci est dû à la grande variabilité du digestat produit, fonction du procédé de méthanisation mis en œuvre, de la nature des intrants, Etc. Par ailleurs, la comparaison de cette étape entre un scénario de base « avec méthanisation » et un scénario de référence est difficile en raison notamment du fait qu'il est difficile de comparer le digestat avec une autre matière en termes de propriétés fertilisantes et amendantes.

6.4. Analyse des gains environnementaux associés à la filière méthanisation

6.4.1. Impacts induits et impacts évités

Les gains environnementaux liés à l'implantation d'une unité de méthanisation peuvent être évalués de différentes façons, la plus répandue étant l'ACV. Bien souvent, les **impacts directs (ou induits)** et les **impacts indirects (ou évités)** sont identifiés et évalués en comparaison avec un scénario de référence. L'ADEME les définit comme suit :

- **Facteur d'émission « impact »** (valeur algébrique positive) (Scope 1) : également appelé **impacts directs ou induits**, il « intègre l'ensemble des émissions GES induites, depuis la collecte jusqu'aux opérations finales de valorisation et de traitement du déchet, y compris les opérations de recyclage permettant de produire une matière première secondaire (par exemple du plastique recyclé) ». Il s'agit des émissions directes correspondant aux émissions de GES physiquement produites par une activité (ex. : émissions de CH_4 sur des sites d'enfouissement des déchets).
- **Facteur d'émission « émissions évitées »** (valeur algébrique négative) : également appelé **impacts indirects**, « traduit quant à lui les bénéfices escomptés du fait des opérations de valorisation matière et/ou des opérations de valorisation énergétiques : ces bénéfices sont calculés en considérant que la matière recyclée (l'énergie valorisée) remplace une matière (énergie) produite de manière conventionnelle et qu'on évite donc les impacts de cette production conventionnelle. Les émissions

évitées correspondent à une quantification des bénéfices de valorisation matière et de valorisation énergétique. Dans le cas particulier du compostage et du stockage, elles peuvent également intégrer la part de carbone biogénique du déchet considérée comme n'ayant pas été dégradée à un horizon de 100 ans » [29]. Les émissions indirectes (ou évitées) peuvent être de deux natures :

- Les émissions indirectes liées à l'énergie (Scope 2) : cela correspond à la consommation d'énergies produites ailleurs mais consommées par les activités de l'exploitation (ex. : consommation d'électricité).
- L'ensemble des autres émissions indirectes (Scope 3) : cela correspond aux émissions non émises directement sur site, mais induites par l'activité (ex. : transport des déchets).

L'implantation d'une unité de méthanisation a des impacts directs en termes d'émissions atmosphériques pouvant avoir lieu à chaque étape de la méthanisation (Figure 31), la nature et la concentration des polluants pouvant par ailleurs très fortement varier d'une étape à l'autre :

- Pendant la phase de production de biogaz : émissions de méthane et d'hydrogène sulfuré (ces polluants font l'objet de contrôle de mesure) [19]. Cette étape est consommatrice d'électricité, dont le bilan GES, si elle est d'origine nucléaire, est de 6-12 g CO₂/kWh (chiffre par ailleurs souvent controversé).
- Pendant l'étape de valorisation du biogaz : émissions atmosphériques qui dépendent de la voie de valorisation envisagée. Par exemple, la valorisation par combustion du biogaz rejette de nombreux polluants dans l'air, tels que le dioxyde de carbone (CO₂), les dioxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO_x). Ces rejets font néanmoins l'objet de contrôle de mesure avec l'existence de valeurs limites. Cette phase d'épuration du biogaz est également consommatrice d'électricité, dont le bilan GES, si elle est d'origine nucléaire, est de 6-12 g CO₂/kWh.
- Pendant les étapes de stockage/traitement du substrat et du digestat, ainsi que pendant la phase d'épandage du digestat : des émissions importantes d'ammoniac (NH₃) sont relevées dans le scénario de base mais également dans le scénario de référence « business as usual ». Le post-traitement et la valorisation du digestat sont maintenant plutôt bien documentés mais l'évaluation des émissions de NH₃ le sont beaucoup moins [30]. Certaines études ont indiqué que les émissions de NH₃ durant les éventuels post-traitements de déchets méthanisés, notamment le compostage et la valorisation du digestat, pouvaient être plus élevées que celles pouvant avoir lieu dans un scénario de référence « business as usual » en raison de la transformation, dans le digesteur, de l'azote organique en azote minéral [31] [32] [33]. C'est également le cas pour le protoxyde d'azote (N₂O). Ces émissions de NH₃ contribuent par ailleurs fortement aux odeurs lorsque les unités de méthanisation contiennent des étapes de stockage/traitement du substrat et stockage/post-traitement du digestat. Ce constat dépend cependant de la typologie et des caractéristiques des unités de méthanisation ; des émissions de NH₃ et d'odeurs étant par exemple plus importantes pour des unités de typologie agricole. Les émissions de NH₃ ayant lieu pendant la phase de valorisation du digestat sont responsables des phénomènes d'acidification et d'eutrophisation et contribuent fortement au changement climatique (voir figure ci-dessous) [20] et références citées.
- Pendant les phases de collecte (transport) des déchets, du transport du digestat : émissions de GES et contribution à la déplétion des énergies fossiles, par exemple en consommant du diesel. C'est aussi pour cette raison que le développement de la filière méthanisation, en lien avec l'approche économie circulaire, tend à favoriser les cycles courts.

Les impacts indirects s'intéressent aux émissions atmosphériques issues des modifications que peut entraîner la méthanisation sur les activités d'une exploitation et sur les activités au niveau territorial. Dans ce cas, il faut définir la typologie de l'installation. Une grande partie des unités de méthanisation, notamment celles de typologie agricole, qui valorisent le biogaz sous forme de chaleur ou en cogénération, utilisent la chaleur produite pour chauffer des activités existantes liées à l'exploitation (ex. : chauffage des bâtiments, Etc.) ; dans ce cas, la chaleur utilisée vient se substituer à la chaleur d'origine fossile initialement utilisée. La chaleur issue de la valorisation du biogaz peut néanmoins également être utilisée pour chauffer des activités qui n'existaient avant pas sur l'exploitation (ex. : installation de serres chauffées, Etc.) ; dans ce cas, ces nouvelles activités peuvent émettre des polluants atmosphériques qu'il convient de prendre en compte dans le calcul environnemental.

6.4.2. Analyse des gains environnementaux associés à la filière méthanisation

Un certain nombre d'études sur les enjeux environnementaux, basées majoritairement sur une analyse ACV, sont répertoriées dans la littérature. Les études les plus pertinentes sont discutés dans ce qui suit.

Etude de 2015

Une étude de 2015 a recensé une intéressante bibliographie sur les enjeux environnementaux de la filière méthanisation [20]. Récente, cette étude est cependant sur certains points déjà un peu dépassée, compte tenu des avancées technologiques de la filière méthanisation, ce qui en fait par ailleurs un cas d'étude intéressant ici. Cette étude identifie la contribution de chaque étape du procédé de méthanisation aux impacts environnementaux directs : impacts sur le changement climatique, impacts sur l'acidification, impacts sur l'eutrophisation et impacts sur l'occupation des sols (Figure 32). Les étapes liées à la gestion du digestat contribuent de manière significative aux impacts sur le changement climatique et contribuent presque exclusivement aux impacts d'eutrophisation et d'acidification. La valorisation du biogaz en biométhane et sa combustion, ainsi que les fuites de méthane dans le digesteur contribuent de manière significative aux impacts sur le changement climatique et sur le smog.

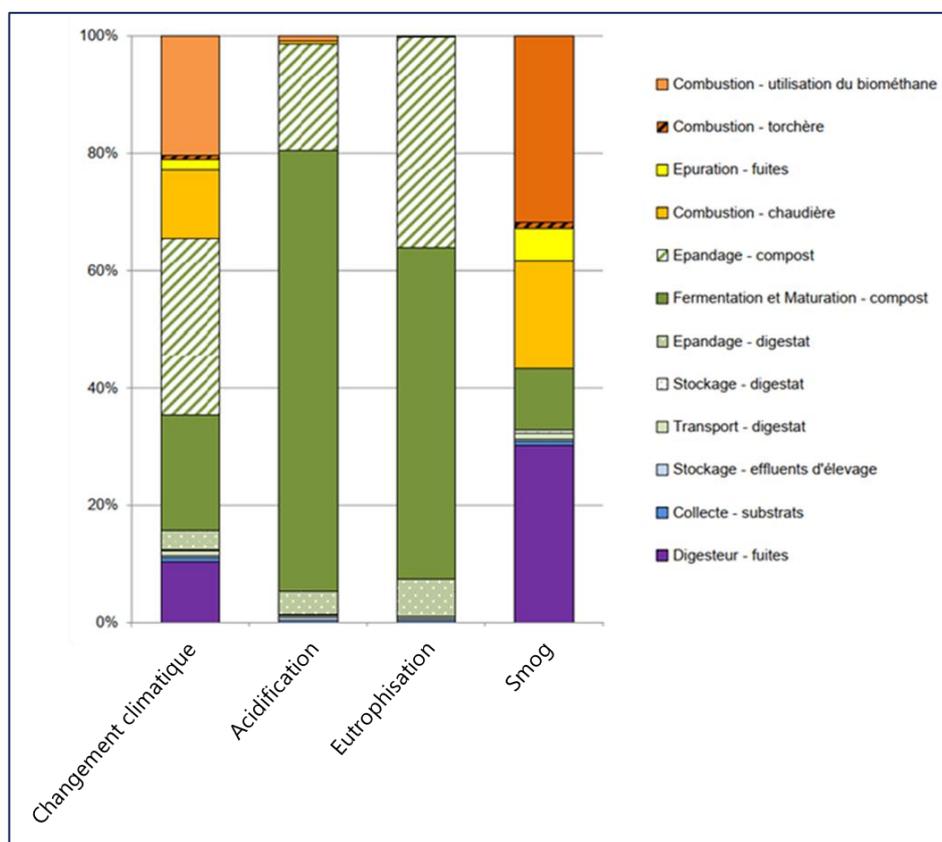


Figure 32 : Impacts générés par la méthanisation, par poste d'émissions (source : [14])

La valorisation du digestat, la valorisation du biogaz et la production de biogaz (fuites de CH₄ au niveau du digesteur) sont, par ordre d'importance, les étapes les plus impactantes au regard du changement climatique. Ceci semble indiquer que les efforts d'atténuation des impacts sur le changement climatique doivent se porter en priorité sur ces principaux postes émetteurs de GES. La Figure 33, réalisée à partir des données de cette étude, montre les polluants responsables des différentes contributions relatives aux impacts environnementaux directs tels que décrits dans leur étude [20]. La catégorie « Autres » correspond à différents autres polluants tels que le CO, NO_x, SO₂. Dans cette étude, le CO₂ biogénique a été comptabilisé. Il contribue majoritairement au changement climatique. Les étapes qui concernent le digestat contribuent majoritairement à l'acidification et à l'eutrophisation. Ce résultat si marqué peut poser question compte tenu du fait que les auteurs n'ont comptabilisé que les effets néfastes du digestat sur ces deux impacts environnementaux directs, par manque

de données dans la littérature sur les effets bénéfiques du digestat. En fait, le digestat considéré dans cette étude était un digestat brut qui n'était pas valorisé. Depuis 2015, des progrès ont été réalisés en termes de valorisation du digestat et tout porte à croire que la valorisation du digestat est la clé qui permettra de contrebalancer les effets néfastes. Toutefois, la valorisation du digestat amène de nouveaux procédés consommateurs en énergie, qu'il faudra finalement comptabiliser dans le bilan environnemental. Il y a un intérêt à utiliser l'énergie produite par la valorisation du biogaz pour alimenter le fonctionnement des différents équipements de la méthanisation, dont les équipements permettant la valorisation des digestats. Finalement, le CH₄ contribue au changement climatique mais surtout au smog.

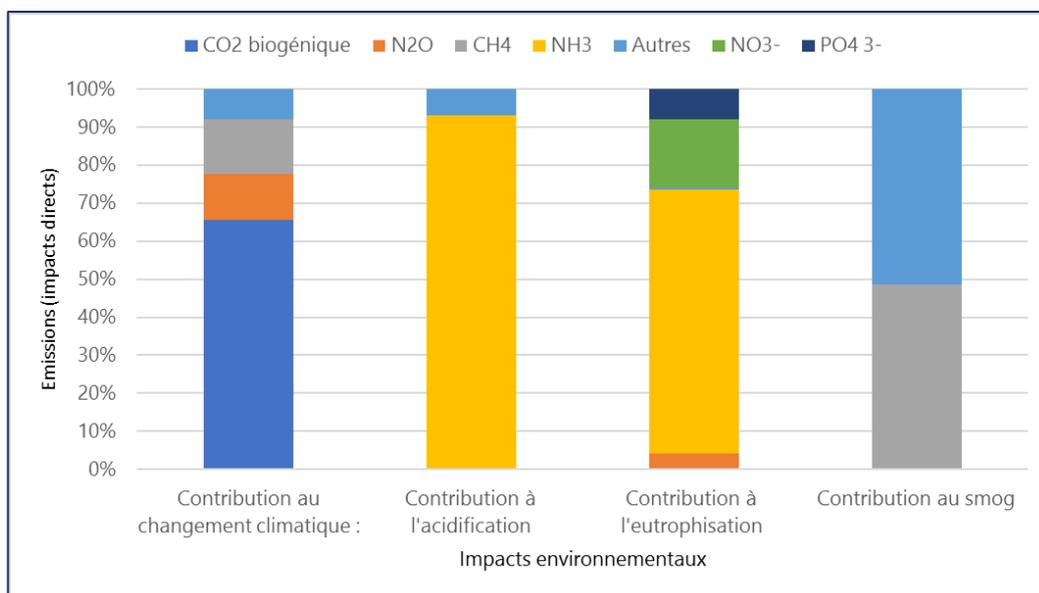


Figure 33 : Contribution des principaux paramètres environnementaux (CO₂ biogénique, N₂O, CH₄, NH₃, NO₃⁻, PO₄³⁻, autres) (source issue de [14])

Etudes de l'ADEME/GrDF de 2017 et de 2020

Une étude GrDF de 2017, copilotée avec l'ADEME et réalisée par les cabinets Quantis et ENEA Consulting, a évalué le contenu carbone du biométhane sur la base d'une ACV [34]. Elle a listé les principaux impacts directs (ou induits) et indirects (ou évités) de la filière méthanisation en comparant 5 typologies d'unités différentes (ISDND, OMr, STEU, Territoriale, Agricole) mais en considérant uniquement, dans la filière globale, une seule voie de valorisation énergétique, celle du biométhane en injection réseau [34]. L'injection dans le réseau de gaz naturel du biométhane issu de la valorisation du biogaz constitue une voie favorisée aux niveaux national et régional. Les impacts induits sont repris dans le Tableau 8 et correspondent aux émissions de GES générées, calculées en g CO₂eq/kWh PCI biométhane, par les différentes étapes de la voie de valorisation par injection réseau.

Tableau 8 : Impacts induits et impacts évités liés à l'implantation de certaines typologies d'unités de méthanisation (voie de valorisation considérée : injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel) [21]

Filière	Impacts directs (induits)	Impacts indirects (évités)
ISDND	Épuration, injection, distribution et combustion du biométhane	Torchage du biogaz
OMr	<ul style="list-style-type: none"> - Avec tri : Transport, prétraitement de la FFOM - Sans tri : Transport, Traitement Mécano Biologique (TMB) des OMr, valorisation des résidus ferreux et résidus de tri - Méthanisation - Valorisation du digestat 	<ul style="list-style-type: none"> - Compostage des FFOM - Production de matière ferreuse vierge - Production d'engrais minéraux - Réduction du pouvoir méthanogène des déchets

	- Épuration, injection, distribution et combustion du biométhane	
Territoriale & agricole	<ul style="list-style-type: none"> - Production de nouveaux substrats associés à la méthanisation (CIVEs et culture dédiées) - Transport et stockage des différents substrats - Prétraitement des substrats le nécessitant (ex : hygiénisation des biodéchets) - Méthanisation - Valorisation du digestat (transport, stockage couvert, et épandage) - Épuration, injection, distribution et combustion du biométhane 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du pouvoir méthanogène des intrants (notamment effluents d'élevage) - Compostage de biodéchets et déchets verts - Production d'engrais minéraux évitée par l'utilisation du digestat
STEU	Épuration, injection, distribution et combustion du biométhane	Torchage du biogaz

Les facteurs d'émission moyens par filière de production de biométhane ont été évalués et repris dans le Tableau 9. Comme indiqué par les auteurs, les chiffres donnés n'ont pas vocation à « comparer les différentes filières d'injection de biométhane en vue de cibler celles qui seraient à l'origine d'une réduction plus importante des émissions de GES, mais bien d'évaluer l'impact moyen de la production de biométhane en France ». Compte tenu des impacts nets totaux et de la part de chaque filière, un total de 23,4 gCO₂ eq/ kWh PCI biométhane a été obtenu ; ce chiffre indique qu'**1 kWh PCI de biométhane produit en France, injecté dans le réseau et consommé (résidentiel, tertiaire) émet des GES qui représentent en moyenne 23,4 g CO₂ eq** sur l'ensemble des filières valorisant, à l'échelle nationale, le biométhane en injection réseau.

Tableau 9 : Emissions de GES des différentes filières d'injection du biométhane en France par filière (hors mix de répartition) [34]

Filière	Impacts nets totaux (g CO ₂ eq/kWhpci biométhane)	Part de la filière dans le mix prospectif considéré à l'horizon 2023	Impacts nets totaux de la filière (g CO ₂ eq/kWhpci biométhane)
ISDND	- 35,6	4%	- 1,424
OMr	- 4,8	6%	- 0,288
Territoriale & agricole	+ 35,1	81%	+ 28,431
STEU	- 36,4	9%	- 3,276

Cette étude montre que les émissions totales nettes du biométhane produit en France injecté dans le réseau de gaz naturel et consommé (résidentiel et tertiaire) est de **23,4 g CO₂eq / kWh PCI**, seulement. Cette valeur représente un facteur d'émission global qui comprend à la fois les émissions de GES liées à la production du biométhane (impacts directs), mais également les émissions de GES évitées par la méthanisation (impacts indirects : ex., réduction des émissions de GES liées au traitement des effluents d'élevages, réduction d'émissions liées à l'utilisation du digestat à la place d'engrais industriels). Comparé à un scénario de référence, cette valeur est presque dix fois inférieure à celle du gaz naturel (227g CO₂eq / kWh PCI) [13] mais comparable à celles des énergies renouvelables (électrique et thermique), confortant ainsi l'intérêt du développement de la filière méthanisation en injection réseau. Ceci tient en particuliers à la notion de cycle court du carbone pour lequel les émissions de CO₂ issues de la combustion du biométhane sont considérées comme biogéniques. Bien que communément utilisée, cette affirmation reste encore dans un flot de controverse. Cette étude pointe également du doigt, même si ce n'était pas son objectif, un bilan net des émissions de GES plus important avec les unités de méthanisation de typologies territoriale et agricole. Ce sont même les deux seules typologies de cette étude montrant un bilan des émissions de GES qui soit positif, c'est-à-dire un bilan où les impacts induits

sont plus néfastes pour l'environnement que ne le sont les impacts évités. Cette étude est questionnable au regard du positionnement stratégique de la filière méthanisation, à l'échelle nationale et régionale, qui promeut davantage les typologies agricoles et favorisent l'injection réseau, au détriment des ISDND. Les auteurs recommandent même de « favoriser le captage et l'injection du biométhane des installations pour les filières ISDND et STEU, qui produisent du biogaz de façon systématique » [34].

L'ADEME n'a finalement pas retenu cette valeur pour des raisons d'inadéquation méthodologique avec la Base Carbone® de l'ADEME : incompatibilité avec la logique de construction des facteurs d'émissions de la Base Carbone®. En effet, seules les émissions nettes doivent être prises en compte dans les émissions calculées dans le cadre d'un Bilan Carbone® ; les émissions évitées ou compensées ne doivent donc pas être déduites des émissions. En cela, il faut comprendre que les émissions évitées doivent être reportées séparément car elles sont un gain pour l'environnement et ne peuvent donc pas être soustraites d'un bilan carbone. Notons que l'outil *DIGES* développé par l'ADEME permet uniquement de calculer un bilan des émissions de GES des installations de digestion anaérobie et ne prend pas en compte tous les impacts environnementaux et tous les paramètres environnementaux. Par ailleurs, cet outil prend en compte à la fois les impacts induits et les impacts évités. Tout dépend donc de l'objectif que l'on se fixe. Si l'objectif est d'estimer un bilan environnemental dû à l'implantation d'une unité de méthanisation, alors les impacts induits et évités doivent être considérés mais si l'on raisonne uniquement du point de vue bilan carbone (prise en compte uniquement des GES), alors seuls les impacts directs sont considérés. Une autre étude a donc été réalisée, aboutissant en 2020 à un nouveau facteur d'émission de **44,1 g CO₂eq/ kWh PCI** [35]. Cette dernière valeur traduit l'impact GES induit par la production d'un kWh de biométhane, contrairement à la valeur de 23,4 gCO₂eq / kWh PCI qui traduisait l'impact global de la filière de méthanisation et injection, intégrant impacts induits et impacts évités en termes de GES apportés par cette filière.

Etude ADEME/SOLAGRO (projet MethaLAE) de 2019

Les impacts indirects de la méthanisation sur la qualité de l'air ne sont traités dans la littérature que de manière partielle, leur quantification demeurant un sujet encore peu documenté. Les problématiques de GES et de polluants atmosphériques sont prises en compte notamment dans le projet « MethaLAE » (coordonné par Solagro) [36]. Le projet MethaLAE visait à objectiver les changements positifs et négatifs induits par la présence de 46 exploitations agricoles variées parmi 6 typologies différentes : compostage domestique, compostage partagé, compostage industriel, méthanisation à la ferme (en injection et en cogénération) et méthanisation Territoriale non agricole. En termes d'impacts directs, cette étude a comparé, par la méthode ACV, les impacts environnementaux de différents scénarios de traitement biologique par compostage ou par méthanisation des déchets de cuisine et de table (DCT) des ménages et de la restauration collective. Cette inter-comparaison a permis de montrer que la filière méthanisation présentait la contribution la plus importante en termes d'impact sur les indicateurs environnementaux : changement climatique, acidification, et eutrophisation. La comparaison entre la méthanisation à la ferme et la méthanisation Territoriale non agricole a permis de montrer que la première était moins énergivore, contribuant ainsi à une meilleure réduction des émissions de GES (-15%). Les émissions de CH₄ au niveau du digesteur, les émissions de NH₃ liées à l'épandage du digestat, l'énergie nécessaire au fonctionnement des équipements de l'unité de méthanisation contribuent aux impacts négatifs sur l'environnement de la filière méthanisation. En termes d'impacts indirects, la comparaison entre les unités de méthanisation et le compostage indique que les impacts évités sont bien plus importants que le compostage, en raison des quantités évitées d'engrais liées à la valorisation des digestats et de l'énergie valorisée (biogaz). La comparaison entre la méthanisation à la ferme avec cogénération et la méthanisation Territoriale non agricole a montré que la première contribuait le plus aux impacts évités sur le changement climatique (par la valorisation de l'azote des digestats), sur l'eutrophisation (par la valorisation du phosphore des digestats). Les pertes de méthane contribuent majoritairement à l'impact sur le changement climatique. Ce résultat doit être corrélé à celui obtenu par d'autres auteurs qui ont montré que le méthane était deuxième contributeur derrière le CO₂ biogénique [20].

Etude ADEME 2019 :

L'ADEME a réalisé une étude en 2019 portant sur les impacts environnementaux de filières de traitements biologiques des déchets alimentaires : compostages et méthanisations [37]. Cette étude vise à identifier les intérêts environnementaux potentiels de solutions alternatives au stockage et/ou incinération des déchets de cuisine et de tables (DCT). L'analyse environnementale, via une ACV (analyse de cycle de vie), s'est penchée sur

3 types de compostage comme voie de valorisation agronomique et 2 types d'unités de méthanisation (Territoriale non agricole, à la ferme) comme voie de valorisation matière et énergie. Les impacts induits et évités ont été évalués. Cette étude indique que les impacts induits sont générés au niveau de la soupape de sécurité du digesteur (émission de biogaz et donc de CH₄) ainsi que pendant la phase d'épandage du digestat (NH₃, N₂O). Les impacts évités sont générés du fait de la valorisation du digestat comme amendement de substitution aux engrais chimiques. L'analyse ACV a montré que l'unité de méthanisation à la ferme présentait un impact sur le changement climatique moins néfaste (moins de perte en méthane) que l'unité Territoriale non agricole, que sa consommation d'électricité et la contribution de l'étape du transport était moindre. L'impact environnemental global dépend fortement de l'étape d'épandage du digestat (émissions de N₂O et NH₃) et des émissions de CH₄. Cette étude rappelle que le taux de fuite moyen en méthane de 5% utilisé dans de nombreuses études peut s'avérer faux et qu'il est avant tout fortement dépendant du type d'installation ; un taux de fuite supérieur à 5% génèrerait un impact néfaste sur le bilan environnemental (et inversement). Cette étude souligne également, comme nous l'avons rappelé dans notre précédente étude [12], que de bonnes pratiques d'épandages permettent un meilleur bénéfice environnemental. Enfin, cette étude souligne la difficulté à réaliser une évaluation environnementale en raison d'une littérature légère sur le sujet, en particulier pour l'étape d'épandage qui peut fortement impacter l'intérêt d'une valorisation des composts et digestats.

Etude Institut français du pétrole de 2019

Une autre étude de 2019 a montré que la méthanisation de typologie agricole mobilisait 5 à 12 fois moins d'énergie fossile pour produire 1 kWh d'électricité que la moyenne des sources d'énergie utilisées en France (comparaison faite sur une électricité d'origine nucléaire) [38]. Et pourtant, cette étude indique par ailleurs que la méthanisation de typologie agricole est moins performante lorsqu'il s'agit de penser aux impacts sur le changement climatique ou encore sur les phénomènes d'acidification et d'eutrophisation. Ce paradoxe s'explique par les phases de stockage des intrants/digestat qui émettent du N₂O et du NH₃. Ces émissions auraient de toute manière eues lieu dans un scénario de référence « business as usual » mais la différence provient majoritairement de l'ajout, dans les déchets agricoles, d'intrants tels que les déchets issus de l'industrie agroalimentaire. Ceux-ci ne sont pas présents dans le scénario de référence « business as usual » et le fait d'être présents dans le scénario de base « avec méthanisation » conduit à un impact négatif additionnel. Dans cette étude, le bilan environnemental du kWh produit s'améliore par ailleurs avec la taille de l'exploitation. Elle montre également que l'impact environnemental de l'unité de méthanisation agricole acceptant des déchets issus d'un élevage porcin est plus faible que celui issu d'un scénario de référence « business as usual ». Ceci s'explique par l'utilisation de l'électricité produite par la méthanisation pour les besoins de l'exploitation en substitution à l'énergie fossile d'une part, et à la diminution des émissions de GES du fait de la combustion du CH₄ en CO₂, le dernier ayant un pouvoir de réchauffement global (PRG), sur 100 ans, 25 fois inférieur à celui du CH₄. Notons que le pouvoir de réchauffement climatique utilisé ici est sur la base de 100 ans ; or il est tout à fait acceptable d'envisager d'utiliser le PRG sur une base de 20 ans compte tenu du fait que les émissions de CO₂ biogéniques ne sont pas comptabilisées dans les émissions de GES. Cette unité de méthanisation agricole dispose d'une enceinte fermée pour le stockage des intrants, évitant ainsi en grande partie des émissions de polluants, notamment le NH₃. Cette étude conclut avec ce chiffre : la méthanisation des déchets issus de l'élevage d'1 kg de porc permet de réduire les émissions de GES de 40% par rapport à un scénario de référence « business as usual ». Toutefois, avec l'ajout de déchets issus de l'industrie agroalimentaire, l'unité de méthanisation agricole doit faire face à une quantité d'azote exogène importante. Ceci implique de mettre en place des traitements supplémentaires pour faire diminuer cette charge azotée. Ceux-ci consomment de l'électricité et contribuent ainsi à un impact environnemental supplémentaire qui n'aurait pas existé dans le cas d'un scénario « business as usual ». La Figure 34, issue de cette étude, montre la réduction (en %) des impacts environnementaux générés suite à l'implantation d'une unité de méthanisation agricole [38]. Des situations similaires de paradoxes peuvent être rencontrées dans d'autres typologies de méthaniseurs. Il est donc à ce titre utile de correctement définir les typologies, leur taille, la nature des (mix d')intrants, Etc.

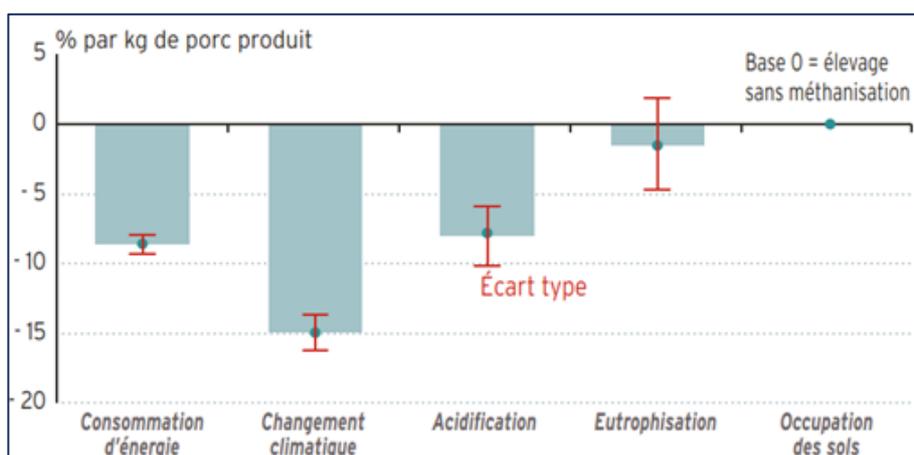


Figure 34 : % de réduction des impacts environnementaux des élevages impliqués dans la méthanisation (moyenne des différents systèmes de méthanisation ; source [23])

7. Vers une base régionale des sources de pollution intégrant toutes les émissions de méthane

Dans la présente étude, il est envisagé pour fin d'année 2021 de disposer d'un inventaire régional spatialisé des polluants atmosphériques plus complet que sa version précédente. En effet, les émissions de méthane générées par les installations de production de biogaz ne sont actuellement pas prises en compte dans le cadastre. Depuis 2015, Atmo-Auvergne-Rhône-Alpes réalise des travaux de consolidations des connaissances sur les enjeux liés à la filière méthanisation et les émissions de méthane émanant des installations de production de biogaz [9] [10] [12] [11]. En attendant des avancées méthodologiques nationales plus complètes sur l'évaluation des émissions de méthane générées par les installations de production de biogaz, la présente étude propose d'intégrer ces émissions dans le cadastre régional d'ici fin 2021. La prise en compte de ces émissions de méthane sera faite sur la base du scénario OMINEA pour cette année. Les années suivantes, il s'agira de tenir compte de la composition du biogaz de chaque installation. Enfin, la typologie des ISDND sera prise en compte puisque les émissions de méthane liées aux ISDND prises en compte actuellement dans notre inventaire ne font pas référence à l'étape de production de biogaz.

8. Conclusions et perspectives

La région Auvergne-Rhône-Alpes est fortement impliquée dans les enjeux liés à la filière méthanisation. Depuis 2015, elle se mobilise pour améliorer l'état des connaissances sur les émissions de méthane générées par cette filière, notamment pendant l'étape de production de biogaz. A l'échelle nationale comme à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes, des stratégies avec des horizons définis sont établis par les états et les régions indiquant une prise en compte des enjeux réels de cette filière dans le paysage des énergies renouvelable. Car

la production de biogaz permet une double valorisation : énergétique (électricité, chaleur, carburant BioGNV, biométhane pour injection dans le réseau de gaz naturel) et agronomique (digestats, compost) de déchets. Avec l'expansion des implantations d'installations de production de biogaz en région Auvergne-Rhône-Alpes, de plus en plus d'interrogations émergent, notamment l'inquiétude de riverains et de collectifs aux abords d'installations (odeurs, bruit, Etc.). Moins bien identifiés sont les émissions de méthane générées par ces installations au regard notamment du caractère vertueux de ces installations.

D'un point de vue qualité de l'air et réglementaire, il était nécessaire d'alimenter l'inventaire régionale spatialisé des polluants atmosphériques avec de nouvelles données sur les émissions de méthane émanant de ces installations. Pour cela, les émissions de méthane générées par 5 types d'installations de production de biogaz ont été évaluées :

- Unités de méthanisation : 4 typologies différentes (Agricole, Territoriale non agricole, Industrielle, STEU).
- Installation de stockage : 1 seule typologie (ISDND).

Sur l'année 2018, **3 161 tonnes** de méthane ont été émises à l'atmosphère par ces installations à l'échelle régionale, ce qui représente environ **1%** des émissions de méthane émises cette même année à l'échelle régionale (toutes activités confondues : Traitement et élimination des déchets (Snaps 090201, 090202, 090205, 090401, 090402, 090702, 091002, 091005) et Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie (Snap 010106)). Ce pourcentage est 3 fois plus élevé que celui obtenu dans la précédente étude d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes de 0,3% [12] en raison de la prise en compte, dans la présente étude, des émissions de méthane générées par les ISDND qui représente la typologie d'installation ayant un plus fort impact en termes d'émissions de méthane. Ce résultat permet d'objectiver les enjeux qualité de l'air de la filière méthanisation. Il est à noter que la teneur en méthane dans le biogaz est un des paramètres importants qui conditionne les émissions de méthane. Ainsi, la présente étude a pris en compte, dans le calcul des émissions de méthane, des différentes typologies d'installations, chacune présentant une composition de biogaz différente. En réalité, il aurait fallu prendre en compte la composition de biogaz de chaque installation, et non pas de chaque typologie. En attendant ces valeurs, nous avons établi des scénarios dans lesquels la teneur en méthane présentait un minimum (Scénario-Min) et un maximum (Scénario-Max), une moyenne étant faite à partir de ces deux valeurs (Scénario-Moy). Un 4^{ème} scénario représente un scénario de référence utilisé dans la précédente étude Atmo Auvergne-Rhône-Alpes [12] : OMINEA. A l'échelle des départements et à l'échelle des typologies, la comparaison des scénarios entre eux montre des variations importantes d'émissions de méthane entre 2016 et 2019 et des disparités entre les régions. Mais globalement, à l'échelle du territoire, indépendamment de la typologie, la contribution relative des émissions de méthane par rapport aux émissions de méthane émises toutes activités confondues varie entre 0,7% et 1,2%. En complément, la campagne de mesure de polluants (méthane, ammoniac, hydrogène sulfuré et PM₁₀) a permis d'avoir un niveau moyen de concentration aux abords d'une unité de méthanisation de typologie agricole territoriale : 1523 µg.m⁻³ à proximité de l'unité (site industriel) et 1398 µg.m⁻³ dans le centre du village (site de fond). Ces valeurs sont comparables à celles mesurées sur d'autres sites : 1594 µg.m⁻³ (site industriel), 1369 µg.m⁻³ (site rurale) et 1320 µg.m⁻³ (site urbain). D'un point de vue changement climatique, il était important d'objectiver le bilan environnemental d'une installation. Par installation, il est entendu les unités de méthanisation uniquement, les ISDND étant une catégorie à part entière ayant fait l'objet d'une partie dans ce rapport. Pour cela, une analyse des données de la littérature a permis d'apporter des éléments de contexte pour comparer le scénario de base « avec méthanisation » (correspond à l'implantation d'une unité de méthanisation) à un scénario de référence « business as usual » qui considère le traitement des déchets selon les étapes de stockage puis d'épandage. D'autres scénarios de références sont également utilisés dans la littérature ; ils correspondent à des situations où les déchets transitent vers d'autres voies de valorisations, qu'elles soient conventionnelles ou renouvelables. A partir de la littérature accessible, certains éléments peuvent être apportés :

- Chaque unité de méthanisation doit faire l'objet d'un bilan environnement spécifique. Deux unités de même typologie peuvent en effet présenter un bilan environnement différent. Certains auteurs ont montré qu'il était difficile, voire risqué de regrouper les bilans environnementaux par typologies d'installations.
- Les bilans environnementaux sont en très grande majorité réalisés sous l'angle ACV (analyse de cycle de vie). Bien que codifiée par une norme ISO, considérée comme la méthodologie la plus aboutie et reconnu par les scientifiques, une ACV ne permet cependant pas de prendre tout en compte. La

nécessité dans une ACV de définir une unité fonctionnelle rend difficile la comparaison entre études, chacune définissant une unité fonctionnelle spécifique au cas d'étude.

- Globalement la filière méthanisation ne présente un intérêt environnemental, sur le potentiel de réchauffement climatique notamment, que s'il existe une valorisation optimale de l'énergie et de la matière (digestats, compost). Ceci ne suffit cependant pas toujours car de mauvaises pratiques de conception, de construction, d'épandage, Etc. peuvent modifier un bilan environnemental. A ce propos, à partir de 2021, seuls les projets accompagnés et mis en œuvre par des prestataires (bureaux d'étude, Etc.) labélisés QUALIMETHA® sont éligibles aux aides ADEME.
- Il y a une difficulté à obtenir des informations (vis-à-vis de notre expérience et selon la littérature) relatives :
 - o A - au fonctionnement des unités de méthanisation
 - o B - aux émissions atmosphériques de polluants
 - o C – sur les gains environnementaux (peu de littérature) : Le manque d'informations de A et B génère le manque d'information pour C.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a réalisé un état des lieux des enjeux environnementaux liés la filière méthanisation. Elle n'a pas fait de calcul et n'a pas réalisé d'ACV. En ce sens, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ne peut objectivement pas prendre position pour répondre à la question : la filière méthanisation est-elle vertueuse d'un point de vue environnemental. Cependant, elle apporte des briques de compréhension et d'informations utiles à l'éclairage de chacun.

Perspectives

Les émissions de polluants liées à l'exploitation d'unités de méthanisation font actuellement l'objet d'une attention particulière, principalement le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ammoniac (NH₃). Au sein même d'une unité de méthanisation, ces polluants peuvent être émis en différents endroits et en des proportions qui peuvent dépendre d'un grand nombre de facteurs. Depuis 2015, en partenariat avec la Région, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes se mobilise autour des enjeux de qualité de l'air liés à la filière méthanisation et contribue à améliorer l'état des connaissances sur cette thématique. A ce jour, elle s'est intéressée au méthane mais le protoxyde d'azote et l'ammoniac constituent des polluants problématiques. Il y a un manque de connaissance sur les émissions de N₂O et de NH₃ générées par la filière méthanisation, notamment durant la phase de valorisation du digestat. Les digestats sont considérés comme un levier de la transition vers l'agroécologie en permettant de réduire la quantité d'engrais azotés de synthèse et favoriser l'augmentation des rendements agricoles en agriculture biologique, favoriser le développement des cultures intermédiaires à vocation énergétique, dont les externalités positives sont nombreuses : protection des sols, captation de l'azote, préservation de la biodiversité, Etc. Relativement à la boucle du carbone, le digestat est considéré par certains comme une matière apportant moins de carbone pour le sol que le fumier traditionnel ou des plantes compostées. Relativement à la boucle de l'azote, elle induit une amélioration de la valeur fertilisante directe grâce à la minéralisation des composants d'azote organique en ion ammonium. Cependant, l'épandage des digestats conduit à des émissions dans l'air de NH₃, polluant problématique à divers égards puisqu'il contribue à la formation de particules fines (PM_{2,5} le plus souvent), à l'acidification, à l'eutrophisation, au changement climatique, et dont il convient d'avoir une estimation des émissions la plus réaliste possible, ceci afin d'orienter les stratégies d'actions en faveur de leur réduction. Lors de certaines phases (stockage, post-traitements éventuels, épandage), une partie du NH₃ volatilisé peut également se transformer en N₂O, puissant gaz à effet de serre. Ces émissions de NH₃ tout comme celles de N₂O sont très difficiles à évaluer précisément alors que ces composés contribuent de manière importante à l'évaluation des enjeux environnementaux de la filière méthanisation. Un certain nombre d'actions existent permettant de diminuer les émissions de ces deux polluants mais le caractère diffus et mal maîtrisé et l'évaluation de leurs émissions restent encore un sujet d'actualité. Ainsi, à l'instar de ce que Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a pu réaliser sur le méthane, il faudra également estimer les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Ministère de la transition écologique et solidaire, «chiffres clés des EnR 2020,» 2020.
- [2] Moletta et al., «Méthanisation de la biomasse,» chez *Techniques de l'ingénieur*, 2008.
- [3] Al Seadi et al., «Biogas HANDBOOK.,» chez *University of Southern Denmark Esbjerg, Stegmann. San Diego, Academic Press*, 2008.
- [4] Al Seadi et al., «Biogas digestate quality and utilization,» *Biogas Handb., Elsevier*, pp. 267-301, 201".
- [5] Record, «Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse,» 2009.
- [6] Ryckebosch et al., «Techniques for transformation of biogas to biomethane,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 35(5), pp. 1633-1645, 2011.
- [7] Rojas Devia, «Thèse: Biogaz en vue de son utilisation en production d'énergie : séparation des siloxanes et du sulfure d'hydrogène,» 2013.
- [8] GDF-ADEME, «Le marché de la méthanisation en France – Hypothèses d'évolution à 5 et 10 ans, Synthèse d'étude,» 2004.
- [9] A. Auvergne-Rhône-Alpes, «Amélioration de l'estimation des émissions de polluants vers l'atmosphère du secteur agricole,» 2015.
- [10] A. Auvergne-Rhône-Alpes, «Développement de la méthanisation et la qualité de l'air,» 2016.
- [11] A. Auvergne-Rhône-Alpes, «Mesures de méthane dans l'air extérieur,» 2018.
- [12] A. Auvergne-Rhône-Alpes, «Eléments d'estimation de l'impact de la méthanisation sur la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes,» 2020.
- [13] CITEPA, «Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France,» OMINEA 18ème édition, 2021.
- [14] CITEPA, «Guide OMINEA 18ème édition : Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France,» 2021.
- [15] L. D. d. GIEC, «Mise à jour des méthodes du GIEC pour les inventaires de gaz à effet de serre,» 2019.
- [16] B. d. d. SINDRA. [En ligne]. Available: <https://www.sindra.org/>.
- [17] A. G. Est. [En ligne]. Available: <https://www.atmo-grandest.eu/>.
- [18] O. d. d. e. Auvergne-Rhône-Alpes. [En ligne]. Available: <https://www.sindra.org/>.
- [19] Ademe, «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,» 2015.
- [20] F. Laurent, «Optimisation fonctionnelle et spatiale de scénarios de méthanisation centralisée selon une approche systémique territoriale couplée à l'analyse du cycle de vie,» Thèse, 2015.
- [21] InfoMetha, 2018. [En ligne]. Available: <https://www.infometha.org/effets-agronomiques/effets-des-digestats-utilises-en-agriculture-sur-les-sols-et-les-cultures>.
- [22] ADEME, «Méthanisation (fiche technique),» 2015.

- [23] E. Marañón et al., «Reducing the environmental impact of methane emissions from diary farms by anaerobic digestion of cattle waste,» *Waste Management*, vol. 31, pp. 1745-1751, 2011.
- [24] Solagro, «Projet DIVA : Etat de l'art des digestats et de leurs procédés de post-traitement,» 2020.
- [25] P. BÖRJESSON, «, Biogas from waste materials as transportation fuel—benefits from an environmental point of view »,» chez *11th IWA Congress on Anaerobic Digestion in Brisbane* , (Australia), 2007.
- [26] A. Reibel, «Valorisation agricole des digestats : Quels impacts sur les cultures, le sol et l'environnement ?,» 2018.
- [27] C. Bodèle et al., «C. Bodèle et al. Essai pluriannuel d'épandage de digestat : Premiers résultats azote : mesures de volatilisation et de valorisation par les cultures (2016-2018),» chez *14ème rencontres du COMIFER*, 2019.
- [28] ADEME, «Qualité agronomique et sanitaire des digestats,» 2011.
- [29] ADEME. [En ligne]. Available: https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?emissions_evitees.htm.
- [30] Solagro, «Etat de l'art des digestats et de leurs procédés de post-traitement,» Projet DIVA, 2020.
- [31] P. R. e. al., «Impacts des épandages de composts d'ordures ménagères résiduelles sur les émissions de gaz à effet de serre au champ,» ANR, 2012.
- [32] S. Berger, «Gestion et valorisation du digestat,» 2012.
- [33] P. Dabert, «Les émissions d'ammoniac en usine de méthanisation-compostage des déchets,» Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail, ANSES, 2019, Air et Santé, pp.34-36. ffanses-02880094, 2020.
- [34] GrFD, «Evaluation des impacts GES de la production et l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel,» 2017.
- [35] GrDF, «Evaluation des impacts GES de la production et l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel,» 2020.
- [36] SOLAGRO, «Impacts environnementaux de filières de traitements biologiques des déchets alimentaires : compostages et méthanisations,» ADEME, 2019.
- [37] ADEME, «Impacts environnementaux de filières de traitements biologiques des déchets alimentaires : compostages et méthanisations,» 2019.
- [38] Institut Français du Pétrole, «La méthanisation améliore le bilan environnemental des élevages,» chez *Produire, Tech Porc*, 2019.
- [39] «Source Base Carbone®».
- [40] IRSTEA, «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 - DETERMEEN,» 2020.
- [41] INERIS, «Caractérisation des biogaz – Bibliographie – Mesures sur sites. Rapport final INERIS DRC-02-27158-AIRE-N°316 B,» 2002.
- [42] INERIS, «Etude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel, Rapport d'étude N° 46032,» 2006.
- [43] RECORD, «Freins et développements de la filière biogaz : les besoins en recherche et développement, Etude RECORD n° 07-0418/1A 65,» 2009.