

SAS OUDON BIOGAZ
3 rue du Portugal
53 400 CRAON

Enquête Publique sur le Projet de Création
d'une Unité de Méthanisation par la SAS
OUDON BIO GAZ au lieudit « La Garenne »
53 400 LIVRE LA TOUCHE

**OBSERVATIONS FORMULEES PAR LES
MRAe Bretagne et Pays de la Loire
+
REPONSES DU PORTEUR DE PROJET**



Mission régionale d'autorité environnementale

PAYS DE LA LOIRE et BRETAGNE

**Avis des Missions Régionales
d'Autorité environnementale
Pays de la Loire et Bretagne
sur le projet de création d'une unité
de méthanisation
par la société Oudon biogaz
sur la commune de Livré-la-Touche (53)**

n° : PDL-2019-4204 &
BRE-2020-7934

**Le Commissaire Enquêteur
Jean Claude LE LAY**

les 24 pages de ce document ont été paraphés. M. LE LAY. Jean Claude
Commissaire enquêteur

Avis

Introduction sur le contexte réglementaire

L'avis qui suit a été établi en application de l'article L. 122-1 du code de l'environnement.

L'autorité environnementale a été saisie le 12 février 2020 d'un dossier de demande d'autorisation environnementale d'une unité de valorisation de matières organiques par méthanisation que la société Oudon biogaz souhaite construire et exploiter sur la commune de Livré-la-Touche en Mayenne et du plan d'épandage associé à cette unité.

Par suite de la décision du Conseil d'État n°400559 du 6 décembre 2017, venue annuler les dispositions du décret n° 2016-519 du 28 avril 2016 en tant qu'elles maintenaient les préfets de région comme autorité environnementale, le dossier a été transmis aux missions régionales d'autorité environnementale (MRAe) concernées.

L'avis porte sur la qualité du dossier d'autorisation environnementale, en particulier l'étude d'impact, et sur la prise en compte de l'environnement dans le projet. Il ne préjuge pas de la décision finale, ni des éventuelles prescriptions environnementales associées à une autorisation qui seront apportées ultérieurement, conformément à la procédure relative aux installations classées pour la protection de l'environnement (article L.512-1 du code de l'environnement).

Conformément aux articles L. 122-1 V et VI du code de l'environnement, le présent avis de l'autorité environnementale devra faire l'objet d'une réponse écrite de la part du maître d'ouvrage qui la mettra à disposition du public par voie électronique au plus tard au moment de l'ouverture de l'enquête publique prévue à l'article L. 123-2.

Le présent avis s'inscrit, en outre, dans le cadre de l'ordonnance n°2020-306 du 25 mars 2020 relative à la prorogation des délais échus pendant la période d'urgence sanitaire et à l'adaptation des procédures pendant cette même période.

Le Commissaire Enquêteur
Jean Claude LE LAY

2/24
K

1 Contexte, présentation du projet et enjeux environnementaux

1.1 Présentation du projet et des aménagements projetés

Le projet comprend l'aménagement d'une unité de méthanisation au lieu-dit La Garenne à Livré-la-Touche en Mayenne par la société Oudon biogaz. Cette entreprise regroupe 74 exploitations agricoles associées sur un territoire couvrant 50 communes.

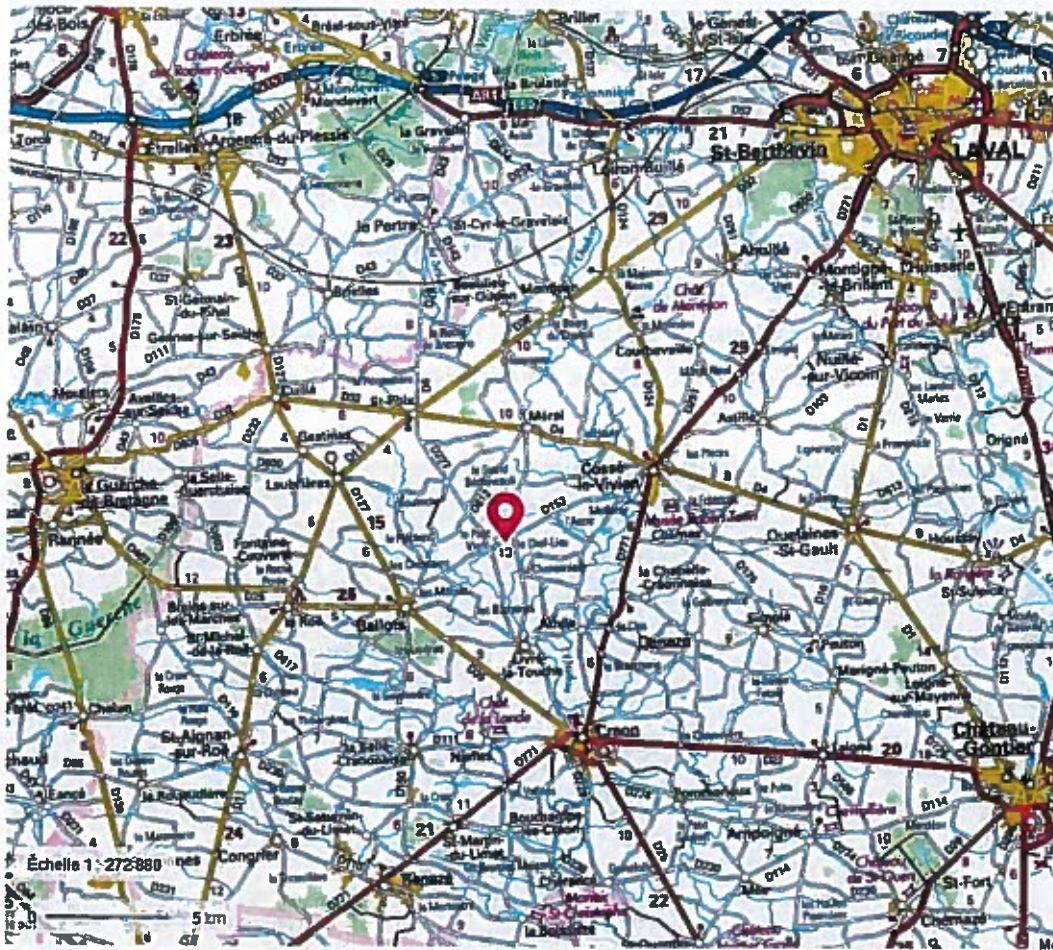


Figure 1: localisation du site de méthanisation (source : étude d'impact - volet A - page 21)

La méthanisation permet, à partir de matières organiques, de produire du biogaz, constitué principalement de méthane et de dioxyde de carbone, ainsi que de la matière organique partiellement dégradée appelée « digestat ». Après épuration, le biogaz est de qualité identique au gaz naturel et peut être injecté dans le réseau de distribution. Le digestat, quant à lui, conserve les éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) et fait l'objet d'un plan d'épandage, partie intégrante du projet.

3/24
[Signature]

En exploitation, l'approvisionnement de l'unité de méthanisation repose principalement sur les exploitations agricoles qui apporteront 85 % des 140 000 tonnes de matière organique qui seront traitées par an, essentiellement du lisier et du fumier mais aussi des cultures dédiées à la méthanisation (5 % en tonnage et 2 % en surface), des déchets végétaux, des sous-produits végétaux ainsi que des déchets d'industries agroalimentaires. Le fonctionnement de l'unité de méthanisation repose sur les étapes suivantes :

- la réception, le stockage et la préparation des différentes biomasses ;
- le traitement de la biomasse par méthanisation ;
- le traitement et la valorisation du biogaz par injection dans le réseau ;
- le traitement et la valorisation du dioxyde de carbone (CO₂) par liquéfaction ;
- le stockage et la valorisation du digestat par épandage.

Les installations comprennent, sur une parcelle de 5 ha le long de la route départementale 153 :

- un bâtiment de réception, de stockage et de préparation des matières ;
- trois digesteurs et deux post-digesteurs organisés en deux filières ;
- des installations de traitement et d'épuration du biogaz et de liquéfaction du CO₂ ;
- deux filières d'hygiénisation des digestats ;
- des installations de stockage du digestat, sous forme solide et liquide ;
- un système de captation et de filtrage de l'air des diverses parties des installations pour traiter les odeurs.



Figure 2: simulation visuelle du projet (source : annexe 2 au dossier – volet A)

Deux filières de traitement seront mises en place, dont l'une dédiée à des Intrants d'origine exclusivement agricole, issus uniquement d'élevages non industriels, compatible avec l'épandage du digestat en agriculture biologique.

Au-delà des installations sur site proprement dites, le périmètre du projet comprend aussi :

- les parcelles d'épandage des digestats permettant leur valorisation agricole ;
- des installations de stockage déporté, au plus près des parcelles d'épandage ;

- l'aménagement d'un tourne à gauche par la droite au niveau de la route départementale 153, pour faciliter l'accès à l'unité de méthanisation pour les véhicules provenant de l'est ;
- l'infrastructure de raccordement au réseau public de gaz qui sera réalisée par GRDF.

Le plan d'épandage des digestats concerne 76 exploitations (dont 2 non associées) et 7 495 ha répartis sur 50 communes. En revanche, la localisation des parcelles d'épandage et des différents stockages déportés n'est pas présentée clairement dans le dossier. Il faut consulter les annexes pour trouver ces informations, à savoir 3 cartes au 1/25 000 avec la localisation des parcelles d'épandage et celles des stockages déportés, ces derniers étant à peine lisibles. Aucune présentation synthétique de ces localisations n'est proposée pour apporter une vision d'ensemble au public.

Les MRAe recommandent de compléter la présentation du projet par une carte donnant une vision synthétique de la localisation et de la répartition des parcelles d'épandage et des stockages déportés.

L'infrastructure de raccordement au réseau public de gaz qui sera réalisée par GRDF est juste évoquée dans le dossier, sans qu'une hypothèse probable de réalisation ne soit présentée. La réalisation de ce raccordement par un maître d'ouvrage différent ne fait pas obstacle à son intégration dans le projet au sens du code de l'environnement. À défaut d'une maturité suffisante de l'évaluation environnementale de ce raccordement, l'étude d'impact du projet dans son ensemble devra apprécier ces impacts en fonction de l'état de définition des Informations d'ores et déjà disponibles.

Les MRAe rappellent que, pour être complète, l'étude d'impact doit anticiper les impacts potentiels du raccordement des installations de production de biogaz au réseau public de distribution, en fournissant une première analyse des enjeux et des impacts éventuels en particulier pendant la phase travaux.

Le personnel sur site représentera l'équivalent de 11 emplois à temps plein. La production de gaz qui sera injectée dans le réseau est estimée à 47 168 MWh par an (soit environ l'équivalent de la consommation domestique de 3 000 habitations par an).

70 communes sont concernées par le projet, dont 51 en Mayenne, 11 en Ille-et-Vilaine, 5 en Maine-et-Loire et 3 en Loire-Atlantique, qu'elles soient situées dans les périmètres de 3 km autour du site de méthanisation ou des sites de stockage déporté de digestat ou qu'elles soient concernées par le plan d'épandage.

1.2 Procédures relatives au projet

La demande d'autorisation environnementale pour la mise en place d'une unité de méthanisation à Livré-la-Touche concerne une « installation classée pour la protection de l'environnement » (ICPE) soumise à autorisation ainsi qu'un épandage soumis à autorisation au titre de la loi sur l'eau. Le projet nécessite également l'obtention d'un permis de construire et d'un agrément sanitaire relatif aux sous-produits animaux non destinés à la consommation humaine.

5/24
[Signature]

1.3 Principaux enjeux environnementaux relevés par la MRAe

Au regard des effets attendus du fait de la mise en œuvre du projet, d'une part, et des sensibilités environnementales du secteur d'implantation, d'autre part, les principaux enjeux environnementaux identifiés par la MRAe sont :

- les effets sur le climat, avec le bénéfice attendu d'une production de gaz renouvelable et d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- la qualité des eaux, au niveau de l'unité de méthanisation mais aussi en lien avec l'épandage du digestat ;
- les changements dans l'usage des sols et l'impact sur leur qualité et, plus généralement, les milieux naturels ;
- les effets sur l'environnement humain (odeurs, bruit, qualité paysagère, trafic et sécurité routière, risques sanitaires et technologiques – incendie, explosion, rejets atmosphériques, etc.).

2 Analyse de l'étude d'impact

La version de l'étude d'impact analysée date de janvier 2020.

L'étude d'impact est constituée de deux parties. La partie A est relative à l'unité de méthanisation en tant que telle. La partie B concerne le plan d'épandage et les stockages déportés. Son territoire d'étude est constitué des 70 communes concernées par le plan d'épandage ou situées dans un périmètre de 3 km autour des stockages déportés.

Une telle présentation scinde en deux chaque chapitre constituant l'étude d'impact (présentation du projet, état initial du site, impacts du projet, mesures d'évitement, de réduction et de compensation mises en œuvre, résumé non technique notamment), ce qui ne favorise pas l'appropriation du projet dans son ensemble et ne donne pas à voir la globalité des incidences environnementales du projet.

La répartition de l'analyse des impacts du projet entre les volets A et B de l'étude d'impact n'est pas toujours identique selon les thématiques. Ainsi, concernant le bruit généré par le projet, le bruit lié aux approvisionnements des stockages déportés et à l'épandage du digestat à partir de ces stockages déportés est abordé dans le volet A alors que ce volet ne concerne, pour les autres thématiques, que l'unité de méthanisation au sens strict.

En outre, la structure des volets A et B de l'étude d'impact n'est pas identique.

Ainsi, l'irrégularité de la présentation formelle ne permet pas au lecteur de trouver rapidement ce qu'il cherche. Les impacts temporaires du chantier de construction de l'unité de méthanisation sont décrits de façon succincte mais proportionnée (volet A pages 109 à 111). Rien n'est évoqué en revanche concernant les stockages décentralisés de digestat à construire. Le volet B doit être complété sur ce point.

2.1 Analyse de l'état initial

Le cycle du carbone

Il manque dans l'état initial une présentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'état actuel du fonctionnement des exploitations agricoles, notamment les émissions dues aux déjections animales brutes, celles liées aux transports et actions d'épandage et celles liées à l'emploi d'engrais chimiques et d'autres intrants. La consommation actuelle de gaz fossile à l'échelle du projet devrait aussi être intégrée à l'état initial.

La qualité des eaux

Sur l'ensemble du territoire d'étude, l'état initial recense 13 captages d'alimentation en eau potable dont six avec des périmètres de protection qui comprennent des parcelles du plan d'épandage ainsi que trois zones de baignades à proximité. De son côté, le site de l'unité de méthanisation est situé dans le périmètre de protection éloigné du captage d'eau potable prioritaire de l'Oudon à Segré – Saint-Aubin-du-Pavoil.

Les parcelles d'épandage sont essentiellement situées dans le bassin versant de l'Oudon (à 92%) et concernent, pour le reste, les bassins versants de la Vilaine (5,5%), de la Mayenne (2%) et de la Sarthe (0,5%). La qualité physico-chimique de l'Oudon à Cossé-le-Vivien est moyenne, du fait de la présence de nitrates¹.

La totalité des communes du plan d'épandage est située en zone vulnérable, au titre du programme d'action nitrates, et en zone d'action renforcée pour 55 des 70 communes du plan d'épandage.

La recherche de zones humides n'a permis de repérer aucune zone humide au niveau du site de la future unité de méthanisation. En revanche, la recherche de zones humides au niveau des nouveaux stockages décentralisés qui seront construits reste sommaire (indication « aucune » ou « 0 » dans le tableau des pages 231 à 236, sans précision sur la méthode de recherche et sa conformité aux textes réglementaires²).

La notion de zones humides au niveau des parcelles envisagées pour l'épandage est intégrée à l'aptitude des sols à l'épandage. Les zones humides correspondent en effet à des sols hydromorphes inaptés à l'épandage. Il semble cependant, sur quelques exemples, que des sols soient considérés comme « épandables » par l'étude d'impact alors qu'ils sont inclus dans des inventaires communaux de zones humides ou parmi des parcelles humides de classe 6 d'une carte pédologique. La méthode employée par l'étude d'impact n'apparaît donc pas fiable sur ce point et ne permet pas de garantir, à ce stade, l'absence d'épandage sur zone humide.

Les MRAe recommandent de vérifier l'absence de zone humide au niveau des sites de stockage décentralisés à créer, d'une part, et des parcelles « épandables », d'autre part.

Globalement, la richesse des informations est insuffisamment restituée : des cartographies permettraient plus aisément au lecteur de situer le site de l'unité de méthanisation et les parcelles du plan d'épandage par rapport aux éléments notables de l'environnement cités, comme par exemple les différents bassins versants, etc.

1 Référence : http://carmen.carmencarto.fr/179/OSUR_ETAT_ECOLO_RCS.map

2 cf. arrêté du 24 juin 2008 modifié précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement

Les milieux naturels, la biodiversité et l'usage des sols

Le site de l'unité de méthanisation n'est directement concerné par aucun zonage environnemental ou paysager d'inventaire ou de protection réglementaire. Le dossier précise, à la suite d'une prospection de terrain, que la parcelle concernée présente un intérêt limité du point de vue de la biodiversité du fait de son exploitation en culture céréalière. Les habitats à enjeu sont situés en périphérie de la parcelle, avec des haies bocagères, notamment à l'est, une mare temporaire et plusieurs prairies de fauche au nord. Les espèces animales et végétales repérées lors des prospections de terrain sont essentiellement communes même si quelques-unes peuvent être protégées. Les espèces protégées observées sont : le Lézard des murailles, le Passereau commun, le Grand Capricorne (traces).

Le dossier conclut justement que l'enjeu écologique du site réside avant tout dans la préservation des haies bocagères et de la mare temporaire.

Le site de l'unité de méthanisation est situé sur le passage d'un corridor écologique « potentiel » linéaire bordé d'un fin « corridor territoire », identifiés par le schéma régional de cohérence écologique (SRCE) des Pays de la Loire.

La zone d'étude du plan d'épandage comprend trente-quatre périmètres de zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique ou floristique (ZNIEFF) dont 17 concernent des cours d'eau ou plans d'eau et, pour le reste, 5 bois ou forêts, 4 coteaux boisés ou rocheux, 4 ensembles liés à des vallées et 4 autres de natures diverses. Parmi les parcelles envisagées pour le plan d'épandage, 22 sur une ou plusieurs ZNIEFF ce qui représente près de 9 ha au total.

Quelques sites naturels protégés sont par ailleurs identifiés ainsi que 5 sites Natura 2000 à proximité (le plus proche est cependant à plus de 8 km de distance des parcelles envisagées pour l'épandage).

Une analyse de la composition des sols a été réalisée en 55 points des parcelles inscrites au plan d'épandage. Ce nombre paraît faible en rapport aux surfaces épandables. Cela ne fait même pas un point d'analyse par exploitation. Le choix du nombre et des points d'analyse n'est pas justifié dans l'étude d'impact. L'analyse est relativement complète, avec 28 paramètres mesurés. Une synthèse en est restituée dans les tableaux pages 134 à 140 du volet B. On en retient notamment que certaines parcelles contiennent des niveaux élevés en phosphore.

Milieu humain

Au plan paysager, le site de l'unité de méthanisation se situe dans la vallée la Mée et de ses affluents. Le paysage est ici largement ouvert, le site étant nettement visible depuis la route départementale 153. La zone d'étude du plan d'épandage se situe à cheval sur deux unités paysagères, celle du bocage du Haut-Anjou et celle des Marches entre l'Anjou et la Bretagne, toutes deux essentiellement constituées de bocage. L'étude d'impact liste aussi les 12 sites classés ou inscrits compris dans la zone d'étude (volet B page 98-99).

4/201
M

2.2 Le choix du projet retenu parmi les solutions de substitution

Le scénario sans mise en œuvre du projet est très succinctement présenté pour ce qui concerne l'unité de méthanisation (volet A page 146). Selon le dossier, dans cette hypothèse, le besoin en engrais chimiques pour les exploitants agricoles serait plus important et la pression en phosphore également. La conséquence en serait une absence de participation des exploitations agricoles aux efforts nécessaires pour l'amélioration de la qualité des eaux et la lutte contre le changement climatique. Au-delà de ces éléments très généraux, aucun élément concret ou chiffré n'est donné concernant l'évolution des caractéristiques de l'environnement en l'absence de réalisation du projet.

Le dossier présente les méthodes alternatives de production d'énergie à partir de la biomasse (page 151) : la pyrolyse ou la combustion en chaudière biomasse. Il ne s'agit cependant pas de vraies alternatives car elles ne répondent pas aux mêmes objectifs que le projet qui poursuit à la fois la valorisation énergétique de la biomasse organique produite localement et l'amélioration des pratiques de fertilisation.

En outre, le dossier évoque succinctement (volet A – page 13) la comparaison entre la méthanisation sur un site unique, sur des sites multiples ou encore la méthanisation à la ferme. La mutualisation sur un site unique est annoncée comme plus économe en surface agricole. L'examen de ces alternatives devrait cependant être développé au-delà d'un paragraphe unique, avec une réelle « *indication des principales raisons du choix effectué, eu égard aux incidences du projet sur l'environnement* »³.

Pour le choix du site unique d'implantation, les arguments mis en avant sont relatifs au positionnement géographique au centre de l'aire de chalandise (proche de Craon), à l'accès routier aménageable, à l'éloignement des tiers, à l'absence de zones de protection du patrimoine naturel et de richesse naturelle majeure et à l'éloignement des zones Natura 2000. Aucun scénario alternatif n'est toutefois présenté. L'alternative entre la proximité d'une canalisation de gaz pour injection sur place et le transport du gaz par la route pour injection à distance est évoquée, sans préciser si elle a joué un rôle dans le choix du site retenu. La localisation du réseau de distribution public de gaz par rapport au site de l'unité de méthanisation n'est d'ailleurs explicitée nulle part, ce qui constitue une lacune importante du dossier.

D'une façon générale, une représentation cartographique de ces différents facteurs permettrait de mieux rendre compte du positionnement du site choisi.

Le dossier ne présente aucune alternative au niveau des intrants retenus pour le fonctionnement du méthaniseur. Une justification des choix effectués est attendue, notamment concernant la proportion de cultures dédiées (5%) ou l'incorporation de déchets d'industries agro-alimentaires (3%).

Des alternatives au niveau de la valorisation du biogaz ont été envisagées. La production de biogaz carburant (bio-GNV) est évoquée mais non retenue sans que l'on sache pourquoi. Les hypothèses produisant de l'énergie thermique totalement ou partiellement ne peuvent être retenues car la demande est insuffisante dans le secteur au vu de la nécessité de créer un réseau de chaleur et de contractualiser avec les consommateurs intéressés. L'injection dans le réseau GRDF a été retenue car plus sécurisante, plus simple et efficace d'un point de vue énergétique.

3 cf. II 2^o alinéa d/ de l'article L. 122-3 du code de l'environnement

Au titre des alternatives au niveau de la méthode de valorisation du digestat, l'existence de besoins en agriculture au plan local et en quantité suffisante ont conduit à retenir l'épandage du digestat plutôt que le compostage (qui aurait nécessité des volumes très importants de biomasse sèche et structurante en complément) ou que la normalisation ou l'homologation pour un usage auprès d'une clientèle extérieure. Le traitement en vue d'un rejet résiduaire ou d'une autre utilisation est évoqué mais n'apparaît pas comme une alternative comparable car ne répondant pas aux mêmes objectifs que le projet (fertilisation des sols des exploitations agricoles).

Pour ce qui concerne le plan d'épandage, aucune analyse de solutions alternatives n'est présentée, notamment au niveau du choix des installations de stockage du digestat ou de la recherche de parcelles d'épandage plus concentrées autour du site de l'unité de méthanisation.

Les MRAe rappellent que les variantes du projet doivent porter sur des scénarios comparables au regard des objectifs du projet, à savoir une production d'énergie renouvelable combinée à l'amélioration de la fertilisation des parcelles des exploitations.

Les MRAe recommandent de compléter la justification des choix du projet parmi les solutions de substitution concernant :

- **le choix d'un site unique de méthanisation par opposition à une mutualisation partielle (sur plusieurs sites) ou à une méthanisation à la ferme ;**
- **une représentation cartographique des différentes contraintes s'appliquant au choix du site et localisant le site retenu ainsi que les sites alternatifs éventuellement étudiés ;**
- **l'analyse d'alternatives au niveau du choix des Intrants (proportion de cultures dédiées, déchets issus d'industries agro-alimentaires, etc.) ;**
- **l'analyse d'alternatives au niveau des installations de stockage décentralisé, notamment plus ou moins mutualisées.**

2.3 L'articulation du projet avec les documents de planification

L'étude d'impact analyse le positionnement du projet d'unité de méthanisation par rapport au schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) Loire Bretagne 2016-2021, au schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) du bassin versant de l'Oudon et aux plans départementaux d'élimination des déchets de la Mayenne et du Maine-et-Loire (principaux départements d'approvisionnement du méthaniseur). Elle conclut à la compatibilité du projet avec les stratégies portées par ces documents de planification. Cette compatibilité ne peut pourtant pas être garantie en l'état, le dossier n'établissant pas avec certitude l'absence d'atteinte du projet aux zones humides (cf. la recommandation au paragraphe 2.1 / « qualité des eaux » ci-dessus et l'analyse au paragraphe 2.4 / « respect des zones humides » ci-dessous).

L'étude d'impact rappelle les enjeux en termes de qualité de la ressource en eau identifiés par le SDAGE Loire-Bretagne et les SAGE de l'Oudon, de la Vilaine, de la Mayenne et de la Sarthe aval. Elle vérifie la compatibilité du plan d'épandage avec les dispositions prévues par ces documents.

Le dossier souligne en outre la contribution du projet aux objectifs du schéma régional climat air énergie (SRCAE) des Pays de la Loire. Il situe le site de l'unité de méthanisation au sein d'un corridor écologique linéaire inscrit dans le schéma régional de cohérence écologique (SRCE) des Pays de la Loire.

11/24
h

2.4 Analyse des impacts du projet et des mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces impacts

Globalement, moyennant certaines précisions à apporter, l'évaluation des incidences est proportionnée aux enjeux identifiés. Les thématiques appelant les principales remarques de la MRAe sont détaillées ci-après.

Les effets sur le climat

Bilan des gaz à effet de serre :

« Un des objectifs majeurs du projet est de réduire les émissions de gaz à effet de serre par rapport à la situation initiale. » (étude d'impact – volet A – page 140). Le gain proviendra de plusieurs sources, selon le dossier :

- la substitution du biogaz, énergie renouvelable, aux énergies fossiles non renouvelables ;
- la réduction des émissions de méthane dues aux déjections animales brutes ;
- la rationalisation des transports et des épandages ;
- la substitution du digestat liquide produit localement aux engrais chimiques généralement importés.

Le bilan de cet objectif majeur du projet est l'objet d'une présentation d'une dizaine de lignes dans le volet A de l'étude d'impact, dont il ressort une réduction des émissions de gaz à effet de serre à la suite de la mise en service du projet estimée à 13 678 tonnes équivalent CO₂ par an. Le détail des calculs est présenté en annexe 5. On peut en retenir que sont pris en compte dans ce bilan :

- les émissions propres de l'unité de méthanisation en fonctionnement : protoxyde d'azote (N₂O) et méthane (CH₄) au niveau du pré-stockage avant méthanisation, du post-stockage après méthanisation et de l'épandage, pour 5 500 t eq. CO₂ ;
- les émissions liées au transport des matières entrantes vers l'unité de méthanisation, pour 700 t eq. CO₂ ;
- les émissions évitées par la substitution du nouveau processus de gestion des matières organiques à leur traitement antérieur, pour 8 000 t eq. CO₂ ;
- les émissions évitées par la substitution du gaz renouvelable au gaz fossile actuel, pour 11 000 t eq. CO₂ ;
- les émissions évitées par la substitution du digestat aux engrais minéraux, dont la fabrication représentent 800 t eq. CO₂

L'absence de présentation des hypothèses et des éléments de calcul sur lesquels ce bilan est établi ne permet pas aux MRAe de se prononcer sur la validité des chiffres annoncés.

De plus, la valorisation du dioxyde de carbone produit est aussi une mesure utile pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. La production de CO₂ liquéfié est estimée à 6 250 t par an. Selon l'usage fait de ce CO₂ après commercialisation, cette production peut correspondre à une émission partiellement évitée de gaz à effet de serre ou à un simple décalage dans le temps de l'émission. Ce point n'est pas évalué dans le dossier.

Les MRAe recommande de compléter le bilan des gaz à effet de serre et de préciser les bénéfices apportées par le projet.

12/24
M

Bilan énergétique :

Le bilan énergétique du projet est prévu ainsi : sur les 53,9 GWh de bio méthane produit annuellement, plus de 88 % seraient injectés dans le réseau de distribution via GRDF, 11 % seraient valorisés en interne au niveau de la chaudière pour les besoins énergétiques de la phase d'hygiénisation des digestats, moins de 1 % serait détruit dans la torchère.

Si l'on déduit de l'énergie « utile » injectée au réseau public de gaz (environ 47,2 GWh) l'énergie également consommée par le projet sous forme d'électricité (7,4 GWh) ou au niveau des transports (2,6 GWh), le bilan reste positif avec un solde énergétique de 37,2 GWh, ce qui représente 69 % de l'énergie que représente le bio méthane total produit par l'installation.

La présentation est succincte et claire mais néanmoins incomplète. Le dossier précise ainsi que ce solde énergétique positif représente la consommation annuelle en gaz naturel de près de 1700 maisons individuelles équipées d'une chaudière à gaz. Il manque cependant dans ce bilan l'énergie consommée par la construction de l'unité de méthanisation, par sa déconstruction en fin de vie ainsi que la prise en compte de l'énergie nécessaire à l'épandage.

Les effets sur la qualité de la ressource en eau

Gestion des eaux pluviales :

Au niveau de l'unité de méthanisation, les eaux pluviales sont collectées et traitées via un déboureur-séparateur avant d'être dirigées vers un bassin de régulation. Ce bassin est dimensionné pour une pluie trentennale⁴ et un rejet au milieu plafonné à 2 l/s/ha, conformément au règlement du SAGE de l'Oudon. En outre, pour éviter la pollution des eaux pluviales par les eaux sales issues des silos, mais aussi pour les besoins propres du processus de méthanisation, ces dernières sont envoyées en méthanisation. Le dossier estime que la charge polluante des eaux de ruissellement sur site sera faible mais ne se prononce pas sur le niveau de charge des eaux rejetées dans le milieu naturel.

En revanche, au niveau des installations de stockage décentralisé du digestat solide et liquide, la gestion des eaux pluviales manque de précision. Pour le stockage des digestats solides, la totalité des installations sont réalisées sur des surfaces étanches. Quand elles ne sont pas couvertes, elles sont reliées à une fosse permettant de retenir les écoulements. Le dimensionnement de ces fosses n'est cependant pas précisé et le dossier ne permet pas de vérifier pour quel niveau de précipitation l'absence de fuite dans le milieu naturel peut être garantie. Pour les digestats liquides, le stockage en poche étanche garantit l'absence d'écoulement dans les milieux naturels, sauf accident sur l'enveloppe de la poche.

Les MRAe recommandent de préciser le dimensionnement des fosses de stockage à l'air libre des digestats solides et liquides et de mentionner dans le dossier jusqu'à quel niveau de précipitation est garantie l'absence de fuite dans les milieux naturels.

4 Une pluie trentennale est une pluie d'intensité exceptionnellement élevée qui se produit en moyenne tous les trente ans

Respect des zones humides :

L'identification des zones humides au stade de l'état initial est restée ponctuellement incertaine (cf. § 2.1 ci-dessus). L'absence de risque d'apports d'azote et de phosphore à la suite d'un épandage sur des zones humides ne peut donc être totalement écarté en l'état et devra être confirmé.

Pollution des eaux et lessivage des épandages :

Le risque de pollution accidentelle est pris en compte : les installations à risque de l'unité de méthanisation sont situées sur des aires étanches en relation avec des dispositifs de rétention adaptés. Le volume de la zone de rétention correspond à celui de la plus grosse cuve (4 750 m³) majoré de 500 m³. Ce volume est suffisant pour retenir, par ailleurs, les eaux d'extinction d'un éventuel incendie.

Concernant le plan d'épandage, conformément à la réglementation, l'épandage est interdit à proximité des cours d'eau et plans d'eau, des puits ou forages, des lieux de baignade et des tiers (les règles de distance varient selon la nature de l'activité à protéger et la pente du terrain).

En outre, les surfaces comprises dans un périmètre de protection des captages d'eau potable (en périmètres éloignés principalement, parfois en périmètres rapprochés) respecteront strictement les dispositions des arrêtés de protection. Au besoin, les parcelles concernées ont été exclues du plan d'épandage. Dans ces périmètres, le déstockage régulier des fumiers et lisiers vers l'unité de méthanisation et l'absence de travaux de création ou d'agrandissement d'ouvrage de stockage décentralisé ne devrait pas dégrader la qualité de la ressource en eau potable. Concernant plus spécifiquement les parcelles situées dans le périmètre de protection du captage de « Bon Enfant » sur la commune d'Ahuillé, sensible aux nitrates, ou dans le périmètre de protection rapproché sensible du captage de « La Haie – Les Friches » sur la commune de Cossé-le-Vivien, la question de l'exclusion du plan d'épandage des parcelles « épandables » intéressées peut se poser. Le maître d'ouvrage devra se prononcer sur ce point.

De plus, une étude agro-pédologique a été réalisée sur l'ensemble des parcelles du plan d'épandage. Elle identifie les sols trop humides dont l'aptitude à l'épandage est nulle. Le plan d'épandage tient compte de cette étude et prévoit qu'aucun épandage ne sera réalisée sur ces sols.

Pour chaque exploitation, l'aptitude des sols à l'épandage et les limites d'interdiction régielementaire à l'épandage, en distinguant digestat solide et liquide, sont rapportées sur des plans locaux qui apportent une information précise. Cependant, la légende présentée dans le dossier (volet B page 142) ne correspond pas aux plans que l'on trouve en annexe 4 : on y parle de lisier et non de digestat et le code couleur de l'aptitude des sols est différent – bleu pour une aptitude nulle, rouge pour une aptitude moyenne (1) et vert pour une aptitude bonne (2). Chaque plan comprend toutefois sa propre légende qui semble cohérente avec les informations cartographiques qui y sont représentées. La référence à l'épandage de digestat liquide avec buse, qui ne fait pas partie des techniques d'épandage prévue par le plan d'épandage renforce toutefois le doute quant à la clarté de l'information issue des cartographies de l'annexe 4 du volet B.

Globalement, sur les 7 495 ha de surface agricole utile des exploitations participant au plan d'épandage, 578 ha sont inaptes à l'épandage, 5 106 ha (la grande majorité) sont d'une aptitude

44/24
K

moyenne et 1 811 ha sont d'une bonne aptitude à l'épandage. Les surfaces « épandables », intégrant aussi les distances réglementaires de retrait, s'élèvent à 6 506 ha.

Les MRAe recommandent de préciser et rendre homogènes les cartes d'épandage de l'annexe 4.

L'étude du plan d'épandage a aussi calculé l'équilibre de la fertilisation par exploitation. Les exploitations associées au sein de l'entreprise Oudon Biogaz se sont données des règles de répartition des digestats pour éviter les risques de pollution liées à l'azote et au phosphore.

Les prévisions de volume de digestat solide et liquide à épandre par exploitation reposent sur l'équilibre de la balance en phosphore ou bien aboutissent à un léger déficit à l'échelle de l'exploitation. Ce résultat répond à l'enjeu des teneurs en phosphore parfois élevées mesurées dans les sols, à condition de vérifier aussi la balance de phosphore à l'échelle des parcelles dont les teneurs en phosphore sont les plus élevées. Globalement, le plan d'épandage ne devrait pas dégrader le paramètre phosphore voire devrait l'améliorer dans certains cas.

Le dossier met en avant la meilleure efficacité de l'azote apporté par le digestat par rapport à des engrais minéraux : l'azote est plus disponible pour les plantes et la période d'apport est optimisée. Cette caractéristique permet une gestion plus maîtrisée de la fertilisation.

Ainsi, le risque de lessivage des apports en phosphore et en azote est réduit. L'étude d'impact n'évalue cependant pas le niveau de risque qui demeure.

Le dossier vérifie le respect des diverses réglementations applicables aux épandages : directive nitrate, plan d'action national nitrate, plans d'action régionaux nitrates Pays de la Loire et Bretagne, le SDAGE Loire Bretagne 2016-2021, les différents SAGE. À ce titre, le dossier omet de rappeler que les épandages sur les cultures Intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) sont conditionnés à la réalisation d'un bilan post récolte qui doit être inférieur à 40 kg d'azote par hectare. De plus, les sous-bassins versants de la Selche et du Semnon sont concernés par un objectif de réduction des concentrations en nitrates et tous les sous-bassins versants de la Vilaine liés au plan d'épandage sont classés en secteurs prioritaires vis-à-vis du phosphore. Les équilibres de fertilisation étant calculés à l'échelle de l'exploitation, ils ne garantissent pas l'absence d'augmentation ponctuelle des apports sur des secteurs déjà sensibles.

Les MRAe recommandent d'expliquer comment sera vérifié en gestion, sur chaque parcelle classée en secteur sensible au titre des nitrates ou du phosphore, que la balance du phosphore et de l'azote ne conduira pas à une augmentation de leur niveau de présence dans le sol.

Le dossier annonce respecter les périodes d'interdiction d'épandage et intervenir systématiquement au juste moment où les plantes en ont besoin afin de limiter les lessivages. La vérification de la capacité technique à intervenir au juste moment pour l'ensemble des parcelles ne semble pas avoir été faite ou n'est pas présentée. De même, la vérification que les épandages prévus restent toujours possibles au vu des périodes d'interdiction et des conditions météorologiques réellement constatées les années passées sans conduire à devoir stocker une quantité de digestat supérieure au volume possible n'est pas présentée.

Les MRAe recommandent de compléter l'étude d'impact en vérifiant l'adéquation entre les périodes d'interdiction d'épandage, les périodes optimales d'épandage, les capacités techniques d'épandage disponibles, les volumes de stockage de digestat disponibles et les conditions météorologiques constatées dans le passé.

15/24
[Signature]

Enfin, les volumes de digestat solide et liquide à épandre ont été calculés sur la base des teneurs moyennes des digestats, en azote et phosphore notamment. Ces éléments seront à ajuster au vu des teneurs réelles qui seront mesurées.

Globalement, la sécurisation du plan d'épandage est assurée par l'engagement des exploitations agricoles associées au projet à hauteur de 85 % du digestat produit. Seul le solde de 15 % du volume total de digestat produit par l'unité de méthanisation sera l'objet d'une commercialisation dans le cadre de l'arrêté DigAgri⁵. À ce titre, le dossier doit présenter les pistes de commercialisation envisagées par le maître d'ouvrage démontrant la crédibilité de la vente du volume de digestat qui est envisagée.

La non-conformité ponctuelle des conditions prévues par l'arrêté DigAgri à l'issue de la méthanisation et de la phase d'hygiénisation nécessitera alors une élimination par épandage ou, à défaut, dans une filière alternative.

Formellement, le dossier reste descriptif quant aux mesures prises et se prononce principalement sur le respect de la réglementation mais il ne conclut pas quant au niveau des impacts résiduels du projet dans son ensemble sur la qualité de la ressource en eau.

Les MRAe rappellent que l'étude d'impact doit exprimer le niveau des impacts résiduels du projet, après prise en compte, le cas échéant, des mesures d'évitement et de réduction qui seront mises en œuvre.

Les principaux apports du projet, par rapport à la situation actuelle où chaque exploitation gère seule ses effluents et leur épandage, reposent sur l'équilibre strict des apports en phosphore et sur la quasi-disparition des stockages de fumier « au champ ». À l'échelle d'un plan d'épandage de grande taille comme celui du projet, l'impact sur l'amélioration de la qualité des cours d'eau dans le secteur d'étude pourrait être non négligeable pour le principal bassin versant concerné, celui de l'Oudon, à condition de garantir l'absence d'épandage sur les zones humides et le respect effectif des conditions optimales d'épandage telles qu'évoquées dans le dossier.

Effets cumulés avec d'autres plans d'épandage :

Le volet B de l'étude d'impact ne traite pas de la question des effets cumulés du projet avec d'autres projets existants. Le cumul d'effets avec d'autres plans d'épandage doit être examiné, pour vérifier, d'une part, si certaines parcelles du projet étaient inscrites dans d'autres plans d'épandage auparavant et pour évaluer, d'autre part, si certaines incidences des plans se cumulent avec celle du plan d'épandage d'Oudon biogaz.


Les MRAe recommandent de compléter l'étude d'impact avec une analyse des effets cumulés du plan d'épandage du projet avec d'éventuels autres plans d'épandage, existants ou en projet, sur le même périmètre d'étude.

Les changements dans l'usage des sols et les effets sur les milieux naturels

Changements dans l'usage des sols :

Les effets du projet paraissent modérés en la matière : l'artificialisation des sols est en effet limitée à la parcelle de l'unité de méthanisation, soit 5 hectares.

5 L'arrêté DigAgri1 définit les conditions dans lesquels le digestat peut être considéré non comme un déchet mais comme un produit normalisé et commercialisé auprès de tiers sans nécessité d'établir un plan d'épandage a priori.

16/24


Cependant, le projet nécessite aussi l'utilisation d'emplacements de stockages décentralisés.

Pour le digestat solide, il s'agit de réutiliser tout ou partie des installations préexistantes de stockage des fumiers en les affectant en totalité au stockage du digestat solide en attente d'épandage ou en prévoyant une séparation physique si un besoin de stockage de fumier au sein de la même installation demeure. Ce mode de fonctionnement concerne 67 exploitations (le nombre d'installations concernées n'est pas communiqué, certaines exploitations pouvant utiliser plusieurs installations) pour un volume total qui sera utilisé de près de 28 000 m³. Vingt-trois exploitations ne disposent pas d'installation disponible ou pas en volume suffisant. Le stockage sur le site de l'unité de méthanisation, à hauteur de 8 000 m³ disponibles pour un besoin de près de 6 500 m³, servira alors de stockage complémentaire ou subsidiaire au stockage sur l'exploitation.

Pour le digestat liquide, la SAS Oudon biogaz va aussi utiliser des stockages décentralisés par création de poches avec agitateur, par création de fosse équipée de géomembrane ou par réutilisation de fosses existantes disponibles en totalité ou réutilisées partiellement suite à cloisonnement. Les installations de stockage du digestat liquide seront mutualisées : 28 installations de stockage décentralisées seront mises en place pour l'ensemble des exploitations, dont les 3 principaux sites représenteront la moitié des 72 000 m³ de stockage nécessaires.

En définitive, le projet utilisera 11 ha de terrains comme emplacements de stockage décentralisés dans les exploitations agricoles (cf. étude d'impact – volet B, page 175).

Par ailleurs, le projet annonce aussi l'utilisation pour la méthanisation de végétaux issus de cultures dédiées (129 ha) ou de prairies dédiées (16 ha), hors cultures dérochées⁶. Cet apport complémentaire aux déjections animales et aux déchets d'industries agro-alimentaires semble nécessaire au processus de méthanisation et ne peut être réalisé en volume suffisant par les exploitations agricoles associées.

Au-delà de la surface nécessaire à la production de ces CIVE (cultures intermédiaires à vocation énergétique), il existe des espaces de stockage des CIVE chez les exploitants ; la surface qu'ils représentent n'est pas précisée dans le dossier mais doit être ajoutée aux surfaces précédentes nécessaires pour le projet.

Au total, en fonctionnement normal après mise en service du projet, 161 ha n'auront donc plus de vocation alimentaire mais permettront uniquement un fonctionnement normal de l'unité de méthanisation, soit une vocation exclusivement énergétique. Cette surface, qui représente 2,1 % de la surface des exploitations participantes au projet, reste importante en valeur absolue. Le dossier ne met pas en évidence cet impact du projet.

Enfin, le dossier n'aborde pas les conséquences éventuelles sur la teneur en matière organique des sols de l'exportation de carbone sous forme de biogaz.

Les MRAe recommandent de mettre en évidence les changements dans l'usage des sols générés par le projet ainsi que la surface qui sera soustraite d'un usage agricole à vocation alimentaire au profit d'une vocation exclusivement énergétique.

Milieux naturels :

Pour ce qui concerne l'unité de méthanisation, les enjeux écologiques sont présents essentiellement en périphérie du projet. Le projet prévoit une bande de retrait d'au minimum 2,5

⁶ Culture dérochée : culture intermédiaire à croissance rapide qui s'intercale entre deux cultures principales.

à 3 m entre la limite du projet et le pied de la haie. Cette zone tampon serait favorable à la préservation de la haie. En tant que zone de transition fauchée annuellement après le 1^{er} septembre, elle compléterait la fonction de corridor écologique actuelle de la haie. En outre, le démarrage des travaux est prévu hors période de reproduction des oiseaux (d'avril à août).

L'atteinte principale de l'unité de méthanisation aux milieux naturels résidera alors dans l'arrachage d'une portion de haie de 80 m linéaire nécessaire pour la réalisation de l'accès routier. Pour éviter la destruction d'individus nicheurs ou hivernants, le dossier prévoit de réaliser l'arrachage entre septembre et novembre. De plus une compensation est prévue via la réalisation d'une nouvelle haie le long du « tourne à gauche » et de la route départementale 153 ainsi que sur la lisière ouest de l'unité de méthanisation. Toutefois, la recherche d'une solution alternative pour éviter l'arrachage ou le réduire ainsi que la longueur, le type de haie et la nature des espèces replantées ne sont pas précisés au dossier.

Pour ce qui concerne le plan d'épandage, quelques parcelles sont situées en zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF). Des épandages de digestat y seront réalisés. L'étude d'impact considère que cette pratique ne devrait pas avoir d'incidence négative sur les milieux remarquables dans la mesure où elle succédera à des épandages de fumiers et lisiers présentant moins de garanties de bonne gestion.

Par ailleurs, le plan d'épandage est susceptible d'enrichir progressivement les sols en éléments traces métalliques. Au-delà du respect des valeurs limites réglementaires au niveau des concentrations dans les sols, dans le digestat et épandues en cumulé sur 10 ans ainsi que du suivi des concentrations des éléments traces métalliques dans les digestats, le suivi des concentrations dans les sols pourrait être proposé.

Les MRAe recommandent de compléter les mesures de suivi du projet par des mesures des concentrations en éléments traces métalliques dans les sols objets d'épandage.

Au vu de la nature agricole ou agro-alimentaire de la biomasse utilisée pour la méthanisation, le dossier conclut à l'absence d'impact significatif sur les teneurs des sols en éléments traces organiques, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et polychlorobiphényles (PCB).

En outre, la volatilisation d'ammoniac pourrait produire des impacts sur les écosystèmes naturels proches pauvres en azote. Cette volatilisation est fortement limitée par les bonnes pratiques d'épandage qu'il est prévu de mettre en œuvre. En revanche, l'existence de stockages de digestat, solide et surtout liquide, non couverts reste favorable à la volatilisation d'ammoniac. Ces incidences potentielles du projet n'ont pas été évaluées. Le dossier doit être complété sur ce point.

L'étude d'impact évoque enfin l'amélioration de la structure des sols permise par le projet grâce à l'utilisation d'un matériel d'épandage adapté, plus léger et avec plus de portance qu'une tonne à lisier attelée classique.

Incidences Natura 2000 :

Le dossier conclut à l'absence d'incidences de l'unité de méthanisation comme du plan d'épandage sur les sites Natura 2000 du fait de leur éloignement, de l'absence de rejets significatifs dans l'air ou les eaux superficielles et des mesures prises pour limiter le lessivage. Cette conclusion n'appelle pas d'observation de la part des MRAe.

18/24
[Signature]

Les effets sur l'environnement humain

Le projet est susceptible de générer un ensemble d'effets affectant son environnement humain, notamment en matière de bruit, d'odeurs, de qualité paysagère, de trafic et de sécurité routières ou de gestion des risques (incendie, explosion, rejets atmosphériques).

Bruit

Le dossier présente une estimation des niveaux sonores maximum diurnes et nocturnes atteints à la suite de la mise en service du projet en limite de l'emprise de l'unité de méthanisation ainsi qu'au niveau des quatre hameaux les plus proches. Au niveau formel, le dossier se contente de constater que les émergences sonores (différences entre le niveau de bruit ambiant avec et sans le projet) resteront inférieures aux limites réglementaires sans qualifier l'impact du projet.

Au vu des résultats présentés, les effets du projet sur l'environnement sonore resteront globalement modérées. L'émergence la plus forte est attendue la nuit au niveau du hameau de La Grange au sud-ouest de l'unité de méthanisation, avec un doublement du niveau de bruit ambiant soit +3 dB(A). Le niveau de bruit attendu, inférieur à 40 dB(A), reste cependant très faible.

Concernant le bruit issu de la circulation routière générée par le projet, le dossier examine la situation liée au transport du digestat entre l'unité de méthanisation et les stockages déportés ainsi qu'entre les stockages déportés et les sites d'épandage. Aucune nuisance acoustique n'est attendue au vu de la localisation des stockages déportés, de la faiblesse globale du trafic généré et de sa concentration sur quelques semaines de l'année avec un trafic limité à moins de 10 rotations par jour sur les périodes d'épandage. Toutefois, le bruit issu de la circulation routière liée à l'apport des matières organiques à méthaniser depuis les exploitations jusqu'à l'unité de méthanisation ne fait pas l'objet d'un examen dans l'étude d'impact.

Les MRAe recommandent de compléter l'examen du bruit généré par le projet avec celui lié au trafic d'apport des matières organiques des exploitations agricoles et industries agro-alimentaires jusqu'à l'unité de méthanisation.

Odeurs

Le projet prévoit des mesures techniques courantes pour éviter les émissions olfactives au niveau de l'unité de méthanisation : le stockage et le traitement de la biomasse potentiellement odorante ainsi que des digestats se tiennent dans des espaces fermés sous aspiration et filtration d'odeurs, la méthanisation a lieu dans des réacteurs étanches, le biogaz n'est jamais rejeté directement dans l'atmosphère (échappement d'urgence par la torchère).

Une étude de dispersion des odeurs autour de l'unité de méthanisation présente les environs du site concernés par un dépassement du seuil couramment considéré comme la limite de nuisance olfactive plus de 175 heures par an dans des conditions de vent normale pour le secteur.

La dispersion des odeurs semble ainsi plus importante vers le sud du site. La limite de nuisance calculée atteint certains bâtiments d'exploitation du hameau de La Grange au sud-est du site. L'étude d'impact conclut toutefois à l'absence de nuisance olfactive pour le voisinage. Cette conclusion paraît, en l'état, prématurée et insuffisamment justifiée.

19/24
K

L'absence de nuisance olfactive pour le voisinage devra donc être vérifiée a posteriori via un dispositif de suivi de la gêne ressentie, qui pourrait utilement associer les riverains.

Les MRAe recommandent de vérifier la conclusion de l'étude de dispersion des odeurs autour du site de l'unité de méthanisation par la mise en œuvre de mesures de suivi en exploitation, en relation avec les riverains.

Au niveau des stockages déportés du digestat, le projet réutilise en partie des installations existantes. Les émissions d'odeurs devraient cependant être réduites par rapport à la situation actuelle car la méthanisation est reconnue comme méthode permettant de désodoriser la matière organique. Il est enfin stocké majoritairement dans des espaces couverts. Les installations de stockage à construire sont toutes situées à plus de 100 m des tiers. Concernant le digestat liquide, l'absence de couverture systématique des fosses existantes réutilisées conduisent les MRAe à s'interroger : une justification est attendue sur ce point.

Enfin, le projet apportera une réduction des nuisances à l'épandage, pour les mêmes raisons tenant à la nature du digestat par comparaison avec le lisier brut. De plus, l'utilisation de matériels adaptés (automoteurs ou tonnes avec pendillards, patins ou enfouisseurs pour le digestat liquide, épandeur vertical pour le digestat solide) permet d'éviter la dispersion de digestat dans l'air. Pour les exploitations qui n'utilisent pas ce type de matériel pour épandre leur fumier ou lisier, il s'agit là encore de facteurs permettant de réduire les émissions d'odeurs en phase d'épandage par rapport à la situation actuelle. Le dossier conclut logiquement à une réduction des nuisances à l'épandage.

Qualité paysagère


L'unité de méthanisation sera nettement visible depuis la route départementale 153. La limitation de la hauteur des bâtiments à 12 m, le traitement architectural des constructions et la préservation de la haie arborée à l'est du site conduisent le dossier à conclure à une absence d'incidence significative sur le paysage du Haut-Anjou mayennais. Cette conclusion, valable à l'échelle du grand paysage, doit être relativisée car ce projet industriel imposera fortement sa présence visuelle à une échelle de proximité. Les MRAe considèrent que, même si le projet fait état d'un effort de maîtrise de l'insertion paysagère, sa réalisation aurait une incidence résiduelle notable sur le paysage.

Trafic et sécurité routières

Le trafic routier journalier moyen généré par le projet restera modéré⁷, principalement du fait du fonctionnement en continu de l'unité de méthanisation et de la répartition des livraisons de matières organiques afin d'éviter toute concentration temporelle. Aucun trafic de camions ne sera réalisé de nuit ou les dimanches et jours fériés.

7 Selon les routes :

- +2,7 % de trafic au plus
- trafic poids lourds total de 17,17 % au plus
- +50 % de trafic PL au maximum (soit +5,4 PL par jour sur une route fréquentée par 219 véhicules par jour en moyenne)

20/24


Pour sécuriser l'accès à l'unité de méthanisation depuis la route départementale 153 en provenance de l'est, le projet prévoit la mise en place d'un « tourne à gauche par la droite ».

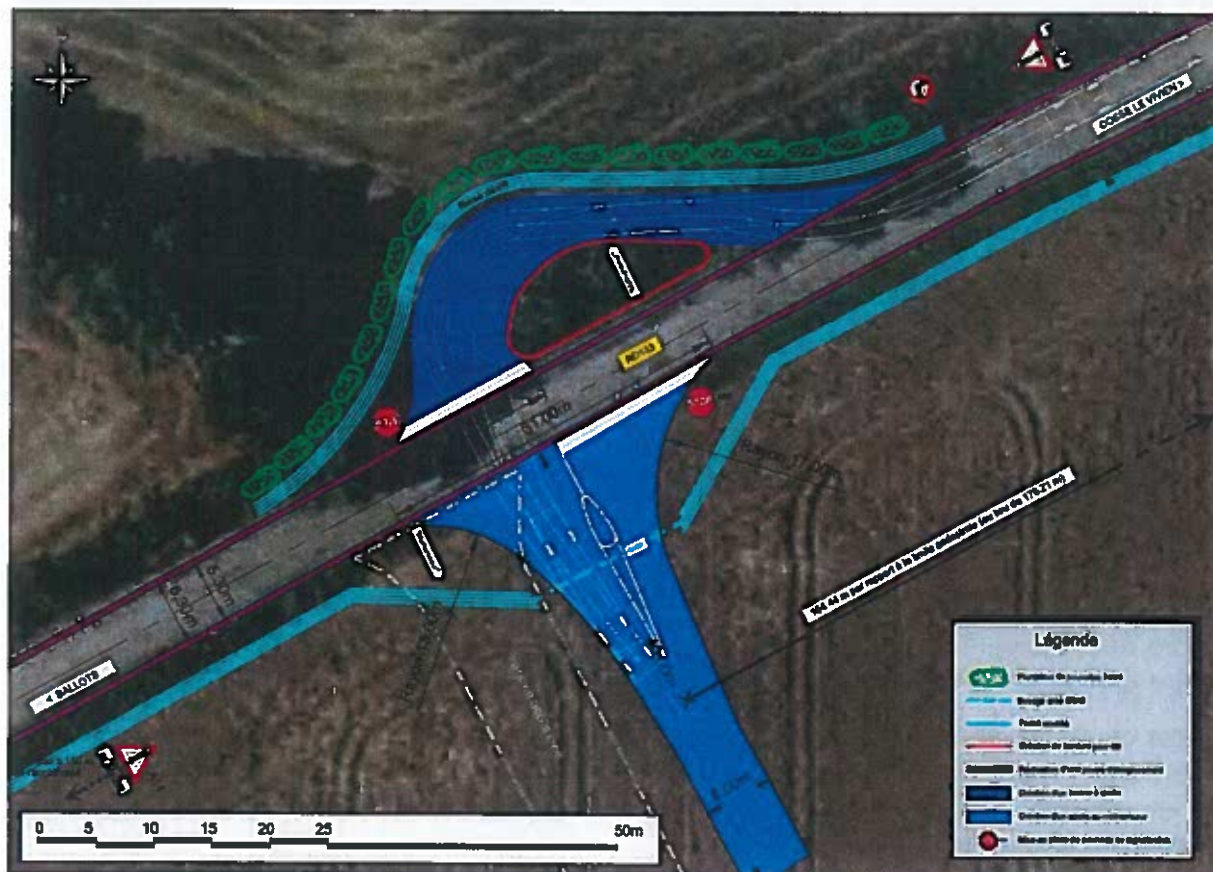


Figure 4: plan du tourne à gauche par la droite (source : étude d'impact - volet A - page 135)

En phase d'épandage, les trafics seront réduits par la mutualisation du stockage des digestats liquides. Le rayon d'épandage autour de chaque site de stockage décentralisé sera au maximum de 10 km, selon le tableau des pages 228-230, et non 4 km comme annoncé page 195. De plus, l'utilisation de matériel d'épandage spécifique permettra d'augmenter les volumes transportés et de réduire le nombre de trajet depuis les sites de stockage décentralisés vers les parcelles d'épandage par rapport à la situation actuelle.

Risques sanitaires :

Une évaluation des risques sanitaires a retenu l'ammoniac, l'hydrogène sulfuré, les poussières et le dioxyde d'azote comme polluants significatifs potentiellement rejetés dans l'atmosphère par l'unité de méthanisation. Une modélisation a été effectuée en tenant compte d'hypothèses majorantes. L'exploitation de ce site ne devrait pas présenter d'impact sanitaire significatif sur la santé de la population environnante en fonctionnement normal des installations et en l'état actuel des connaissances.

21/24
[Signature]

L'évaluation du risque sanitaire spécifique à l'impact de l'épandage des digestats sur les riverains conclut à un risque sanitaire moindre comparé à l'épandage des déjections animales brutes auquel il se substitue. Le risque sanitaire résiduel est considéré comme négligeable. Toutefois les MRAe notent l'absence d'éléments relatifs au risque de pollution des sols par des éléments traces métalliques.

Risques technologiques et naturels :

Les principaux risques examinés sont les risques d'explosion, d'incendie, de rejets toxiques dans l'air et lié à la foudre. Des mesures de limitation des risques sont prises. La cartographie des risques montrent que les effets restent inclus dans la parcelle de l'unité de méthanisation, sauf pour le risque d'explosion qui touche aussi la proximité immédiate de la parcelle, y compris les cultures voisines et la route départementale 153 au droit du projet. Les bâtiments des tiers les plus proches ne sont pas concernés.

Les scénarios élaborés sont jugés par le dossier de gravité modérée.

Gestion des déchets :


L'unité de méthanisation produira des déchets, principalement des boues et hydrocarbures issus du débourbeur séparateur (pour un volume estimé à quelques m³ par an) ainsi que du charbon actif usagé utilisé dans le biofiltre (environ 11 t par an). Ils seront éliminés pour traitement en centre de traitement de déchets dangereux (cas des boues et hydrocarbures) ou régénérés en centre spécialisé (cas des filtres à charbon).

En cas de non-conformité du digestat produit par rapport aux cahiers des charges prévus, il est possible de le retraiter sur site en pasteurisation, voire de le refaire circuler en méthanisation. En cas de nouvelle non conformité, il faudra prévoir une élimination adaptée, hors valorisation agricole, du volume de digestat concerné.

En outre, malgré les précautions prises en termes de fiabilité de l'installation et d'anticipation des risques (cf. l'étude danger), le dossier envisage l'éventualité d'une panne prolongée de l'installation. Dans une telle situation, les matières organiques qui ne pourront être méthanisées sur le site seront orientées vers d'autres filières de traitement : autres installations de méthanisation ou d'élimination, valorisation directe possible par plan d'épandage pour les déjections animales et effluents d'élevage. Les végétaux ensilés peuvent être conservés jusqu'à deux ans. En revanche, l'entreposage sur site des déchets liquides des industries agro-alimentaires est limité à 5 jours ; au-delà, la conception des installations risque de provoquer des nuisances. Leur évacuation vers des sites de traitement autorisés sera nécessaire.

2.5 Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets

Le récapitulatif des mesures d'évitement, de réduction et de compensation des incidences potentielles de l'unité de méthanisation est présenté page 154 du volet A de l'étude d'impact. La plupart des mesures présentées sont toutefois la conséquence de la simple application de la réglementation. Il ne s'agit donc pas de mesures d'évitement, de réduction ou de compensation des impacts du projet. De plus, le tableau oublie la replantation de haies en compensation de la destruction de 80 ml pour la réalisation du « tourne à gauche par la droite ».

22/24


Concernant le plan d'épandage, aucun récapitulatif des mesures du projet n'est présenté.

Un suivi biennuel pour chaque type d'intrant est prévu afin de contrôler leur qualité agronomique et leur innocuité. Le dossier ne précise pas la liste des caractéristiques objets de ce suivi alors qu'il s'agit d'un point essentiel.

Un suivi mensuel des caractéristiques des digestats est proposé pour les trois premières années. Les paramètres suivis sont précisément décrits (volet B de l'étude d'impact, page 204). Toutefois, la fréquence peut paraître faible compte tenu des importants volumes de digestat produit et au regard de l'objectif d'un pilotage fin de la fertilisation, tant azotée que phosphorée.

La programmation des épandages dans le strict respect des réglementations issues des arrêtés directive nitrates à l'échelle nationale et régionale est considérée comme le moyen de limiter au mieux le risque de lessivage de l'azote. Les pratiques d'épandage seront précisément enregistrées au niveau de chaque exploitant et un double sera conservé par la SAS Oudon biogaz au titre de sa responsabilité liée à l'usage des digestats. Un suivi agronomique en sera tiré et permettra d'assurer la traçabilité des pratiques.

Des analyses des sols sont évoquées au titre du respect des arrêtés de protection des captages d'eau potable. Le dossier ne précise ni les paramètres qui seront suivis, ni leur fréquence, ni si ces analyses des sols concerneront la totalité des parcelles d'épandage, y compris hors des périmètres de protection de captage.

Enfin, au regard des objectifs du projet, il paraîtrait utile de suivre aussi la quantité de biogaz injectée au réseau ainsi que la quantité réelle d'engrais minéral auquel les digestats seront substitués de façon à mesurer la réduction d'usage des engrais minéraux et de montrer le bénéfice apporté par le projet du point de vue de l'optimisation de la fertilisation.

Formellement, un récapitulatif des mesures prises et des suivis à réaliser pourrait être complété ou réalisé, selon le cas, pour faciliter l'accès au dossier pour le public.


Les MRAe recommandent de préciser et compléter le dispositif de suivi du projet (process de méthanisation et épandages) en qualité et en fréquence afin de pouvoir garantir la protection des sols et de la ressource en eau et d'évaluer ses bénéfices environnementaux.

2.6 Méthodes

La présentation des méthodes des différentes analyses techniques réalisées pour contribuer à l'étude d'impact sont rapportées de façon hétérogènes dans le dossier. Certaines sont relativement détaillées (par exemple concernant la modélisation de la dispersion atmosphérique des odeurs). D'autres sont omises (caractérisation des zones humides par exemple).

2.7 Résumé non technique

Le dossier propose deux résumés non techniques, un pour chacun des volets de l'étude d'impact. Le maître d'ouvrage a fait le choix de présenter son étude d'impact en deux volets mais il s'agit d'une seule et unique étude d'impact pour le projet. Il convient donc de présenter un résumé non technique qui regroupe l'ensemble des informations sur le projet, ses alternatives, ses incidences environnementales, la démarche d'évitement de réduction et, le cas échéant, de compensation des impacts, etc.

22/24


La MRAe recommande de rédiger un unique résumé non technique afin de permettre au public d'avoir une vision d'ensemble du projet et de ses impacts.

Pour le reste, les deux résumés non techniques sont relativement clairs et reflètent les qualités et les manques du dossier précédemment évoqués.

3 Conclusion

Le dossier décrit bien le projet au niveau à la fois de l'unité de méthanisation et du plan d'épandage associé et des stockages décentralisés. Une présentation synthétique et lisible de l'emprise géographique du projet est cependant attendue.

L'étude d'impact est présentée en deux volumes. La différence de structure entre eux et l'absence de synthèse commune au niveau du résumé non technique ne facilite pas la vision globale des incidences du projet.

La contribution du projet en fonctionnement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre est précisément calculée sans que les éléments présentés permettent aux MRAe de se prononcer sur les résultats annoncés.



L'évaluation des effets du projet en tant que tels reste sommaire et ne permet pas de caractériser suffisamment le bénéfice attendu du projet sur les pratiques de fertilisation et la réduction des pollutions diffuses (y compris celles liées aux émissions d'ammoniac).

Le dossier analyse insuffisamment les changements dans l'usage des sols générés par le projet. 161 ha seront ainsi soustraits d'un usage agricole alimentaire ou de production de matière au profit d'une vocation exclusivement énergétique.

Les impacts pour le voisinage restent modérés, tant au niveau du bruit que des odeurs notamment.

Enfin, des compléments sont attendus concernant l'absence d'atteinte aux zones humides, la présentation des scénarios alternatifs au projet retenu et les mesures de suivi en relation avec les gênes pour le voisinage, le bilan énergétique et l'évolution des pratiques de fertilisation.

Nantes, le 24 juillet 2020

<p>Pour la MRAe Pays de la Loire, par délégation, le président de séance,</p>  <p>Bernard Ablai</p>	<p>Pour la présidente de la MRAe Bretagne, et par délégation</p>  <p>Antoine Pichon</p>
--	---

24/24



Sébastien BOURDIN – Enseignant-Chercheur, EM Normandie, Caen (France)

François RAULIN – Ingénieur de Recherche, EM Normandie, Caen (France)

Le déploiement de la méthanisation sur les territoires : Quels leviers face aux formes d'oppositions sociales ?

Résumé

Le développement de la méthanisation sur les territoires fait face à des formes d'oppositions sociales pouvant remettre en cause la réussite des projets. Dans ce cadre, les porteurs de projet doivent mettre tout en œuvre pour favoriser les différents types de proximités entre acteurs (géographique et organisée) afin de mener à bien leur projet. A partir d'entretiens semi-directifs, nous avons analysé le discours des parties prenantes de la méthanisation et leurs liens afin d'identifier et comprendre les freins au développement des projets de méthanisation collective. Pour cadrer notre analyse, nous avons mobilisé une grille originale croisant la théorie des proximités et le modèle *exit-voice* développé par Albert O. Hirschman. Il en résulte que les défauts de coordination entre acteurs et de concertation sont souvent à l'origine de confrontations amenant les porteurs de projets à abandonner la construction d'une unité de méthanisation.

Mots-clés

Concertation, méthanisation, parties prenantes, proximités, territoire

Introduction

Il est généralement connu que les sources d'énergie fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) et leur exploitation s'accompagnent d'externalités négatives telles que la pollution environnementale, l'aggravation de la qualité de vie de la population locale (Haines, 2006 ; Pasten et Santamarina, 2012) ou la baisse de l'attractivité territoriale et de l'activité touristique (Frantal et Kunc, 2011). Par ailleurs, l'exploitation des ressources épuisables est mal perçue car elle contribue au réchauffement climatique. Compte-tenu des arguments susmentionnés, le soutien aux sources d'énergie renouvelables devrait être répandu. Or, la réalité semble plus compliquée. Trouver de nouveaux emplacements pour des installations d'infrastructures produisant de l'énergie renouvelable n'est pas une tâche facile. Le syndrome de résistance sociale NIMBY (Not-In-My-Backyard) les accompagne bien souvent. Tout le monde veut habiter dans un endroit où il fait bon vivre, mais personne ne veut supporter les coûts associés. Dans le contexte des énergies renouvelables, ce concept largement discuté (Wolsink, 2000 ; Burningham, 2000 ; Van der Horst ; 2007 ; Devine- Wright, 2005, 2013 et 2014) fait référence à une attitude de la population qui soutient les énergies renouvelables au niveau mondial, national ou régional, mais pas au niveau local. Lorsque de tels projets sont situés à proximité d'espaces résidentiels, les personnes les refusent fréquemment. On retrouve même parfois des attitudes plus radicales dénommées sous le concept BANANA (Build-Absolutely-Nothing-Anywhere-Near-Anyone), où l'on refuse de construire quoi que ce soit (Cossu, 2006 ; Wolsink, 2007 ; Greenberg, 2014).

Alors que la littérature est abondante sur la question de l'acceptabilité sociale des éoliennes (Fortin et Fournis, 2017), on retrouve très peu d'études sur la méthanisation alors même que son développement est encouragé au niveau européen et national. Or, pour les installations de traitement des déchets organiques à vocation de production énergétique, la résistance de la population locale a été identifiée comme le plus grand problème d'implantation des unités de méthanisation. On retrouve des levées de boucliers des habitants au niveau local qui craignent les impacts d'odeurs, les risques d'explosion, l'intensification du trafic ainsi que la perte de la valeur de leur propriété. Aujourd'hui, on recense que peu de travaux qui traitent de cette question de l'acceptation sociale de la méthanisation (Soland et al., 2013 ; Schumacher et Schultmann, 2017), visant à négocier des compromis de localisation entre les habitants concernés, les municipalités et les investisseurs.

Dans ce contexte, l'objectif de cette communication est d'analyser le discours des parties prenantes de la méthanisation afin de comprendre les freins et leviers à son développement. L'économie de la proximité (Torre et Rallet, 2005), initialement développée pour traiter des problèmes de coordination productive avec intégration explicite de leur dimension spatiale (analyse des systèmes productifs locaux, de la géographie de l'innovation, de l'ancrage territorial des firmes, etc.), se penche depuis peu aux conflits d'usage environnementaux (Torre et Zuideau, 2009 ; Torre et al., 2014) en mobilisant pour cela la distinction fondatrice de cette « école de pensée » entre la proximité géographique, d'une part, qui traite de la distance géographique, et la proximité organisée, d'autre part, qui traite de la distance cognitive. Or, il nous semble que cette grille de lecture est appropriée pour étudier ce qui explique que de nombreux projets peinent à voir le jour en France. Par ailleurs, il nous semble pertinent de croiser cette grille de lecture avec le modèle *exit-voice* développé en 1970 par Hirschman, dans le prolongement des travaux de Torre et Zuideau (2009). Hirschman (1970 et 1986) propose en effet une analyse particulièrement stimulante, qui se nourrit des apports des sciences économiques et des sciences politiques, et qui permet de recenser précisément les différentes solutions qui s'offrent aux acteurs pour remédier à des dysfonctionnements ou sortir des conflits qui émergent au sein d'une organisation. Les analyses en termes de proximité peuvent alors être vues comme un prolongement de ce modèle, dès lors que l'on prend acte du fait que les possibilités et l'efficacité des stratégies d'*exit* et de *voice* analysées par Hirschman dépendent de la situation des acteurs dans l'espace physique (rôle de la proximité géographique) et dans leurs relations cognitives (rôle de la proximité organisée). En retour, le recours à l'analyse de Hirschman permet de préciser l'analyse de la notion de proximité organisée et d'en tirer des implications importantes en termes de compréhension des conflits et des modalités de leur résolution.

Après avoir présenté, dans la première partie de la communication, la littérature relative à l'acceptabilité sociale des projets d'énergies renouvelables d'une part, et la grille d'analyse résultant du croisement entre le modèle *exit-voice* et les proximités d'autre part, nous développons la méthodologie adoptée. Puis nous proposons de l'appliquer au cas de projets de méthanisation développés dans le Grand-Ouest de la France. Enfin, nous concluons et faisons quelques recommandations en termes de politiques publiques.

1. Acceptabilité sociale et levées de boucliers sur les énergies renouvelables

1.1. Énergies renouvelables et oppositions locales

Tout d'abord, il convient de reconnaître que les projets d'énergie renouvelable sont très hétérogènes, allant de l'installation d'un système photovoltaïque sur le toit d'une maison jusqu'à l'implantation d'un grand parc éolien de plusieurs mégawatts sur plusieurs hectares. Ces projets diffèrent donc par l'ampleur de l'installation, les risques qu'ils impliquent dans la zone au niveau local, les incertitudes dans ces risques, le type de propriété, le type de portage (public, privé, agricole, mixte) et les acteurs impliqués dans la planification de l'installation. Malgré ces différences, les installations d'énergie renouvelable présentent de nombreuses caractéristiques communes qui les distinguent de l'implantation d'autres installations à vocation énergétiques telles que les centrales nucléaires ou les puits de pétrole. L'énergie renouvelable tend à être fortement soutenue par l'opinion publique, alors que des activités telles que l'utilisation de l'énergie nucléaire et fossile, la combustion des déchets et les usines chimiques rencontrent de plus en plus de résistance. Pourtant, malgré le soutien de la population au niveau global du développement des énergies renouvelables, on retrouve bien souvent de fortes oppositions au niveau local.

Les travaux sur les raisons du développement de l'opposition locale sont essentiellement les mêmes et découlent des inquiétudes concernant les effets de l'installation, le manque de confiance dans le développeur et le manque d'opportunités pour les citoyens d'influencer les résultats du projet (Kasperson *et al.*, 1992 ; Aitken 2010 ; Wolsink, 2010). Dans la plupart des cas, la question de l'acceptabilité sociale est posée (Fortin et Fournis, 2017) et les personnes s'inquiètent réellement des effets possibles de l'installation et ont tendance à ne pas percevoir le projet comme respectueux de l'environnement.

Le fait qu'un projet concerne les énergies renouvelables ne signifie pas qu'il sera automatiquement bien accueilli par tout le monde. De fait, les leçons concernant les processus de planification inclusifs et participatifs sont aussi importantes ici que dans l'implantation d'autres installations. Il ressort des travaux que les personnes qui s'y opposent ne sont généralement pas négatives en soi vis-à-vis du développement des énergies renouvelables. Elles critiquent l'emplacement choisi et la façon dont elles ont été sélectionnées et dimensionnées (Burningham, 2000 ; Devine-Wright, 2005, 2013 et 2014 ; Batel *et al.*, 2013). Walker et Devine-Wright (2008) ont discuté des avantages de ces projets pour la population au niveau de la communauté locale. Ils arrivent à la conclusion que

les projets les plus rentables en général (et les plus faciles à faire accepter par le public) sont des projets collectifs réunissant des acteurs locaux et où les habitants sont invités à participer au processus de préparation de l'implantation des éoliennes afin d'avoir la possibilité d'influencer les décisions finales. Dans le cas de la méthanisation, l'exclusion de la participation du public dans la prise de décision a contribué au développement de l'opposition des installations de biogaz (Edwards *et al.*, 2015). L'opposition à un projet spécifique est souvent liée aux résidents locaux qui ont une perception négative de la méthanisation et de l'opportunité limitée qu'ils ont pour influencer le processus de planification.

1.2. Une grille d'analyse pour évaluer la gouvernance territoriale des projets de méthanisation

Analyser la gouvernance territoriale d'un projet de méthanisation et comprendre les modalités de résolution des conflits suppose de s'appuyer sur une théorie plus générale de la coordination entre acteurs. Pour cela, nous proposons de mobiliser le modèle *exit-voice* développé par Hirschman (1970 et 1986), auquel nous apportons plusieurs compléments, en mobilisant les travaux de l'école de la proximité (Torre et Rallet, 2005). L'intérêt de ce croisement réside dans sa capacité, d'une part, à identifier l'ensemble des modalités de résolutions envisageables pour répondre à un conflit lié à l'implantation d'une usine de biogaz, et, d'autre part, à montrer en quoi l'ensemble des solutions mobilisables se réduit, selon la situation des acteurs dans l'espace géographique et dans l'espace

Dans les cas de projets de méthanisation, le processus de décision d'un acteur va logiquement être influencé par sa localisation (proximité géographique) et la nature des relations qu'il entretient avec les autres acteurs touchés par le projet (proximité organisée). Nous nous basons donc logiquement sur les travaux les plus récents de l'économie de la proximité, appliqués à l'analyse des conflits d'usage et de voisinage (Torre et Zuindeau, 2009 ; Torre et al., 2014) et remobilisons les notions de proximité géographique, celle-ci pouvant être subie ou recherchée, et de proximité organisée, avec des logiques de similitude et d'appartenance (Gilly et Torre, 2000). La proximité géographique subie correspond à la situation d'acteurs qui se voient imposer la proximité géographique de personnes, d'activités, d'objets techniques ou de lieux, sans être en mesure de se déplacer et de changer de localisation. C'est le cas des projets d'unités de méthanisation où certains habitants se voient imposer une implantation d'une unité proche de leur résidence. La proximité organisée concerne différentes manières qu'ont les acteurs d'être proches – en dehors de la relation

géographique – notamment de manière cognitive. Selon la logique d'appartenance, les relations entre acteurs sont facilitées parce qu'ils appartiennent à une même organisation ou institution, avec parfois des valeurs communes. Par exemple, la coopération entre habitants appartenant à une même association est, a priori, plus facile à développer que s'ils appartiennent à des associations différentes ou que s'ils ne sont membres d'aucune association. La logique de similitude quant à elle se réfère à l'adhésion mentale à des catégories communes. La similitude vécue est créée autour de projets partagés, de valeurs identiques, de connaissances communes échangées en réseau, etc., dans le cadre d'une relation réciproque. C'est par exemple le cas d'agriculteurs qui partagent un des valeurs et techniques communes ; ils peuvent être localisés dans des territoires éloignés (distance géographique forte) mais la distance cognitive qui les sépare est très faible, car les systèmes de référence sont analogues.

En croisant le modèle d'Hirschman à celui de la grille des proximités, il est alors possible de comprendre les formes que peuvent prendre les conflits et les facteurs explicatifs des oppositions aux projets de méthanisation. Quand la proximité géographique est subie, les acteurs sont contraints dans leur localisation et l'*exit* spatial (la fuite) est quasiment impossible. Dans le cas de la méthanisation, l'*exit* spatial est rendu difficile du fait que la dépréciation immobilière liée à la proximité à une usine de biogaz entraîne un coût d'opportunité du déplacement trop élevé. De fait, les riverains n'auront de choix que de faire valoir leur *voice* (prendre la parole). La proximité organisée, appréhendée comme un facilitateur de relations, aura quant à elle plutôt un impact sur la nature du *voice* observé. Ainsi, la proximité organisée favorise le développement et rend plus efficaces les tentatives de concertation entre les acteurs (*voice*-concertation), alors que son absence condamne ce type de solution et coïncide davantage avec le développement d'affrontements entre les acteurs (*voice*-confrontation).

Dans le cas où la proximité organisée entre toutes les parties prenantes est forte et il existe des logiques d'appartenance et/ou de similitude entre elles, les acteurs pourront recourir au *voice*-concertation. Le choix d'une solution plutôt qu'une autre dépendra du bilan coût/avantage réalisé par les acteurs et, pour reprendre l'analyse de Hirschman, de la loyauté des membres vis-à-vis de l'organisation. Lorsque la proximité de coordination est faible, le *voice*-concertation n'est alors plus efficace et les acteurs ont donc seulement le choix entre le *voice*-confrontation ou l'*exit* spatial. Il est fait ici l'hypothèse que l'engagement dans la concertation ou au contraire dans la confrontation dépend de l'efficacité des dispositifs de coordination et du degré de proximité

organisée préexistant. En cas de défaillance de ces dispositifs, les acteurs se tourneront plutôt vers la confrontation. Si, au contraire, les dispositifs s'avèrent efficaces, les acteurs seront incités à se tourner vers la concertation et l'on observera alors une meilleure acceptabilité sociale.

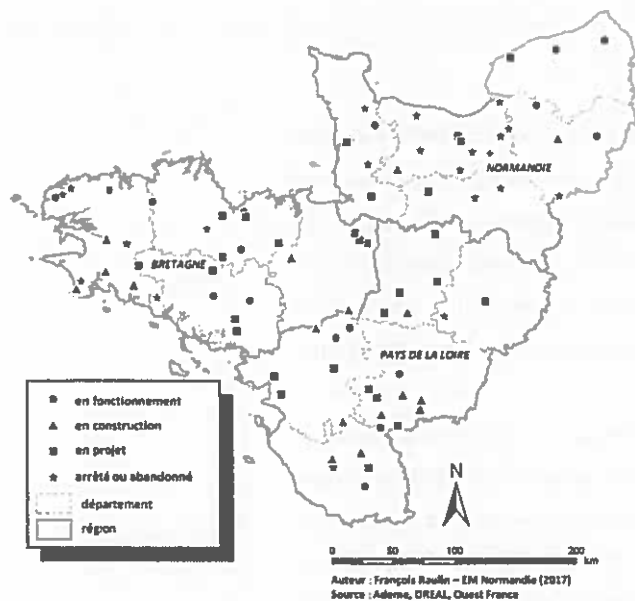
2. Méthodologie

Notre aire d'étude s'étend sur trois régions administratives françaises : la Normandie, la Bretagne et les Pays de la Loire¹. Ces territoires font partie du Grand Ouest français qui est une zone géographique caractérisée par des espaces agricoles productifs où l'élevage constitue près de la moitié du chiffre d'affaires de ce secteur à l'échelle nationale. En effet, l'industrie agro-alimentaire est fortement représentée dans cette zone, notamment en Bretagne et Pays de la Loire qui sont respectivement première et deuxième région agro-alimentaire française en termes d'effectif salarié (source : INSEE). Depuis le début des années 2000, 86 projets de méthanisation collective avec une valorisation exclusive ou partielle de déchets issus de la biomasse ont émergé dans le Grand-Ouest français au 1^{er} Janvier 2017 (figure 1). Contrairement aux projets dit « à la ferme » où une exploitation seule décide de valoriser ses déchets agricoles², les projets collectifs ont une dimension territoriale avec la participation d'apporteurs de déchets au profil varié (collectif d'agriculteurs, industrie agro-alimentaire, syndicat mixte de déchets, etc). Outre les agriculteurs, les projets peuvent aussi être portés par des entreprises spécialisées dans le développement des énergies renouvelables ou des collectivités locales pour citer les exemples les plus fréquemment observés.

¹ Ces trois régions composent le territoire d'action du programme de recherche PSDR IV GO (Grand Ouest).

² Même si bien souvent ces agriculteurs collectent d'autres types de déchets au fort pouvoir méthanogène ailleurs pour alimenter leur méthaniseur.

Figure 1. Les projets de méthanisation territoriale dans le Grand Ouest français en janvier 2017

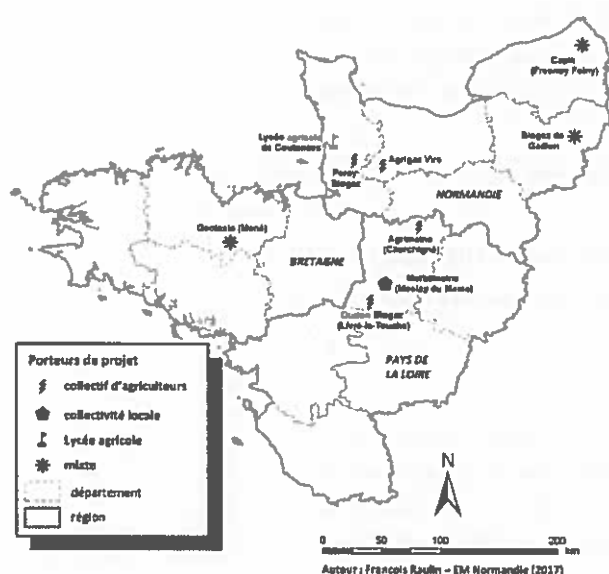


Nous avons mené une campagne de 49 entretiens auprès des acteurs de la méthanisation entre Juillet 2016 et Février 2018. Les entretiens de type « semi-directif » ont un double objectif : identifier les freins et leviers du projet puis appréhender sa gouvernance territoriale. Ces entretiens ont été enregistrés puis retranscrits afin de faciliter le travail d'analyse. Un échantillon de neuf terrains d'étude (soit environ 10% de l'ensemble des projets) a été sélectionné pour mener ces entretiens³ (figure 2) : cinq projets en Normandie (Lycée agricole de Coutances, en projet et porté par un établissement scolaire ; Capik à Fresnoy-Folny, en fonctionnement depuis 2011 et porté par un industriel énergétique, une coopérative céréalière et EDF ; Biogaz de Gaillon, en fonctionnement depuis 2013 et porté par une collectivité locale ainsi qu'un industriel environnemental ; Percy Biogaz à Percy-en-Normandie, arrêté et porté par un collectif d'agriculteurs ; Agrigaz Vire à Vire-Normandie, en cours de construction et porté par un collectif

³ Le choix de la majorité des projets sélectionnés pour l'étude s'est basé sur les conventions passées entre le projet de recherche et les projets de méthanisation.

d'agriculteurs), trois projets en Pays de la Loire (Agrimaïne à Charchigné, en cours de construction et porté par un collectif d'agriculteurs ; Oudon Biogaz à Livré-la-Touche, en projet et porté par un collectif d'agriculteurs ; Methamaïne à Meslay du Maine, en projet et porté par une collectivité locale) et un projet en Bretagne (Geotexia au Mené, en fonctionnement depuis 2009 et porté par un collectif d'agriculteurs, un industriel énergétique et la Caisse des Dépôts et Consignations). Nous nous focaliserons sur trois de ces terrains d'étude (Lycée agricole de Coutances, Percy Biogaz à Percy-en-Normandie et Biogaz de Gaillon) afin d'analyser leur gouvernance territoriale et leur mobilisation ou non des proximités dans la réalisation de leur projet.

Figure 2. Les neuf projets de méthanisation territoriale dans le Grand Ouest français retenus pour la campagne d'entretiens auprès des acteurs



3. Résultats

3.1. Les difficultés de la gouvernance territoriale des projets de méthanisation collective : des proximités mal organisées

À partir de la campagne d'entretiens réalisée auprès des acteurs de la méthanisation de neuf projets collectifs dans le Grand-Ouest français, nous avons interrogé les difficultés de mise en œuvre de la gouvernance territoriale de ces projets.

Dans un premier temps, nous nous intéressons à l'analyse de la proximité géographique subie des riverains ou des habitants face à un projet de méthanisation voisin. Quelques *verbatim* extraits de notre campagne d'entretiens permettent d'illustrer plusieurs de ces craintes ou désagréments subies par cette proximité géographique non désirée. Ce sont surtout les nuisances (olfactive, sonore, etc) provoquées par la proximité d'une unité de méthanisation en fonctionnement qui ont été évoquées par plusieurs riverains enquêtés :

Effectivement, au début, ça sentait d'ailleurs même le rat crevé. Là, c'est différent. C'est une odeur très persistante. Maintenant, c'est plus des végétaux, de choux, comme du chou pourri, quoi ! Quand il y a du vent d'est, bien sûr ! Quand il n'y a pas de vent d'est. Nous, on ne sent pas (riverain de l'unité de méthanisation Geotexia au Mené, Côtes d'Armor).

Quand le projet a été implanté, on n'a pas eu le choix. Là, on subit les odeurs (riverain de l'unité de méthanisation Biogaz de Gaillon à Gaillon, Eure).

La possibilité de voir s'installer une unité de méthanisation suscite également des craintes de la part de riverains, notamment autour de l'augmentation du trafic routier comme à Livré-la-Touche en Mayenne ou bien par le surdimensionnement de l'unité comme à Percy-en-Normandie (*verbatim*).

La méthanisation, c'est une bonne chose. Mais, on est un petit peu comme tout le monde... En fait, comme le projet se trouvait en face de chez nous, on était un petit peu contre parce qu'il y aurait eu les odeurs mais c'est surtout la circulation qui allait nous gêner parce qu'ils allaient nous remodeler la route qui est en face de chez nous, et ça allait impacter directement sur notre exploitation (riverain du projet de méthanisation à Percy-en-Normandie, Manche).

Notre analyse montre que le manque de communication ou de concertation entre les acteurs, notamment de la part des porteurs de projet, peut être un véritable frein au bon déroulement des projets. En effet, il ne suffit pas d'appartenir au même territoire (logique d'appartenance de la proximité organisée) et d'avoir des référentiels communs (logique de similitude de la proximité

organisée) pour que le projet réussisse. Il est tout aussi important que les parties prenantes soient suffisamment ouverts (principe de coprésence développé par Grabher et al. (2018)) sur les enjeux socio-économiques et environnementaux de la méthanisation pour dépasser leurs intérêts singuliers au profit d'un intérêt collectif du territoire à s'engager dans un tel projet. Lorsque les habitants se sentent mal informés ou pas impliqués dans le processus de construction du projet, ils font alors valoir leur *voix* en s'opposant au projet (*voix*-confrontation) et en s'organisant autour d'une association locale (logique d'appartenance pour faciliter la proximité organisée).

Le dossier était presque fini quand, nous, on en a entendu parler ! On ne pouvait pas se laisser faire (riverain du projet de méthanisation à Vire-Normandie, Calvados).

Pourtant, des solutions existent en termes de communication, comme dans le cadre de l'unité de méthanisation de Gaillon qui sert à chauffer notamment le bassin extérieur du centre aquatique intercommunal. Par un grand panneau affiché à l'entrée de la piscine, on explique ainsi à son utilisateur que celle-ci est chauffée à partir d'une énergie renouvelable produite localement et créant de la valeur ajoutée sur le territoire. Ce type de pédagogie autour des projets permet, bien souvent, d'améliorer la compréhension, et donc l'acceptation sociale.

Une faible proximité organisée s'exprime également lors d'un manque de relations entre porteur de projet et autres parties prenantes impliquées. Le potentiel de mobilisation entre acteurs socio-économiques n'est alors pas optimisé.

{Le porteur de projet} a oublié de nous inviter! [...] Ils ont fait la réunion, sauf qu'ils nous ont oubliés (partenaire agricole du projet de méthanisation de Coutances, Manche).

Aussi, le manque de proximité organisée se manifeste dès lors que les porteurs de projet affrontent une opposition organisée. Dans cette situation conflictuelle où le jeu d'acteurs fait l'objet d'un dysfonctionnement, les acteurs externes à la proximité organisée se mobilisent en une autre proximité organisée afin de contrecarrer le déroulement du projet de développement :

Il y a eu une levée de boucliers du conseil municipal et des habitants à cause du projet dans la commune. Le maire a souhaité faire une réunion d'information avec le voisinage et le conseil. On était trois de Percy Biogaz à aller à la mairie de la commune pour présenter le projet. Les discussions ont été très virulentes, tant au niveau de Percy Biogaz, que par rapport aux craintes du voisinage, que par rapport au maire et à ses conseillers à qui il lui a été dit : « Tu nous l'as caché! Tu attends le dernier moment! ».

Au regard de ces exemples, le manque de liens ou de coordination entre acteurs résulte d'une faible logique d'appartenance et d'une faible logique de similitude participant à la déconstruction de

connexions entre acteurs locaux. Ce manque de liens est directement lié aux lacunes des acteurs à organiser les formes de proximités, renforçant la possibilité de certains acteurs de faire valoir leur *voice-confrontation*.

3.2. Analyse de trois cas d'étude

Les projets de méthanisation collectifs peinent à voir le jour alors qu'ils sont susceptibles d'engendrer des retombées positives pour les territoires dans le cadre de la transition énergétique. À l'échelle locale, ces projets, complexes, réunissant de multiples acteurs aux horizons divers, connaissent des problèmes de nature sociale. Le problème de la coordination entre acteurs et celui de l'acceptabilité sociale sont souvent l'objet de dysfonctionnements entraînant une chaîne d'effets négatifs perturbant le déroulement des projets. Afin de comprendre l'importance des jeux d'acteurs assurant la réussite ou l'échec des projets de méthanisation, il est ici proposé d'effectuer une analyse des proximités pour les projets de méthanisation afin d'approfondir la compréhension des processus de coordination entre acteurs prenant part aux trois projets énergétiques territoriaux (de Coutances, de Percy-en-Normandie et de Gaillon). D'abord, le projet du lycée agricole de Coutances rend compte d'un manque de coordination locale entre le porteur du projet et les parties prenantes. Ensuite, le projet de Percy Biogaz dénote un manque de conjonction entre la proximité géographique recherchée par le monteur de projets et la proximité géographique potentiellement subie par les habitants/riverains ; cette situation est également révélatrice d'une faiblesse de la proximité organisée à l'échelle locale. Finalement, le projet Biogaz de Gaillon a su mobiliser les deux types de proximité (organisée et géographique) pour développer son unité de méthanisation avec les différents acteurs (locaux et régionaux) avec peu d'oppositions de la part des riverains/habitants.

3.2.1. Coutances: Un projet territorial qui manque de coordination locale

Le Lycée agricole de Coutances (figure 3) porte un projet de méthanisation en tant qu'acteur pivot avec les autres acteurs impliqués dans la démarche de projet selon deux périodes temporelles, soit de 2010 à 2014 ($t=0$) et de 2015 à 2017 ($t=1$).

Alors que le lycée agricole de Coutances, en tant que monteur de projets, a renforcé ses liens de proximités organisées durant la période 2010 – 2014 ($t=0$), ceux-ci se sont amenuisés pour la plupart vers la fin de cette période jusqu'à devenir inactivés à partir de 2015 avec de nombreux acteurs ($t=1$). Ce changement s'est opéré suite aux nombreux freins rencontrés au cours du projet, qu'ils s'agissent d'obstacles associés à la technicité, à la réglementation, au social ou au financement, en ayant des incidences sur la dynamique des acteurs.

Par exemple, étant donné le manque de financement du projet, Naskéo Méthajade (en tant que concepteur/constructeur travaillant sur la dimension technique du projet) a influencé le lycée agricole pour changer le *process*, ce qui a nécessité une modification du choix logistique, et de fait le partenariat avec la CUMA locale. Autrement dit, le lycée a choisi de changer de *process* et de mettre ainsi fin à son partenariat avec les agriculteurs. Ainsi, un problème de financement a entraîné un choix technique qui a impacté des partenariats entre acteurs.

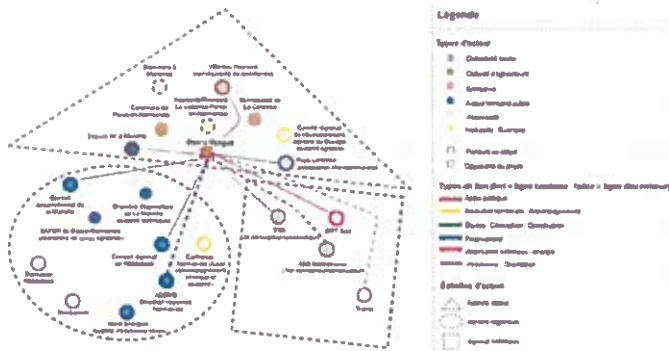
Malgré les freins rencontrés, les pertes de partenariat traduisent avant tout une faible logique d'appartenance au projet. En effet, en tant que porteur de projet, le lycée agricole a joué le rôle d'acteur pivot et a rassemblé les partenaires locaux (fournisseurs d'intrants et/ou récupérateurs de biomasse/énergie) ainsi que les autres acteurs concernés. Toutefois, ces acteurs n'ont été impliqués que ponctuellement et temporairement dans la démarche de montage du projet de méthanisation du lycée au cours de la période 2010 - 2014. De plus, l'analyse des acteurs invités aux réunions de projet nous montre qu'aucune réunion ne rassemblait l'ensemble de ces acteurs, en particulier ceux qui auraient pu être en opposition au projet. Dans cette situation, les partenaires impliqués se retrouvaient sans vision globale de l'avancement du projet et sans connaissance de l'ensemble des acteurs. Le mode de coopération, de nature sporadique et unidirectionnelle, ne pouvait donc pas actionner la création d'une réelle collaboration et renforcer le sentiment d'appartenance à un projet commun. Par ailleurs, la logique de similitude partagée par le lycée et les différents acteurs était plutôt faible, car, bien que la proximité géographique ait pu les réunir, les représentations et les modes de fonctionnement réciproques, distincts, n'ont pas participé à une mobilisation forte et à la concrétisation d'actions communes lors du montage du système énergétique recherché ; cela est d'autant plus vrai étant donné la spécificité des activités professionnelles de chacun.

En ce sens, alors qu'il était prévu un retour sur investissement par le lycée, il était entendu que les agriculteurs fournissent leurs ressources organiques sans contrepartie financière. Cet exemple met clairement en évidence la différence d'intérêts entre les deux parties prenantes impliquées. Au final, les logiques d'appartenance et de similitude, faiblement développées, ont permis l'émergence de relations de proximités organisées, sans qu'elles soient affirmées au courant de l'évolution du projet, ce qui, inévitablement, avec les nombreuses contraintes rencontrées, a entraîné une déconstruction des connexions établies entre acteurs. Il en résulte que le projet du lycée agricole de Coutances n'est plus à ce jour un projet collectif, mais bien un projet individuel. Cependant, comme le projet en est encore à un stade d'étude, les connexions qui existaient pourraient éventuellement être réactivées ou bien d'autres liens sociaux pourraient être créés.

3.2.2. Percy-Normandie: Une gouvernance locale des acteurs en difficulté face à une opposition organisée

Le projet de méthanisation de Percy Biogaz est porté par un collectif de 25 agriculteurs regroupés en association depuis 2012 afin de valoriser le biogaz en injection. Comme pour le projet du lycée agricole de Coutances, Percy Biogaz, en tant qu'acteur pivot, se situe au centre d'une dynamique génératrice de relations sociales avec d'autres acteurs. La figure 4 représente la cartographie sociale des acteurs impliqués dans le projet de Percy Biogaz entre 2012 et 2017.

Figure 4. Carte sociale des acteurs impliqués dans le projet de méthanisation de Percy Biogaz de 2012 à 2017



Dans le cadre de l'analyse des proximités relative à un projet de développement tel que celui de Percy Biogaz, il importe de tenir compte de l'acceptabilité sociale du projet, et plus précisément de l'acceptation par la population du lieu d'implantation de la future unité de méthanisation sur le territoire de la commune, étant donné la faible distance entre l'usine et les habitations (proximité géographique subie).

Plus précisément, avant que la population soit renseignée sur la localisation potentielle du projet, Percy Biogaz diffusait déjà dans la presse locale des articles afin d'informer la population de l'avancement du projet. Tant que le projet en restait au stade de l'étude, il ne suscitait aucune réaction particulière de la part de la population.

Cependant, dès que le premier lieu potentiel d'implantation de l'unité (situé sur une parcelle agricole non loin d'habitations) a été connu par les habitants, le projet a suscité de vives réactions. À l'issue d'une séance tenue par le conseil municipal de Percy-en-Normandie, les habitants ont continué à exprimer fortement leur *voix* selon une logique de contestation à l'égard du projet. Bien que leur prise de position fût identique, elle ne l'était pas pour les mêmes raisons. En effet, certains habitants étaient des riverains immédiats et craignaient d'être dérangés par des nuisances quotidiennes. D'autres habitants, pour des raisons différentes (*a priori* négatif vis-à-vis de l'agriculture ; implication dans des associations environnementales, notamment contre l'éolien) ne souhaitaient pas que l'on porte atteinte à leur bien-être et à leur qualité de vie. Dans tous les cas, ces acteurs ne souhaitaient pas favoriser un projet de changement au sein de leur localité et être incommodés par des nuisances, qu'elles soient olfactives, visuelles ou sonores et ont monté une coalition, comme cela a déjà été observé par le passé dans le cas de l'implantation d'éoliennes (Mander, 2008).

Au final, le conseil municipal a voté contre le choix parcellaire pour cause d'impact possible sur le voisinage. Pourtant, initialement, le maire de la commune, étaient favorables à la localisation. On retrouve ici un phénomène de NIMEY (Not In My Electoral Year) déjà montré dans la littérature sur des projets de production d'énergie renouvelable (*ie.* Holtz, 2013). Il s'agit de réactions contradictoires qui conduisent les décideurs politiques à tenir compte de l'hostilité de l'opinion publique dans leur prise de décision finale. Au regard de cette situation, les habitants n'ont même pas eu besoin de se mobiliser autrement que par la prise de parole directe pour se faire entendre (voix-confrontation). De plus, bien que la proximité organisée entre les agriculteurs adhérents à Percy Biogaz ait été légèrement affaiblie par le départ de certains, et que cela ait occasionné une légère déstabilisation du fonctionnement interne du groupe, l'existence du collectif n'a pas été remise en question. En effet, grâce aux logiques

Demandeur de l'autorisation :

SAS OUDON BIOGAZ

Adresse courrier et du siège social :

3 rue du Portugal
53400 CRAON

Site objet de ce dossier

La Garenne
53400 LIVRE LA TOUCHE

Contact :

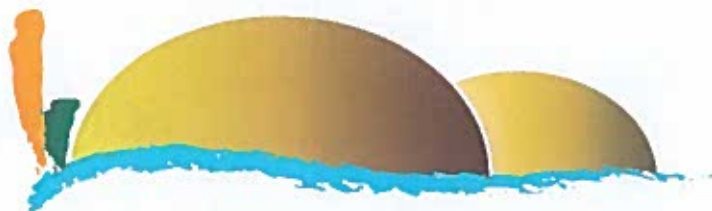
Damien SALMON
06 42 92 53 94
Hervé COLAS
06 22 80 13 73

Dossier ICPE réalisé par :



IMPACT ET ENVIRONNEMENT

2, rue Amédéo Avogadro
49070 BEAUCOUZE
Tél. 02 41 72 14 16
Fax : 02 41 72 14 18
contact@impact-environnement.fr
<http://www.impact-environnement.fr>



OUDON BIOGAZ

La méthanisation par les éleveurs du Pays de Craon

**DEMANDE D'AUTORISATION
ENVIRONNEMENTALE**

REPONSE A L'AVIS DES MRAE

**Rubriques des activités au titre de la nomenclature
des installations classées pour la protection de
l'environnement soumises à :**
Autorisation : 2781.2 ; 3532

**Le Commissaire Enquêteur
Jean Claude LE LAY**

Septembre 2020

Référence : 001060_OUDONBIOGAZ_reponses_MRAE_V0.1

*Ce document qui comprend 23 pages
a été fourni par le LE LAY + 57 pages
communicées auquelier.*

SOMMAIRE

I.1. AVIS DES MISSIONS REGIONALES D'AUTORITE ENVIRONNEMENTALE (MRAE) PAYS DE LA LOIRE ET BRETAGNE	3
I.1.1. Présentation du projet et des aménagements projetés.....	3
I.1.2. Procédures relatives au projet.....	4
I.1.3. Principaux enjeux environnementaux relevés par la MRAE.....	4
I.2. ANALYSE DE L'ETUDE D'IMPACT.....	4
I.2.1. Analyse de l'état initial.....	4
I.2.2. Le choix du projet retenu parmi les solutions de substitution	6
I.2.3. L'articulation du projet avec les documents de planification.....	8
I.2.4. Analyse des impacts du projet et des mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces impacts.....	8
I.2.5. Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets.....	16
I.2.6. Méthodes.....	19
I.2.7. Résumé non technique	19
I.3. CONCLUSIONS.....	20
CHAPITRE II ANNEXES.....	22
II.1.1. Liste des annexes	23

I.1. AVIS DES MISSIONS REGIONALES D'AUTORITE ENVIRONNEMENTALE (MRAE) PAYS DE LA LOIRE ET BRETAGNE

I.1.1. PRESENTATION DU PROJET ET DES AMENAGEMENTS PROJETES

- *Les MRAE recommandent de compléter la présentation du projet par une carte donnant une vision synthétique de la localisation et de la répartition des parcelles d'épandage et des stockages déportés.*

La cartographie du parcellaire d'épandage et des stockages décentralisés à l'échelle 1 / 25 000^e est disponible en annexe 08 du plan d'épandage.

Vu l'emprise géographique du projet, il n'est pas possible de centraliser à la fois les parcelles du plan d'épandage et les sites de stockage du digestat au sein d'une même carte. De plus la carte obtenue serait illisible vue la taille de l'échelle à employer.

- **Les MRAE rappellent que, pour être complète, l'étude d'impact doit anticiper les impacts potentiels du raccordement des installations de production de biogaz au réseau public de distribution, en fournissant une première analyse des enjeux et des impacts éventuels en particulier pendant la phase travaux.**

L'impact de la phase travaux du poste de raccordement est intégré au chapitre dédié aux Impacts temporaires au chapitre II.2 du dossier de demande d'autorisation environnementale.

L'injection du biométhane sera réalisée dans le réseau public de distribution de gaz naturel.

Pour cela, l'exploitant du réseau va réaliser une extension du réseau public jusqu'au site de méthanisation et même au-delà pour connecter une autre installation. Cela montre que le projet collectif d'LOUDON BIOGAZ est complémentaire au développement d'autres projets sur le territoire de type à la ferme. S'agissant d'un réseau de distribution et non de transport, la réalisation de cette extension n'est pas soumise à cas-par-cas ou évaluation environnementale au titre de l'article R122-2 du code de l'environnement. Cette extension n'est pas non plus soumise à étude de dangers au titre des articles R. 555-2 et suivants du code de l'environnement.

Cette extension du réseau public sera réalisée dans le domaine public, par enfouissement d'une canalisation sous voiries ou accotements.

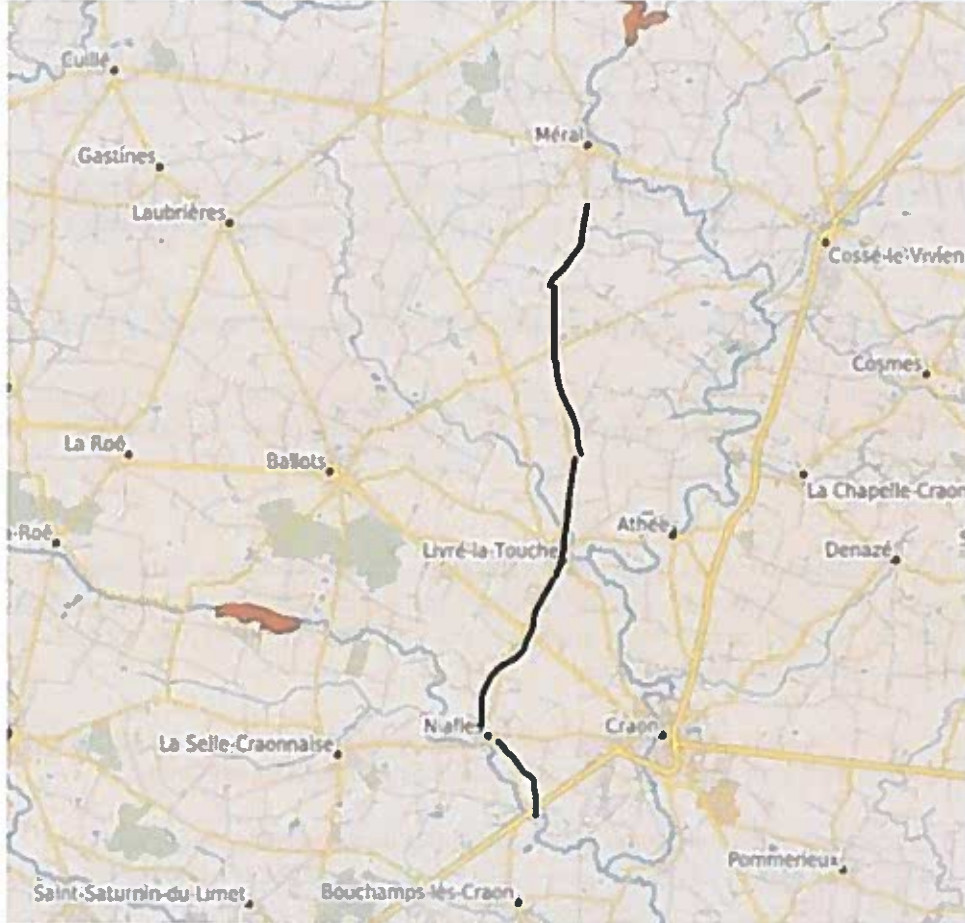
Les traversées de cours d'eau se feront par pose de canalisation sous le tablier des ponts, donc sans incidence sur les milieux aquatiques.

La société GRDF a été contactée dans le cadre de la remarque de la MRAE. Elle a pu apporter les éléments de réponse suivants.

Les décrets du 2 mai 2012 et du 10/11/2017 imposent des études de dangers pour les canalisations de distribution de PMS (pression maximale de service) > 16 bar ou de PMS > 10 bar et DN > 200 (dites « à hautes caractéristiques » - HC). Les ouvrages GRDF réalisés pour le raccordement d'LOUDON BIOGAZ sont exploités en PMS10 bar en Polyéthylène de diamètre 160 mm. ils sont donc exclus des ouvrages gaz soumis à étude de dangers. En outre, le poste d'injection est propriété de GRDF, exploité par GRDF, et il n'est pas soumis aux dispositions des études de dangers du site ICPE par une distance d'effet maximale, en fonction de la PMS, de 4 mètres.



Enfin, pour le tracé et durant la réalisation des travaux, il est à rappeler que les ouvrages se situent exclusivement dans l'emprise du domaine public, roulant si possible. Ainsi, il n'y a pas de destruction de zones humides, ni d'interactions avec le milieu puisque les routes empruntées sont déjà réalisées. Quand le territoire traversé est une zone naturelle d'intérêt, une attention particulière est prise encore davantage qu'un chantier traditionnel sur les gestion des déchets et eaux souillées par les travaux. Ici, nous n'avons pas recensé d'enjeux naturels particuliers.



Tracé prévisionnel de la canalisation de gaz

I.1.2. PROCEDURES RELATIVES AU PROJET

/

I.1.3. PRINCIPAUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX RELEVES PAR LA MRAE

/

I.2. ANALYSE DE L'ETUDE D'IMPACT

I.2.1. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL

- *Les MRAE recommandent de vérifier l'absence de zone humide au niveau des sites de stockage décentralisés à créer, d'une part, et des parcelles « épanchables », d'autre part.*

Une zone humide est définie comme des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salés ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ou dont la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année.

Au niveau des sites de stockage décentralisés à créer

La consultation du site Internet de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement des Pays-de-La-Loire (DREAL) a constitué une première aide à l'identification des zones humides. Les cartographies mises à disposition par la DREAL ne prélocalisent pas de plans d'eau et zones humides probables au niveau des emprises des constructions projetées.

Dans un second temps, une observation de la flore des terrains des sites de stockage décentralisés a été réalisée. Il a été vérifié l'absence de plantes hygrophiles.

Dans un dernier temps, l'hydromorphie des emprises de construction a été analysée. Cette vérification a été réalisée à l'aide des cartes pédologiques du Conseil départemental de la Mayenne pour les ouvrages situés en Mayenne. Il n'y a pas été détecté de classe d'hydromorphie 5 ou 6. Pour les 2 ouvrages situés en dehors de la Mayenne (F03 et F21), des sondages ont été réalisés. Il n'a pas été détecté de traits histiques ou réductiques. Des traits rédoxiques ont été mis en évidence mais à des profondeurs de plus de 60 cm.

Il y a bien absence de zone humide au niveau des sites de stockage décentralisés.

Concernant les parcelles d'épandage.

Les sols dont les classes d'hydromorphie sont de 5 et 6 (nombreuses tâches d'hydromorphie dès la surface ou matrice de l'horizon de surface réduite) sont des terrains habituellement inondés ou gorgés d'eau de façon permanente ou temporaire. Ces sols sont donc des zones humides. Leur aptitude à l'épandage est systématiquement de 0 et sont donc non épandables. Il n'y aura donc pas d'épandage de digestat sur ces zones humides.

Une zone humide se caractérise également par la présence d'une végétation dominée de plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année. Les parcelles sur lesquelles des cultures sont implantées ne présentent pas de végétation dominée de plantes hygrophiles. En revanche, les parcelles qui ne rentrent pas ou peu en rotation peuvent présenter pendant au moins une partie de l'année une végétation dominée de plantes hygrophiles. Une expertise de la flore a donc été réalisée sur l'ensemble des parcelles du plan d'épandage en prairie permanente et en prairie en longue rotation qui ont une classe d'hydromorphie différente de 5 ou 6. Les résultats de ces expertises sont consignés dans le tableau et les cartes présentes en annexe 10.

Les prairies permanentes et prairies temporaires qui présentent une végétation hygrophile sont donc des zones humides. Ces zones humides caractérisées par ce type de végétation ne recevront pas de digestat. En effet la SAS Oudon Biogaz s'engage à ne pas épandre de digestat sur les prairies permanentes et temporaires de plus de 5 ans.

Sur le SAGE de la Vilaine, des inventaires communaux de zones humides ont été réalisés. Sur certaines communes ces inventaires sont validés par la CLE, d'autres non validés ou doivent être mis à jour. L'ensemble des zones humides répertoriées par le SAGE de la Vilaine soit présentent une aptitude à l'épandage de 0 soit sont en prairies permanentes ou temporaires de plus de 5 ans.

En effet, les 300 hectares de prairies (sur les 2086 hectares de prairies) qui recevront du digestat seront exclusivement des prairies temporaires de moins de 5 ans rentrant en rotation rapidement.

Il y a bien absence de zone humide sur les parcelles d'épandage de digestat.



I.2.2. LE CHOIX DU PROJET RETENU PARMIS LES SOLUTIONS DE SUBSTITUTION

- **Les MRAE recommandent de compléter la justification des choix du projet parmi les solutions de substitution concernant :**
 - *le choix d'un site unique de méthanisation par opposition à une mutualisation partielle (sur plusieurs sites) ou à une méthanisation à la ferme ;*
 - *une représentation cartographique des différentes contraintes s'appliquant au choix du site et localisant le site retenu ainsi que les sites alternatifs éventuellement étudiés ;*
 - *l'analyse d'alternatives au niveau du choix des intrants (proportion de cultures dédiées, déchets issus d'industries agro-alimentaires, etc.) ;*
 - *l'analyse d'alternatives au niveau des installations de stockage décentralisé, notamment plus ou moins mutualisées.*

Agrégeant 76 exploitations, la solution d'un site unique permettait de répondre à la faisabilité financière de l'intégration d'une filière de méthanisation des effluents agricoles pour chacun des exploitations partenaires.

La réalisation de 76 unités de méthanisation à la ferme impliquerait un surcoût très important en développement, en construction et en exploitation, inaccessible pour certaines exploitations, et nécessiterait une surface agricole très importante pour la création des sites de méthanisation.

La réalisation de plusieurs unités de méthanisation mutualisées a été économiquement envisagée avec les bureaux d'études. Cela impliquerait également un surcoût important en développement, en construction et en exploitation qui pourrait exclure certains agriculteurs de ce projet.

Ainsi, le choix de la multiplicité des sites aurait exclu certains agriculteurs du projet ; aussi, le choix du nombre de sites ne permet pas d'amener de solution de substitution équivalente en termes de développement de la filière méthanisation au sein des exploitations agricoles du territoire.

Pour cette raison et afin d'intégrer ces 76 acteurs agricoles, il a été fait le choix d'une méthanisation collective unique.

De plus, le choix d'un site collectif unique permet d'assurer une gestion centralisée avec une équipe unique dédiée à la méthanisation et formée spécifiquement à la conduite d'une unité de méthanisation. Ce choix permet d'assurer la compétence et la bonne gestion du site de méthanisation. Cela permet aussi de ne pas faire effectuer certaines tâches aux agriculteurs parfois moins disponibles ou moins bien formés qu'un employé formé spécifiquement et connaissant très bien son outil de production et le processus mis en œuvre.

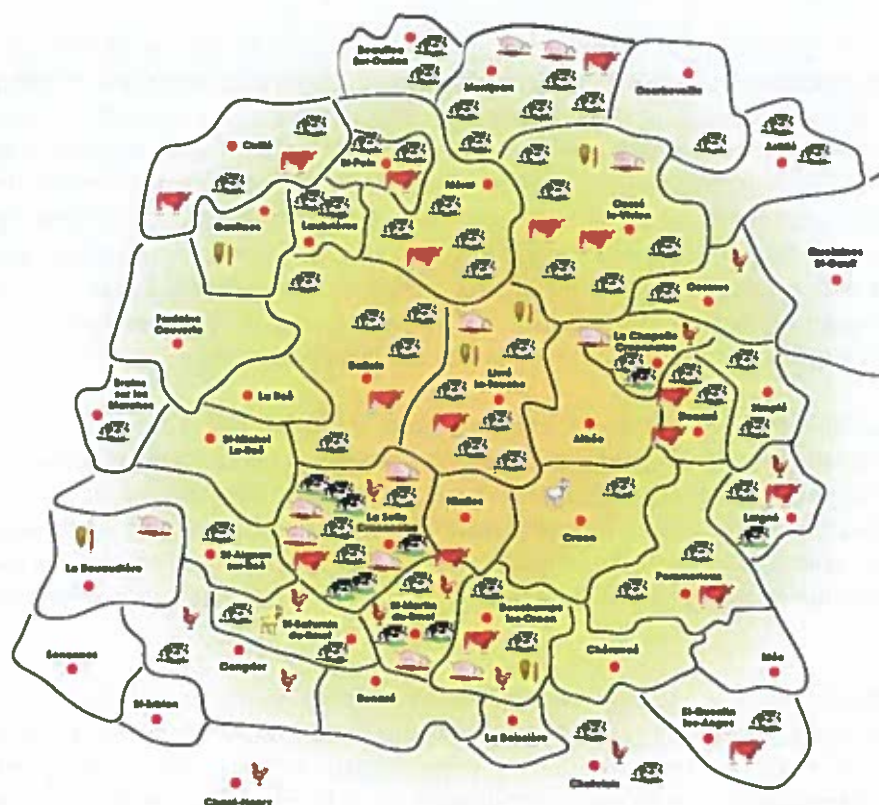
La localisation de la parcelle du site a fait l'objet d'une recherche approfondie. Un premier site d'implantation avait été trouvé et un premier projet avait été établi sur la parcelle correspondante. Ce projet qui prévoyait un raccordement sur le réseau de transport de gaz était situé à la limite des communes de Craon et Pommerieux. De nouvelles recherches de site d'implantation ont été menées, tirant les conclusions du premier site d'implantation et les suggestions des acteurs du territoire. Ainsi, le choix d'une nouvelle zone d'implantation a intégré plusieurs critères :

- l'optimisation de la distance du site aux exploitations des agriculteurs associées au projet, la proximité en infrastructure de transport de gaz (canalisation de gaz suffisamment importante pour pouvoir injecter le biométhane produit et suffisamment proche d'un lieu de consommation), la possibilité de transporter le gaz par la route (camion quotidien) pour une injection à distance a également été envisagée

Ces critères ont permis de déterminer que le territoire permettant de répondre au mieux à ces critères correspondait à celui de la commune de Livré-La-Touche.

La carte ci-après permet de localiser l'enjeu lié à la proximité des exploitations associées au projet.

L



Au sein de ce territoire d'implantation, OUDON BIOGAZ a pris en compte plusieurs critères afin d'effectuer le meilleur choix d'implantation :

- la distance du site aux habitations (au-delà de la limite de 50 m entre les digesteurs et les habitations exigée par la réglementation, OUDON BIOGAZ a souhaité implanter son unité de méthanisation en privilégiant une distance importante entre le site et les habitations et aux établissements sensibles
- l'accès à un axe routier permettant d'intégrer le trafic routier lié à l'unité de méthanisation (voirie permettant le croisement et le trafic quotidien de poids lourds)
- la limitation des impacts environnementaux (au stade du choix du site, ce critère a été évalué sur la base des zonages réglementaires)
- la compatibilité au document d'urbanisme (le site d'OUDON BIOGAZ est une installation agricole)
- la disponibilité du foncier
- la surface suffisante (environ 5 ha)

Les résultats de la recherche ont permis de positionner le site sur la parcelle d'implantation objet du présent dossier de demande d'autorisation environnementale.

OUDON BIOGAZ a synthétisé l'ensemble du développement de son projet sur son site internet <http://oudonbiogaz.info/>.

Le choix des Intrants a été fait sur la base des glissements disponibles auprès des acteurs locaux, essentiellement des agriculteurs, de ce qu'autorise la réglementation environnementale et sanitaire et de ce que peut techniquement traiter l'installation de méthanisation. A l'exception des cultures dédiées, les déchets intégrés dans le méthaniseur sont des déchets qui sont produits sans lien avec la méthanisation et qui le seront que l'installation de méthanisation soit créée ou non. Le traitement par méthanisation puis par valorisation agronomique permet un traitement des déchets avec une meilleure valorisation

environnementale que le simple épandage pour les déchets agricoles ou l'enfouissement pour les déchets industriels.

OUDON BIOGAZ a également fait le choix d'incorporer une partie de culture dédiée à la méthanisation, produite par les agriculteurs associés au projet. La réglementation française limite à 15 % le pourcentage de culture dédiée dans la ration globale du méthaniseur. OUDON BIOGAZ a travaillé à réduire cet apport à environ 5 % en valorisant au maximum ses autres déchets. Cependant, l'ajout de matière agricole issue de culture dédiée permet de garantir un apport faible mais constant de matière méthanogène (les récoltes sont ensilées) et structurantes (40 % des intrants sont du lisier liquides). Le choix d'incorporer des intrants provenant de culture dédiée assure une stabilité physique au gisement et permet également de garantir une partie de la viabilité économique. OUDON BIOGAZ a cependant travaillé à limiter au maximum l'apport d'intrant provenant de culture dédiée tout en gardant à l'esprit que ces matières participent au fonctionnement physicochimique de l'installation et à son bilan économique.

Oudon bio gaz a fait le choix de répartir les stockages sur le territoire au plus proche des zones d'épandages et non des exploitations agricoles pour optimiser les transports et les chantiers d'épandages. Cela permet notamment de limiter les nuisances potentielles liées au transport de digestat vis-à-vis de la situation actuelle et du transport de fumier et de lisier qui y est associé. Il a d'abord été répertorié les stockages réutilisables suite à la mise en place de l'unité de méthanisation. Puis il a été fait le choix de la mise en place de stockage décentralisé et mutualisé pour que la maintenance et la surveillance soient sous la responsabilité d'OUDON BIOGAZ.

Les stockages décentralisés et mutualisés nouvellement créés qui représentant l'essentiel du stockage (112 % du volume de stockage nécessaire et 93 % du volume prévu) sont implantés sur des parcelles dont OUDON BIOGAZ maîtrise le foncier en étant propriétaire. Cette maîtrise du foncier permet de garantir la pérennité de la capacité de stockage dans le temps indépendamment de l'évolution des exploitations agricoles.

Au-delà de maîtriser l'exploitation et la maintenance des stockages, la mutualisation et la décentralisation des stockages permet à OUDON BIOGAZ de maîtriser le fonctionnement global de son installation et donc de maîtriser son impact environnemental dans sa globalité.

I.2.3. L'ARTICULATION DU PROJET AVEC LES DOCUMENTS DE PLANIFICATION

/

I.2.4. ANALYSE DES IMPACTS DU PROJET ET DES MESURES D'EVITEMENT, DE REDUCTION ET DE COMPENSATION DE CES IMPACTS

- ***Les MRAE recommandent de compléter le bilan des gaz à effet de serre et de préciser les bénéfices apportés par le projet.***

Conformément à ce qui est demandé par l'administration, le bilan des gaz à effets de serre est établi avec l'outil de calcul DIGES (Digestion anaérobie et Gaz à Effet de Serre). Cet outil a été élaboré par le Cemagref et l'ADEME.

Les hypothèses du projet sont détaillées au chapitre II.3.13.1.3. du dossier de demande d'autorisation environnementale et dans son annexe 05.

Les hypothèses et la méthodologie de calcul apparaissent dans le guide méthodologique du logiciel disponible sur internet. Ce document est également fourni en Annexe 01 du présent document.

- ***Les MRAE recommandent de préciser le dimensionnement des fosses de stockage à l'air libre des digestats solides et liquides et de mentionner dans le dossier jusqu'à quel niveau de précipitation est garantie l'absence de fuite dans les milieux naturels.***

Le dimensionnement des ouvrages de stockage des digestats a été réalisé selon la méthode de calcul de la capacité agronomique. Le calcul de la capacité agronomique résulte de la confrontation du calendrier d'épandage prévisionnel (évacuation du digestat de l'ouvrage pour épandage) et du calendrier de réception des digestats dans l'ouvrage. Le calendrier d'épandage a été établi dans le respect des périodes d'interdiction d'épandage imposées par les arrêtés régionaux Directive Nitrate Pays de la Loire et Bretagne. Les périodes d'épandage prévues correspondent aux périodes d'épandage optimales d'un point de vue agronomique pour la fertilisation des plantes.

La capacité agronomique correspond au plus gros stock avant épandage. Ce calcul a été réalisé au global du projet mais aussi pour chaque ouvrage de stockage mutualisé ou non.

Le détail du calcul de la capacité globale est présent en page 180 et 182 du volet B.

Pour les fosses non couvertes stockant du digestat liquide a été rajouté au volume de digestat à stocker, le volume d'eau de pluie à stocker. Ce volume d'eau de pluie a été calculé selon la méthode IDELE répertoriée dans le guide « Calcul des capacités de stockage des effluents d'élevage ruminant, équin, porcin, avicole et cunicole ». Ce calcul est réalisé à partir de la hauteur de pluie et l'évapotranspiration potentielle de chaque mois. La station météorologique la plus proche disposant de ces données est Beaucouzé. Les données sont issues d'une moyenne sur les 20 dernières années (1998 à 2019). Enfin, tout ouvrage de stockage de liquide couvert ou non dispose d'une marge de sécurité en particulier pour éviter un débordement en cas de forte pluviométrie accidentelle (orage) ou en cas d'impossibilité d'épandre à la date prévue. On parle de hauteur de garde.

Le volume utile d'un ouvrage correspond au volume de stockage digestat et du volume de stockage de l'eau de pluie en cas d'ouvrage non couvert. Le volume réel correspond à la somme du volume utile et du volume de garde.

A titre d'exemple, la hauteur de garde est de 0.4m pour une fosse géomembrane non couverte et 0.5 m pour une fosse béton non couverte. Pour une poche, le volume de garde de la poche correspond à 13% du volume utile alors qu'il s'agit d'un stockage fermé non soumis aux précipitations.

Pour les ouvrages de stockage de digestat solide non couvert, les seuls effluents liquides produits et à stocker sont les eaux de pluies tombant sur l'ouvrage. En effet, le digestat solide ne produit pas de jus de par son taux de matière sèche élevé.

Avant la méthanisation, ces fumières stockent du fumier plus ou moins mou qui produit du jus appelé purin. Avant-projet, les effluents liquide issus des fumières sont les eaux de pluies mais aussi le purin des fumiers. Les fosses vont donc se retrouver surdimensionnées car les volumes d'effluents liquides produits par le stockage du digestat solide seront beaucoup moins élevés que ceux produits par le stockage du fumier.

Le dimensionnement des ouvrages de stockages à l'air libre permet ainsi de garantir l'absence de fuite vers le milieu naturel.








- Les MRAE recommandent de préciser et rendre homogènes les cartes d'épandage de l'annexe 4.

Note explicative des cartes

« Zones d'inaptitude à l'épandage »

Les contours en jaune sur les cartes correspondent aux parcelles pérennes sur lesquelles sont calculées les exclusions

Légende des raisons d'exclusion

-  Cours d'eau - trait plein IGN
-  Cours d'eau - trait pointillé IGN
-  Ruisseau busé
-  Puits
-  Habitations, tiers
-  Point d'eau, mare, étang
-  Zones de pente, autres utilisations, bois, vergers

Légende des surfaces interdites d'épandage

-  Digestat liquide buse interdit : 100m des tiers
-  Digestat interdit : 50m des tiers (sauf enfouisseur à proximité des tiers)

Zones d'inaptitude

-  Zone d'inaptitude 0
-  Zone d'inaptitude 1
-  Zone d'inaptitude 2

- **Les MRAE recommandent d'expliquer comment sera vérifié en gestion, sur chaque parcelle classée en secteur sensible au titre des nitrates ou du phosphore, que la balance du phosphore et de l'azote ne conduira pas à une augmentation de leur niveau de présence dans le sol. P216**

La réglementation directive Nitrate impose le respect de l'équilibre de la fertilisation azotée à la parcelle. Sur chaque parcelle du plan d'épandage un plan prévisionnel de fumure azote sera réalisé. En début de campagne, pour chaque parcelle, la dose d'azote à apporter sera calculée selon la méthodologie imposée par le GREN Pays de Loire et une prévision des apports azotés sera réalisée dans le respect de cette dose. En cours de campagne, les exploitants réaliseront les apports prévus et ajusteront leurs apports en cas d'utilisation d'Outils d'aide à la décision. En fin de campagne, il sera vérifié que la quantité d'azote réellement apportée ne dépasse pas la quantité d'azote dont avait besoin la plante. Cette analyse permettra de quantifier le niveau de présence de l'azote dans le sol après récolte.

Le SDAGE « Loire-Bretagne » (voir p 79 du volet B) a défini des zones prioritaires vis-à-vis du phosphore. L'état des lieux de ces zones montre que la problématique principale est le stock de phosphore élevé des sols, qui est susceptible d'être remobilisé et transporté dans les cours d'eau. L'objectif est de limiter les transferts de phosphore vers le réseau hydrographique. Les sous-bassins versants de la Vilaine Amont, la Seiche et le Semnon sont identifiés comme prioritaire et des parcelles d'épandage sont situées sur sous-bassins versants. Un plan prévisionnel de fumure sur l'élément phosphore sera établi pour les parcelles d'épandage situées sur ces sous bassins versants. Il sera déterminé chaque année le besoin en phosphore des parcelles selon la méthode COMIFER et les apports prévisionnels. Les exploitants réaliseront les apports prévus. En complément un suivi agronomique de ces parcelles par zone homogène sera réalisé avec notamment la mesure du taux de P205 dans les sols tous les 10 ans.

Enfin, les épandages de digestat seront réalisés à des périodes optimales d'un point de vue agronomique du fait de la détention de capacités de stockage adaptées. Les apports d'azote et de phosphore seront donc réalisés au plus près du besoin des plantes. Ils seront rapidement absorbés, ce qui limitera leur présence dans le sol à un instant donné.

- **Les MRAE recommandent de compléter l'étude d'impact en vérifiant l'adéquation entre les périodes d'interdiction d'épandage, les périodes optimales d'épandage, les capacités techniques d'épandage disponibles, les volumes de stockage de digestat disponibles et les conditions météorologiques constatées dans le passé.**

Le dimensionnement des ouvrages de stockage des digestats a été réalisé selon la méthode de calcul de la capacité agronomique. Le calcul de la capacité agronomique résulte de la confrontation du calendrier d'épandage prévisionnel (évacuation du digestat de l'ouvrage pour épandage) et du calendrier de réception des digestats dans l'ouvrage. Le calendrier d'épandage a été établi dans le respect des périodes d'interdiction d'épandage imposées par les arrêtés régionaux Directive Nitrate Pays de la Loire et Bretagne. Les périodes d'épandage prévues correspondent aux périodes d'épandage optimales d'un point de vue agronomique pour la fertilisation des plantes.

La capacité agronomique correspond au plus gros stock avant épandage. Ce calcul a été réalisé au global du projet mais aussi pour chaque ouvrage de stockage mutualisé ou non.

Le détail du calcul de la capacité globale est présent en page 180 et 182 du volet B.

Pour les fosses non couvertes stockant du digestat liquide a été rajouté au volume de digestat à stocker, le volume d'eau de pluie à stocker. Ce volume d'eau de pluie a été calculé selon la méthode IDELE répertoriée dans le guide « Calcul des capacités de stockage des effluents d'élevage ruminant, équin, porcin, avicole et cunicole ». Ce calcul est réalisé à partir de la hauteur de pluie et l'évapotranspiration potentielle de chaque mois. La station météorologique la plus proche disposant de ces données est Beaucozé. Les données sont issues d'une moyenne sur les 20 dernières années (1998 à 2019). Enfin,

tout ouvrage de stockage de liquide couvert on ne dispose d'une marge de sécurité en particulier pour éviter un débordement en cas de forte pluviométrie accidentelle (orage) ou en cas d'impossibilité d'épandre à la date prévue. On parle de hauteur de garde.

Le volume utile d'un ouvrage correspond au volume de stockage digestat et du volume de stockage de l'eau de pluie en cas d'ouvrage non couvert. Le volume réel correspond à la somme du volume utile et du volume de garde.

A titre d'exemple, la hauteur de garde est de 0.4m pour une fosse géomembrane non couverte et 0.5 m pour une fosse béton non couverte. Pour une poche, le volume de garde de la poche correspond à 13% du volume utile.

Concernant les capacités techniques d'épandage, l'objectif est d'épandre les digestats aux périodes agronomiquement optimales et avec le matériel le plus adapté. Ainsi, les épandages seront réalisés par plusieurs prestataires (ETA, CUMA), sélectionnés par appel d'offre. La multiplicité des prestataires permettra d'épandre de gros volumes sur des périodes de courte durée. En début de campagne, les volumes de digestat à épandre seront déterminés quinzaine par quinzaine et transmis aux prestataires afin qu'ils s'organisent en conséquence.

- **Les MRAE rappellent que l'étude d'impact doit exprimer le niveau des impacts résiduels du projet, après prise en compte, le cas échéant, des mesures d'évitement et de réduction qui seront mises en œuvre.**

Le projet, au niveau des parcelles d'épandage, a un impact positif sur l'amélioration de la qualité de l'eau, puisque les apports en azote et phosphore vers le réseau hydrographique vont être réduits :

- ✓ Les zones humides seront préservées du fait du non épandage de digestat sur ces zones
- ✓ Le stockage au champ des fumiers aura quasiment disparu
- ✓ L'épandage de digestat sera réalisé à des périodes optimales où les risques de transfert des éléments fertilisants sont très faibles du fait de la détention de capacités de stockage adaptées.
- ✓ Il y a interdiction ou limitation des apports de fertilisants minéraux phosphorés pour toutes les exploitations en lien avec le principe de l'équilibre de la fertilisation en phosphore. Aujourd'hui, du fait du classement de la majorité des élevages du projet aux régimes ICPE déclaration, les exploitants n'ont pas cette contrainte.
- ✓ Il y a diminution des apports minéraux en azote, du fait d'une fertilisation plus pilotée. Les teneurs en azote des digestats seront connues de manière précise et le matériel d'épandage sera plus adapté (enfouisseur, pendillard...)
- ✓ Il y a épandage de digestat sur des sols capables de bien valoriser les fertilisants organiques. En effet, en plus des distances d'épandage réglementaire, seules les parcelles aptes à l'épandage vont recevoir du digestat. Ce qui n'est pas le cas aujourd'hui, pour la majorité des élevages qui sont classés au régime ICPE déclaration, et où seules les distances sont à prendre en considération
- ✓ Il y a épandage à des périodes moins à risque de lessivage et d'érosion. En effet, l'épandage sur les parcelles d'aptitude 1 (soit 78% de la surface épandable) ne sera réalisé qu'en période de déficit hydrique c'est-à-dire en moyenne à partir de la mi-mars jusqu'à fin septembre. Aujourd'hui, la majorité des exploitations peuvent épandre à partir de début février jusqu'en novembre. De plus, les capacités de stockage du digestat sont dimensionnées pour faire face à des conditions climatiques inappropriées à l'épandage (période continue de pluie par

exemple). Ce qui n'est pas le cas actuellement, des ouvrages de stockage des effluents d'élevage.

- ✓ Une vérification des balances en phosphore et azote des parcelles situées en zones sensibles
- **Les MRAE recommandent de compléter l'étude d'impact avec une analyse des effets cumulés du plan d'épandage du projet avec d'éventuels autres plans d'épandage, existants ou en projet, sur le même périmètre d'étude**

La notion d'effets cumulés recouvre l'addition, dans le temps ou dans l'espace, d'effets directs ou indirects issus d'un ou de plusieurs projets et concernant la même entité (ressources, populations ou communautés humaines ou naturelles, écosystèmes, activités...). Elle inclut aussi la notion de synergie entre effets.

Aux termes de l'article R. 122-5 du Code de l'Environnement, les projets connus sont ceux qui, à la date du dépôt de l'étude d'impact, ont fait l'objet d'un document d'incidences ET d'une enquête publique ou ont fait l'objet d'une étude d'impact et pour lesquels l'avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

À noter que ne sont plus considérés comme "projets" ceux qui sont abandonnés par leur maître d'ouvrage, ceux pour lesquels l'autorisation est devenue caduque ainsi que ceux qui sont déjà réalisés.

Les projets retenus pour cette analyse sont ceux localisés dans le même secteur d'études (rayon d'affichage) ou ayant des impacts sur le même milieu (périmètre du plan d'épandage).

Pour répondre à la problématique des effets cumulés, les sites internet des services de l'État des préfectures concernées par le projet ont été consultés (La Mayenne, le Maine-et-Loire, La Loire-Atlantique et l'Ille-et-Vilaine).

- les services de l'État de La Mayenne,
- les services de l'État du Maine-et-Loire,
- les services de l'État de Loire-Atlantique et
- les services de l'État de L'Ille-et-Vilaine.

L'inventaire des projets a été complété par la consultation des différents avis de l'autorité environnementale et par la consultation des différentes enquêtes publiques en cours sur les sites internet de :

- la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Pays-de-La-Loire,
- la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Bretagne,

La Préfecture de Maine-et-Loire a listé les projets suivants :

- parc éolien "Les Halleries" d'Ombrée-d'Anjou (Pouance) et de Senonnes (arrêté inter-préfectoral d'autorisation du 15 janvier 2020),
- exploitation du Terril du "Misengrain" sur la commune d'Ombrée-d'Anjou par la société SAS HERVÉ (projet en cours).

L'autorité environnementale de la région Pays-de-La-Loire a également émis un avis sur les projets suivants :

- le plan d'épandage de l'unité de méthanisation de Combrée dénommée SAS MÉTHA BIO ÉNERGIE (commune nouvelle d'Ombrée-d'Anjou). Ce plan d'épandage a fait l'objet d'un arrêté d'autorisation DIDD - 2020 - n°45 signé par le Préfet de Maine-et-Loire le 06 mars 2020. Ce projet est donc clos.
- le projet d'implantation, sur la commune de Saint-Berthevin dans le département de La Mayenne, d'une plateforme de transports combinés rail-route (PTCCR) porté par LAVAL AGGLO (avis de l'autorité environnementale signé le 12 mars 2020).



- le projet du parc éolien "Rose des Vents" porté par la SAS VALOREM sur la commune de Fontaine-Couverte dans le département de La Mayenne (avis de l'autorité environnementale signé le 27 août 2019).
- la réalisation, par la société PHOTOSOL DEVELOPPEMENT d'un parc photovoltaïque au sol au lieu-dit "Saint-Algnan" sur la commune de Renazé dans le département de La Mayenne (avis de l'autorité environnementale signé le 23 mai 2019).
- la réalisation, par la société PHOTOSOL DEVELOPPEMENT d'un parc photovoltaïque au sol aux lieux-dits "La Gauterie" et "La Rivière" sur les communes de Congrier et de Saint-Saturnin-du-Limet dans le département de La Mayenne (avis de l'autorité environnementale signé le 21 mai 2019)
- la régularisation administrative, portée par CÉLIA-LAITERIE, de l'unité de transformation de la laiterie à Craon dans le département de La Mayenne (avis de l'autorité environnementale signé le 17 mai 2019).

En revanche, l'autorité environnementale de la région Pays-de-La-Loire n'a pas délivré d'avis sur :

- le projet du parc éolien du Mécarbon porté par la SARL PARC ÉOLIEN DU MÉCORBON sur la commune de Montjean dans le département de La Mayenne (avis tacite en raison du délai réglementaire échu le 11 février 2020 pour formuler un avis).
- le projet d'exploitation du terriil du "Misengrain" sur la commune d'Ombreee-d'Anjou par la société SAS HERVÉ (projet en cours avec un avis tacite en raison du délai réglementaire échu pour formuler un avis).

Au regard du volet B relatif au plan d'épandage de la SAS OUDON BIOGAZ, seuls les projets induisant un épandage de matières organiques peuvent avoir des effets cumulés. Le plan d'épandage de l'unité de méthanisation de la SAS MÉTHA BIO ÉNERGIE peut être considéré comme un projet déjà réalisé du fait qu'il est régulièrement autorisé. Ainsi, seul le plan d'épandage de la laiterie CÉLIA-LAITERIE pourrait avoir des effets cumulés avec celui de la SAS OUDON BIOGAZ.

Les effets avec la plateforme de transports combinés rail-route les parcs photovoltaïques, les parcs éoliens et l'exploitation d'un terriil et le projet de la SAS OUDON BIOGAZ n'existent pas réellement ou sont dans tous les cas loin d'être évidents.

Des parcelles du plan d'épandage de Oudon Biogaz sont susceptibles de recevoir des matières organiques produites par des producteurs autres que ceux du projet. Le volet B a pris en compte toutes les évolutions relatives aux importations et aux exportations de matières organiques sur les exploitations du projet (arrêt, baisse et maintien). Ces évolutions sont reprises dans le tableau 17 page 48 du volet B.

Ce tableau de synthèse permet de constater qu'il n'y pas de superposition d'épandage de produits issus de la laiterie CÉLIA-LAITERIE avec le plan d'épandage de la SAS OUDON BIOGAZ.

S'agissant des effets cumulés entre la laiterie CÉLIA-LAITERIE et le projet d'unité de méthanisation de la SAS OUDON BIOGAZ, les effets potentiels auraient pu exister au niveau des épandages et de l'impact sur la qualité des eaux. Mais pour ces deux projets, les effets sont considérés comme maîtrisés au regard du dimensionnement des plans d'épandage sur le principe du respect de l'équilibre de la fertilisation du phosphore imposé par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux "LOIRE-BRETAGNE". En effet, le respect de l'équilibre de la fertilisation conduit à une meilleure répartition des effluents d'élevage et des digestats liquide et solide entre toutes les exploitations concernées par ces projets.

A l'issue du projet, 14 exploitations dont les parcelles font partie du plan d'épandage de la SAS Oudon Biogaz continueront d'importer sur leurs terres des effluents d'autres producteurs. Ces importations ont bien été prises en compte dans les bilans de fertilisation et la gestion des pratiques de fertilisation de chaque exploitation.



Importation effluents (Mise à disposition de surfaces d'épandage)	
Baisse	GAEC DE L'AUNAY BOUGRIE (fumier de volailles provenant de l'exploitation de Monsieur MONSIMERT Sylvain)
Maintien	GAEC DE L'HOMMEAU 2 (fumier de volailles provenant de l'exploitation de Monsieur BASLE Thierry) GAEC DE LA FORÊT (lisier de porcs provenant de l'EARL PORCIN LES BOIS, de l'EARL LES ARCS et de l'EARL DE COUKISE et lisier de veaux de l'exploitation de Monsieur COLAS Kevin) Monsieur PLANCHENAU Nicolas (pulpes et eaux de distillerie provenant de la société DIANA) GAEC DES ROMFORTS (lisier de porcs de la SCEA LA VERRIE) GAEC VALLÉE FRÈRES (boues de station d'épuration de la commune de Cossé le Vivien) GAEC DE LA MEIGNANNE (lisier de porcs du GAEC HAUT SAUTECOURT) GAEC DU POMMIER (fientes de poules pondeuses) GAEC REGEREAU (lisier de porcs provenant du GAEC EPINE et l'EARL DU BRAY) GAEC VALLERAY (fumier de volailles provenant de l'exploitation de Monsieur THIREAU Jimmy) EARL DE LA CORMERIE (boues de station d'épuration de la ville de Craon) GAEC HARDELLIÈRES (lisier de porcs de la SCEA LA MÉNARDIÈRE) SCEA BRÉCHETIÈRE (lisier de porcs de la SCEA LA MÉNARDIÈRE) EARL DE LA VILLE (lisier de veaux provenant de l'EARL JOUIN DION)

Après examen de ces différentes sources, le projet de la SAS OUDON BIOGAZ n'interférera pas avec des projets en cours.

- **Les MRAE recommandent de mettre en évidence les changements dans l'usage des sols générés par le projet ainsi que la surface qui sera soustraite d'un usage agricole à vocation alimentaire au profit d'une vocation exclusivement énergétique.**

La MRAe met en évidence une surface qui n'aura plus de vocation alimentaire à laquelle il demande de rajouter la surface nécessaire pour le stockage des CIVE sur les exploitations. Cette surface supplémentaire représente 1 ha environ. Cela représente au total 2.2% de la surface des 76 exploitations agricoles soit 2,1 ha par exploitation agricole. Ce calcul pour être complet devrait également prendre en compte l'ensemble des travaux qui ne seront pas réalisés sur les exploitations du fait de la mise en place de l'unité de méthanisation et donc les surfaces conservées sur les exploitations. Il faudrait aussi considérer le gain en capacité de stockage par rapport à la situation initiale permettant une meilleure gestion des effluents d'élevage. De plus ce changement d'usage n'est pas définitif pour les parcelles cultivées (80% de la surface) et pourra évoluer à l'avenir notamment avec le développement et l'amélioration des pratiques culturales des CIVE.

Il est également important de rappeler que la mutualisation du projet est la solution la plus économe en économie de surface agricole. La majorité des surfaces est utilisée pour la production de cultures énergétiques pour lesquelles Oudon biogaz a déjà travaillé et continuera à travailler pour optimiser au maximum son impact comme cela a été évoqué au chapitre 1.2.2. De plus, le tonnage reste bien inférieur à la réglementation française limitant à 15 % le pourcentage de culture dédiée dans la ration globale du méthaniseur où Oudon biogaz n'est qu'à 5%.

On peut également rappeler que les terres concernées restent à vocation agricoles dans le cadre du projet OUDON BIOGAZ. Le point soulevé ici concerne le type d'usage agricole qui est fait de ces terres. Les terres agricoles évoquées dans ce point restent la propriété des exploitants agricoles (à l'exception des lieux de stockage) et ces derniers restent maître du choix du type de culture et d'agriculture qu'ils souhaitent pratiquer sur leur parcellaire. La pratique agricole qui est réalisée sur les terres par les agriculteurs que ce soit au travers du mode ou du type de culture ou que ce soit du type d'animaux, du mode d'élevage ou de la taille d'un cheptel ne relève pas de l'étude d'impact de la demande d'autorisation environnementale réalisée par la société OUDON BIOGAZ dans le cadre de son projet d'unité de méthanisation. Ainsi, les choix opérés

et les pratiques mises en œuvre par les exploitants agricoles sur leurs exploitations individuelles n'amènent pas d'avis de la MRAE dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation d'exploiter.

- **Les MRAE recommandent de compléter les mesures de suivi du projet par des mesures des concentrations en éléments traces métalliques dans les sols objets d'épandage**

Des analyses de sol ont été réalisées conformément à la section IV « Epandage » de l'arrêté du 2 février 1998 modifié. Les prélèvements ont été réalisés en un point de référence, géo localisé au GPS, représentatif de chaque zone homogène.

Les critères analysés ont été les suivants :

- ✓ matière sèche et organique en %
- ✓ pH, azote global, azote ammoniacal, rapport C/N, phosphore P205 échangeable, K2O échangeable, MgO échangeable, MgO échangeable et CaO échangeable
- ✓ oligo-éléments (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo et Zn)
- ✓ éléments traces métalliques (Cd, Cr, Hg, Ni et Pb)

De nouveaux prélèvements seront réalisés au niveau des mêmes points de référence :

- ✓ après l'ultime épandage en cas d'exclusion du périmètre d'épandage de la ou des parcelles sur lesquelles ils se situent
- ✓ au minimum tous les dix ans

- **Les MRAE recommandent de compléter l'examen du bruit généré par le projet avec celui lié au trafic d'apport des matières organiques des exploitations agricoles et industries agroalimentaires jusqu'à l'unité de méthanisation.**

Le bruit lié au trafic généré par le transport de matières entrantes est bien pris en compte dans l'évaluation qui a été menée. Cette partie est détaillée au chapitre II.3.8.1.3. du dossier de demande d'autorisation environnementale.

- **Les MRAE recommandent de vérifier la conclusion de l'étude de dispersion des odeurs autour du site de l'unité de méthanisation par la mise en œuvre de mesures de suivi en exploitation, en relation avec les riverains.**

Un état initial des odeurs sera réalisé suite à l'obtention de l'autorisation d'exploiter et avant sa mise en service.

Dans un délai d'un an après la mise en service, OUDON BIOGAZ procédera à un nouvel état des odeurs perçues dans l'environnement selon la même méthode. Les résultats en seront transmis à l'inspection des installations classées au plus tard dans les trois mois qui suivent.

Les résultats des campagnes de mesures olfactives seront présentés aux riverains dans le cadre du comité de suivi de site actuellement mis en place. Ce comité de suivi de site intègre des riverains proche du site du projet ainsi que des élus locaux et notamment les Maires des communes les plus proches du projet (Livré-la-Touche, Méral, Ballots et Cossé-le-Vivien).

1.2.5. SUIVI DU PROJET, DE SES INCIDENCES, DES MESURES ET DE LEURS EFFETS

- **Les MRAE recommandent de préciser et compléter le dispositif de suivi du projet (process de méthanisation et épandages) en qualité et en fréquence afin de pouvoir garantir la protection des sols et de la ressource en eau et d'évaluer ses bénéfices environnementaux.**

Les quantités de gaz produites et injectées au réseau seront suivies au travers des automates de gestion et de pilotage de l'installation. Ces quantités sont enregistrées et conservées sur le site de méthanisation ainsi que par le gestionnaire de réseau pour les quantités injectées.

Le dispositif de suivi commence dès la procédure d'acceptation des matières avec une caractérisation des produits plus ou moins poussée en fonction du type matière et de leur origine.

La majorité du gisement (93%) est composée d'effluents d'élevage et de produits végétaux dont la composition est relativement stable dans le temps.

Un suivi bi annuel est prévu pour chaque type d'intrant correspondant à un suivi agronomique de base (MS, MO et NPK).

Pour les déchets, il sera procédé à une demande d'information plus complète auprès du producteur selon le cahier des charges d'admission du site. Cette demande d'information sera annuelle.

En complément, la matière sèche des intrants sera contrôlée de manière aléatoire sur le site.

Au niveau du processus de méthanisation un suivi biologique sera mis en place pour contrôler le fonctionnement de la digestion dans les digesteurs et post-digesteurs de manière mensuelle. Cette fréquence d'analyse est adaptée aux temps de rétention hydraulique moyens respectivement de 30 et 23 jours dans les digesteurs et les post-digesteurs et aux évolutions de ration saisonnière.

Il sera également mis en place un suivi agronomique des digestats liquides et solides pour les 2 filières de digestion de l'installation.

Type de suivi	Analyse	Produits	Fréquences
Caractérisation des intrants	Matière sèche	Par type de produits	2 fois par an par type de produit
	Matière organique		
	NTot		
	N ammoniacal		
	P (P2O5)		
	K (K2O)		
Suivi biologique	pH	Digesteurs et post-digesteurs	1 /mois/cuve Au total : 60 analyses /an
	Acides gras volatiles (C2-C7)		
	Matière sèche		
	Matière organique		
	Ammonium		
	Conductivité électrique		
	FOS/TAC		
	Micronutriments		2/an/cuve
	Au total 10 analyses par an		
Suivi agronomique	Matière sèche	Digestats liquides et solides des 2 lignes	1/mois/ligne/type de digestat les 3 premières années Au total : 48 analyses par an
	Matière organique		
	NTot		
	N ammoniacal		
	P (P2O5)		
	K (K2O)		
	S		
	Zn		
	Mg		
	B		
	pH		
	C/N		
	Critères microbiologiques		
Salmonella			
Eléments traces métalliques		Au total : 8/ans	

h

1.2.6. METHODES

/

1.2.7. RESUME NON TECHNIQUE

- *La MRAE recommande de rédiger un unique résumé non technique afin de permettre au public d'avoir une vision d'ensemble du projet et de ses impacts.*

Le dossier est séparé en deux volets correspondant à deux domaines d'activité complémentaires mais différents. Les résumés non techniques sont considérés comme relativement clairs par la MRAE et ont été jugés complets et recevables par la préfecture et les services instructeurs du dossier.



I.3. CONCLUSIONS

Le dossier décrit bien le projet au niveau à la fois de l'unité de méthanisation et du plan d'épandage associé et des stockages décentralisés. Une présentation synthétique et lisible de l'emprise géographique du projet est cependant attendue.

→ Ces éléments font l'objet d'une réponse de la part d'LOUDON BIOGAZ au chapitre I.1.1 du présent document. Il y est notamment rappelé que les éléments graphiques correspondant sont disponibles en annexe du plan d'épandage.

L'étude d'impact est présentée en deux volumes. La différence de structure entre eux et l'absence de synthèse commune au niveau du résumé non technique ne facilite pas la vision globale des incidences du projet.

→ Ces éléments font l'objet d'une réponse de la part d'LOUDON BIOGAZ au chapitre I.2.7 du présent document. Il y est notamment rappelé que les résumés non techniques sont considérés comme relativement clairs par la MRAE et ont été jugés complets et recevables par la préfecture et les services instructeurs du dossier.

La contribution du projet en fonctionnement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre est précisément calculée sans que les éléments présentés permettent aux MRAE de se prononcer sur les résultats annoncés.

→ Ces éléments font l'objet d'une réponse de la part d'LOUDON BIOGAZ au chapitre I.2.4 du présent document. Il y est notamment rappelé que l'évaluation a été faite selon l'outil prévu à cet usage et développé par élaboré par le Cemagref et l'ADEME. Les hypothèses et la méthodologie de calcul apparaissent dans le guide méthodologique du logiciel disponible sur internet et ont tout de même été réintégrées en annexe du présent document.

L'évaluation des effets du projet en tant que tels reste sommaire et ne permet pas de caractériser suffisamment le bénéfice attendu du projet sur les pratiques de fertilisation et la réduction des pollutions diffuses (y compris celles liées aux émissions d'ammoniac).

→ Ces éléments font l'objet d'une réponse de la part d'LOUDON BIOGAZ au chapitre I.2.4 du présent document. Le projet, au niveau des parcelles d'épandage, a un impact positif sur l'amélioration de la qualité de l'eau et de la qualité de l'air. Les transferts en azote et phosphore vers le réseau hydrographique vont être réduits. Tout comme les émissions d'ammoniac du fait de l'épandage de digestat liquide au plus près du sol et du stockage de la majorité du digestat liquide en fosse couverte.

Le dossier analyse insuffisamment les changements dans l'usage des sols générés par le projet. 161 ha seront ainsi soustraits d'un usage agricole alimentaire ou de production de matière au profit d'une vocation exclusivement énergétique.

→ Ces éléments font l'objet d'une réponse de la part d'LOUDON BIOGAZ au chapitre I.2.4 du présent document.

Les impacts pour le voisinage restent modérés, tant au niveau du bruit que des odeurs notamment.

→ LOUDON BIOGAZ a fortement travaillé sur la limitation des effets en vue de minimiser l'impact résiduel du site.

Enfin, des compléments sont attendus concernant l'absence d'atteinte aux zones humides, la présentation des scénarios alternatifs au projet retenu et les mesures de suivi en relation avec les gênes pour le voisinage, le bilan énergétique et l'évolution des pratiques de fertilisation.

→Le chapitre 1.2.1 démontre le non épandage de digestat sur les zones humides et la création d'ouvrages de stockage décentralisés en dehors de zones humides. Le projet n'a donc pas d'atteinte sur les zones humides.

Depuis ses débuts en 2011, OUDON BIOGAZ a travaillé au développement d'un projet collectif et territorial adapté aux exploitations partenaires du projet, au territoire et à la réglementation. La réalisation de scénarios alternatifs du projet (nombre de site, choix des intrants, type de stockage, etc...) n'auraient pas permis d'atteindre les objectifs du projet en terme de valorisation énergétique des effluents d'élevage (85% du gisement) et en terme agronomique avec l'amélioration des pratiques de fertilisation avec la même maîtrise des impacts environnementaux.

Dans sa dimension territoriale, OUDON BIOGAZ a intégré le voisinage du site dans le projet dès les prémices d'implantation sur Livré-la-Touche et ils le resteront pendant toute la durée de vie du projet dans le cadre du comité de suivi local.

L'impact énergétique du projet est présenté au chapitre II.3.14 du dossier de demande d'autorisation environnementale. Le solde est de 37 207 682 kWh. Ce solde prend en compte l'énergie injectée sur le réseau de gaz déduction faite des consommations énergétiques du site pour le fonctionnement et les transports. La production de biométhane injecté sur le réseau représente la consommation annuelle en gaz naturel d'environ 1669 maisons individuelles équipées de chaudière à gaz*.

→Ce projet va avoir un impact positif sur l'évolution des pratiques de fertilisation. La fertilisation va être pilotée au plus juste dans la mesure où les exploitants vont avoir une connaissance fine de la teneur en éléments fertilisants des digestats. La fertilisation sera adaptée au besoin des plantes aussi bien pour les éléments azote que phosphore.

Les digestats seront épandus :

- aux périodes optimales d'un point de vue agronomique car les capacités de stockage des digestats sont adaptées
- avec du matériel adapté permettant de limiter la volatilisation
- sur des sols capables de bien les valoriser

Les consommations en azote minéral et en phosphore des exploitations vont baisser et les transferts de ces éléments vers le milieu se trouveront réduits.

**Source : INSEE – enquêtes logement entre 2002 et 2006. Une maison individuelle équipée d'une chaudière gaz consomme en moyenne 22300 kWh/an.*

CHAPITRE II

ANNEXES

II.1.1. LISTE DES ANNEXES

Annexe 01. DIGES - guide méthodologique

Digestion anaérobie et Gaz à Effet de Serre



Application pour le calcul du bilan des émissions de gaz à effet de serre des installations de digestion anaérobie

Version 2.0

Guide méthodologique

Version 2 : Thierry BIOTEAU, Patrick DABERT (Octobre 2009)

Version 1 : Armelle GAC, Fabrice BELINE, Thierry BIOTEAU (Février 2006)

L

RESUME

Le calculateur DIGES est un outil d'aide à la décision, destiné aux agents des délégations régionales de l'Ademe afin de les aider à mieux appréhender le bilan effet de serre des projets de digestion et de co-digestion anaérobie, existants ou émergents dans leur région. Les enjeux en terme d'effet de serre de ces projets sont liés d'une part au mode de traitement des substrats et d'autre part aux substitutions énergétiques.

Ainsi, pour évaluer le bilan « effet de serre » de ce type d'installation, on considère :

- les gaz à effet de serre (GES) émis par l'installation de Traitement par Digestion Anaérobie,
- les GES émis par les transports liés au fonctionnement de l'installation de digestion anaérobie (transport des substrats vers l'unité puis transport du digestat),
- les GES évités qui auraient été émis par une filière traditionnelle de traitement des substrats (traitement de référence),
- les GES évités qui auraient été émis par les transports dus au traitement de référence (transport vers l'unité de traitement de référence),
- les GES évités qui auraient été émis par une filière de production d'énergie de référence (substitution d'énergie),
- les GES évités liés à l'épandage du digestat (économie d'engrais minéral réalisée par le pouvoir fertilisant du digestat).

Le calculateur DIGES permet de calculer le bilan des émissions de GES pour des installations traitant de un à sept substrats en mélange. Il est possible de réaliser le calcul à partir de données par défaut, déterminées par rapport à des situations moyennes, ou à partir de données spécifiques aux installations, intégrées par l'utilisateur.

Le calculateur est accompagné d'un guide de l'utilisateur et d'un guide de l'administrateur qui indiquent comment utiliser et mettre à jour DIGES. Le guide méthodologique présente quant à lui la méthode de calcul du bilan « effet de serre » et précise les choix faits en matière de substrats à sélectionner, de composition et de facteurs d'émission.

Mots clé : digestion anaérobie ; co-digestion ; calculateur ; bilan des émissions de gaz à effet de serre ; traitement des substrats de référence ; production d'énergie de référence.



SOMMAIRE

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	3
PREALABLES	4
1. PRESENTATION GENERALE DU CALCULATEUR DIGES	7
1.1. LA VOCATION DE L'OUTIL.....	7
1.2. LES PRINCIPES DU CALCUL.....	7
2. LES SUBSTRATS ET LEURS CARACTERISTIQUES	8
2.1. METHODOLOGIE	8
2.1.1. <i>Détermination de la liste de substrats</i>	8
2.1.2. <i>Collecte des données et sélection</i>	8
2.2. LISTE ET COMPOSITION DES SUBSTRATS	8
2.3. PRESENTATION DES SUBSTRATS PAR CATEGORIE	12
2.3.1. <i>Substrats agricoles</i>	12
2.3.2. <i>Substrats d'industries agroalimentaires</i>	13
2.3.3. <i>Substrats de collectivités</i>	13
2.3.4. <i>Cultures énergétiques</i>	14
3. LA FILIERE DE DIGESTION ANAEROBIE	15
3.1. DESCRIPTION	15
3.1.1. <i>Le traitement des substrats</i>	16
3.1.1.1. Les postes d'émissions	16
3.1.1.2. Le principe du calcul des émissions	18
3.1.2. <i>La production d'énergie</i>	18
3.1.2.1. L'énergie primaire.....	19
3.1.2.2. La production d'énergie secondaire	20
3.1.2.3. L'utilisation de l'énergie valorisée.....	20
3.1.2.4. Récapitulatif du scénario « cogénération » pour la production d'énergie	22
3.1.2.5. Le principe du calcul des émissions.....	22
3.2. FACTEURS D'EMISSION CORRESPONDANTS	23
4. LES FILIERES DE TRAITEMENT DE REFERENCE	29
4.1. DESCRIPTION DES FILIERES PAR FAMILLE DE SUBSTRAT.....	29
4.1.1. <i>Substrats agricoles</i>	29
4.1.2. <i>Substrats des industries agroalimentaires</i>	29
4.1.2.1. La fabrication d'aliments	29
4.1.2.2. L'épandage agricole	30
4.1.2.3. Le stockage et l'épandage de boues de STEP industrielles	31
4.1.2.4. L'incinération	31
4.1.2.5. La mise en centre de stockage de substrats non dangereux (CSD).....	32
4.1.3. <i>Substrats des collectivités</i>	33
4.1.3.1. Biodéchets des ménages et substrats verts : La mise en centre de stockage de substrats non dangereux (CSD).....	33



4.1.3.2.	Le stockage et l'épandage des boues de STEP urbaines	34
4.1.3.3.	Le traitement en STEP collective.....	34
4.2.	FACTEURS D'EMISSION CORRESPONDANTS	36
5.	LES FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE DE REFERENCE.....	41
5.1.	ENERGIE THERMIQUE	41
5.1.1.	<i>Principes de calcul des émissions gazeuses</i>	<i>41</i>
5.1.2.	<i>Facteurs d'émission correspondants.....</i>	<i>42</i>
5.2.	ENERGIE ELECTRIQUE	42
5.2.1.	<i>Principes de calcul des émissions gazeuses</i>	<i>42</i>
5.2.2.	<i>Facteur d'émission correspondant</i>	<i>42</i>
6.	UN CALCUL EN PLUSIEURS ETAPES.....	43
6.1.	LE PRINCIPE DU CALCUL PAR BILAN.....	43
6.2.	LES DONNEES COMPLEMENTAIRES NECESSAIRES AU CALCUL	43
6.3.	LES ETAPES DU CALCUL.....	44
6.3.1.	<i>Quantités de gaz à effet de serre émises par la filière de traitement par digestion anaérobie</i>	<i>44</i>
6.3.2.	<i>Quantités de gaz à effet de serre émis liés au transport des substrats et des digestats</i>	<i>45</i>
6.3.3.	<i>Quantités de gaz à effet de serre évitées relatives à la filière de traitement de référence</i>	<i>46</i>
6.3.4.	<i>Quantités de gaz à effet de serre évitées relatives au transport des substrats de la filière de référence</i>	<i>46</i>
6.3.5.	<i>Quantités de gaz à effet de serre évitées relatives à la filière de production d'énergie de référence</i>	<i>47</i>
6.3.6.	<i>GES évités par le pouvoir fertilisant du digestat.....</i>	<i>49</i>
6.3.7.	<i>Le bilan effet de serre d'un projet de digestion anaérobie.....</i>	<i>51</i>
7.	ELEMENTS DE DISCUSSION.....	51
ANNEXES	41

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
Cemagref : Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
CH₄ : méthane
CO₂ : dioxyde de carbone
CSD : Centre de Stockage des Substrats
éq. CO₂ : équivalent CO₂
g : gramme
GES : gaz à effet de serre
GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié
IAA : Industries AgroAlimentaires
IFIP : Institut de la Filière Porcine
ITAVI : Institut Technique de l'AViculture
kg : kilogramme
kWh : kilowattheure
m³ : mètre cube
MO : Matière Organique
MO_biod/MO : Taux de Matière Organique biodégradable
MS : Matière Sèche
MWh : mégawattheure
N : Azote
N₂O : protoxyde d'azote
p.d.t. : pomme de terre
PNR : Parc Naturel Régional
Pot. Méth. : potentiel méthanogène
STEP : station d'épuration
t : tonne
TRH : temps de rétention hydraulique (= temps de séjour des boues dans le digesteur)
VS : Volatil Solids (matière organique)
 Σ_x : somme sur x

PREALABLES

Ce document est le guide méthodologique de la version 2.0 du calculateur DIGES. Cette version de l'application est également accompagnée du guide de l'utilisateur et du guide de l'administrateur correspondants, qui indiquent comment utiliser et mettre à jour DIGES.

Le guide méthodologique présente quant à lui la méthode de calcul du bilan « effet de serre » pour une installation de digestion anaérobie. Il précise les choix faits en matière de substrats à sélectionner, de composition et de facteurs d'émission.

1. Présentation générale du calculateur DIGES

1.1. La vocation de l'outil

Le calculateur DIGES est un outil d'aide à la décision, destiné aux agents des délégations régionales de l'Ademe afin de les aider à mieux appréhender le bilan effet de serre des projets de digestion anaérobie existants ou émergents dans leur région.

Il est adapté pour les installations de digestion et co-digestion anaérobie, agricoles ou non.

Sa vocation peut être qualifiée de pédagogique et la méthode de calcul est basée sur la comparaison de situations globales, sans prise en compte des particularités locales. En aucun cas ce calculateur ne saurait donc fournir une quantification exacte des émissions de gaz à effet de serre pour une installation donnée. Son objectif est d'apporter des éléments de réflexion sur le bien fondé d'un traitement d'un ou plusieurs substrats par digestion anaérobie par rapport à un scénario de référence conventionnel.

La finalité première de l'outil est de calculer le bilan effet de serre d'un projet à partir de données fournies par l'utilisateur. Cependant lorsque l'utilisateur a peu d'informations sur un projet donné, ce calculateur peut également fournir un bilan de gaz à effet de serre indicatif à partir de scénarios simulés par défaut.

1.2. Les principes du calcul

Cet outil permet de quantifier le bilan effet de serre des installations de traitement de substrats par digestion anaérobie au regard des gaz à effets de serre (GES) évités (N_2O , CH_4 et CO_2^1).

Les enjeux en terme d'effet de serre de ces projets sont liés d'une part au mode de traitement des substrats et d'autre part aux substitutions énergétiques.

Ainsi, pour évaluer le bilan « effet de serre » d'une installation de digestion anaérobie, à partir d'un ou plusieurs substrats, on considère :

- les gaz à effet de serre (GES) émis par l'installation de Traitement par Digestion Anaérobie,
- les GES émis par les transports liés à l'approvisionnement en substrats de l'installation de digestion anaérobie (transport des substrats vers l'unité puis transport du digestat),
- les GES évités qui auraient été émis par une filière traditionnelle de traitement des substrats (traitement de référence),
- les GES évités qui auraient été émis par les transports dus au traitement de référence (transport vers l'unité de traitement de référence),
- les GES évités qui auraient été émis par une filière de production d'énergie de référence (substitution d'énergie),
- les GES évités liés à l'épandage du digestat (économie d'engrais minéral réalisée par le pouvoir fertilisant du digestat).

Cela suppose de

- définir la filière digestion anaérobie, avec
 - les différents postes d'émissions et les facteurs d'émission associés ;
 - la production d'énergie, qui dépend des substrats traités, et son utilisation
- définir une filière de traitement de référence, avec
 - pour chaque substrat, les postes d'émissions et les facteurs d'émission associés
- définir une filière de production d'énergie de référence, avec
 - les mêmes quantités d'énergie électrique et thermique que celles produites par l'installation de digestion anaérobie,

¹ Les émissions de gaz sous forme CO_2 liées aux substrats organiques ne sont pas considérées comme des émissions de GES car elles s'inscrivent dans un cycle court, contrairement aux émissions de CO_2 liées à l'utilisation d'énergie fossile (déstockage)

- la façon dont cette énergie aurait été produite en l'absence de l'installation et les émissions de gaz à effet de serre associées

Les scénarios de références ont été choisis de manière conventionnelle et ne prennent pas en compte les particularités locales. On se base sur des scénarios qui auraient pu se passer dans une situation antérieure et non sur des scénarios alternatifs (comme le compostage).

Après une présentation des substrats qui peuvent être utilisés dans le calculateur DIGES, les sections 3, 4 et 5 présentent les trois filières définies ci-dessus.

Le détail du calcul par bilan est ensuite exposé dans la section 6.

2. Les substrats et leurs caractéristiques

2.1. Méthodologie

2.1.1. Détermination de la liste de substrats

La liste regroupe un panel de substrats qui se rencontrent couramment en digestion et co-digestion anaérobie. Elle a été déterminée conjointement par l'Ademe et le Cemagref.

2.1.2. Collecte des données et sélection

Les données de composition ont été collectées dans différentes sources (fonds documentaire, publications, avis d'experts). Pour chaque paramètre de composition, ces données ont été converties dans une unité commune pour pouvoir être comparées.

L'annexe 1 présente dans le détail les données recueillies ainsi que leurs sources respectives.

Le choix des données à utiliser parmi cet ensemble a été fait dans la plupart des cas en calculant une moyenne, pondérée par le nombre de valeurs disponibles.

Cependant, lorsque des sources se recoupaient (l'une reprenant les données d'une autre), les données issues de la source d'origine ont été utilisées. C'est le cas des sources dénommées « doc (1) »² et « PNR »³, pour lesquelles les données issues de la source « PNR » ont été utilisées.

D'autre part, certaines valeurs, spécifiques d'un substrat ou fournies par un expert ont parfois été privilégiées par rapport aux autres données disponibles. Le détail des choix est abordé par substrat, dans le point 2.3.

2.2. Liste et composition des substrats

Cette 2^{ème} version du calculateur DIGES propose une liste de 78 substrats issus de recherches bibliographiques provenant du Cemagref et de l'Ademe. En complément, les données de l'outil « Methasim » en cours de développement par l'IFIP ont été ajoutées ce qui porte à 323 le nombre de substrats possibles. Ces substrats peuvent être combinés entre eux, dans la limite de 7 substrats différents par simulation. Il s'agit de substrats agricoles, de l'industrie agro-alimentaire (IAA) et des collectivités.

Le tableau 1 présente la liste de ces substrats ainsi que leurs caractéristiques de composition pour les données Cemagref-Ademe uniquement. En effet, pour des questions de propriété des données, les données de Méthasim ont été communiquées à l'Ademe et au

² doc (1) : Document ADEME/Christine Schubetzer - Potentiel méthanogène de différents substrats - Sources : Bureau d'études IRCO Sprl, Fachverband Biogas, ADAESO, PNR Lorraine / INPL

³ PNR : Viard N, Drexhage M. Production indicative en biogaz et en méthane. PNR de Lorraine et TRAME, 2004 (base de données)

DIGES 2.0

Cemagref pour un usage interne. Ces substrats ne sont donc pas présents dans la version en téléchargement libre.

Ces données de composition correspondent à des substrats moyens, et l'utilisateur de DIGES a la possibilité de modifier les données des substrats qu'il inclut dans une simulation pour mieux rendre compte des particularités du projet qu'il souhaite évaluer.

Les données de composition sont des **composantes du calcul** des émissions gazeuses, elles peuvent servir à **convertir des données acquises** par l'utilisateur dans l'unité adéquate et permettent également de **définir le substrat**.

Substrat	% MS	N (kg / t MB)	% MO/MS	% MO/MB	Pot méth (m ³ CH ₄ /t MO)	Pot méth2 (m ³ CH ₄ /t MB)	MO_b od/MO (%)
fumier bovin	18,5	5,0	76,4	14,1	192,0	27,1	37,4%
fumier porcin	23,1	7,5	82,2	19,0	220,0	41,8	42,9%
lisier bovin	7,6	2,7	72,6	5,5	212,6	11,7	41,5%
lisier porcin	4,7	5,3	72,5	3,4	281,3	9,5	54,9%
fientes volaille	20,4	15,0	72,6	14,8	286,0	42,3	55,8%
fumier de volailles	64,2	25,9	68,3	43,8	210,0	92,1	41,0%
co-produits de l'industrie de la pomme de terre	20,7	5,9	84,5	17,5	350,0	61,2	68,3%
graisses d'abattoir	25,2	17,9	93,0	23,4	696,0	162,9	100,0%
Lactosérum	5,4	0,8	90,5	4,9	607,0	29,7	100,0%
boues de STEP (IAA)	9,5	1,2	73,0	6,9	210,0	14,6	41,0%
biodéchets ménagers	36,7	6,6	82,2	30,2	331,5	100,0	64,6%
boues de STEP (collectivités)	5,0	3,0	67,0	3,4	260,0	8,7	50,7%
graisses de STEP	40,9	4,3	78,6	32,1	803,3	258,2	100,0%
huiles et graisses de restauration	46,1	4,3	77,0	35,5	710,0	251,8	100,0%
drêches de brasserie	27,9	19,0	83,6	23,3	375,0	87,5	73,1%
fruits et légumes	14,8	5,3	78,4	11,6	320,0	37,1	62,4%
co-produits viticoles et vinicoles	57,0	23,9	64,5	36,8	430,0	158,1	83,9%
déchets verts	48,4	20,4	87,4	42,3	177,3	75,0	34,6%
Lisier canard	3,1	2,2	81,2	2,5	400,0	10,1	78,0%
fumier ovin	28,8	10,1	79,3	22,8	248,8	56,8	48,5%
Fumier équin	28,0	5,9	70,8	19,8	323,2	64,0	63,0%
Fumier ovin-caprin	60,0	8,1	78,0	46,8	269,6	126,2	52,6%
Lisier volaille	18,1	7,5	76,1	13,8	300,0	41,3	58,5%
Amidon pulpe	13,0	1,0	90,0	11,7	409,5	47,9	79,9%
Betterave fanes	16,2	3,1	77,9	12,6	353,5	44,6	68,9%
Betterave fourragère	15,5	4,1	88,0	13,7	366,2	50,1	71,4%
Betterave sucrière	20,1	4,4	94,3	19,0	395,1	74,9	77,0%
Blé	69,0	16,7	96,3	66,4	198,0	131,5	38,6%
Blé grain	86,6	19,5	98,0	84,9	367,1	311,5	71,6%
Boues de flottation	19,3	5,9	91,8	17,7	696,0	123,5	100,0%
Boues de STEP	8,0	2,3	79,2	6,3	450,4	28,5	87,8%
Brasserie déchets	20,3	9,2	84,9	17,3	372,5	64,3	72,6%
Céréales poussières	89,0	9,7	84,0	74,8	171,5	128,2	33,4%
Colza tourteau	88,8	47,2	88,8	78,8	453,5	357,4	88,4%
Contenu de panse	14,8	2,6	84,8	12,5	255,0	32,0	49,7%
Contenu de panse pressé	32,5	4,9	90,0	29,3	650,0	190,1	100,0%
Déchets de cuisine	18,1	5,3	89,0	16,1	397,1	64,1	77,4%
Déchets de légumes	13,9	5,6	80,7	11,2	385,8	43,3	75,2%
Déchets de sortie de silo	88,8	9,8	96,7	85,9	370,0	317,7	72,2%

DIGES 2.0

Déchets des marchés	15,8	6,3	85,0	13,4	331,3	44,3	64,6%
Déchets verts humides	25,9	8,1	82,5	21,3	196,0	41,8	38,2%
ensilage herbe	36,2	15,0	83,7	30,3	350,1	106,0	68,3%
ensilage maïs	31,0	4,7	93,3	29,0	341,3	98,8	66,6%
Estomac/intestin contenu	14,2	3,5	82,7	11,8	239,4	28,1	46,7%
Farine animale	16,5	16,5	90,0	14,9	650,0	96,5	100,0%
Feuillage	85,0	8,5	82,0	69,7	400,0	278,8	78,0%
Fines et spathes	91,0	7,4	91,6	83,4	190,0	158,4	37,1%
Foin	86,7	19,7	85,2	73,8	270,0	199,3	52,7%
Graisses	53,0	11,1	96,0	50,9	398,0	202,5	77,6%
Gruau de colza	82,0	65,6	93,0	76,3	500,0	381,3	97,5%
Herbe de fauche sur jachère	15,0	3,2	84,0	12,6	309,5	39,0	60,4%
Herbe fraîche	25,4	8,4	89,9	22,8	309,8	70,6	60,4%
Jachères	50,0	10,5	75,0	37,5	294,0	110,3	57,3%
Luzerne	25,4	9,6	89,9	22,8	373,4	85,2	72,8%
Maïs	23,5	4,5	96,0	22,6	340,0	76,8	66,3%
Maïs résidus	33,0	4,1	72,0	23,8	650,0	154,4	100,0%
Marc de fruit	45,0	5,0	94,7	42,6	385,0	164,0	75,1%
Mélasses	81,0	12,2	93,8	75,9	308,7	234,4	60,2%
Meunier jus	3,0	0,6	75,0	2,3	196,0	4,4	38,2%
Orge	28,7	7,7	93,2	26,7	452,0	120,9	88,1%
Paille	86,5	6,1	83,5	72,2	201,2	145,3	39,2%
Paille de céréales	86,5	4,3	83,4	72,1	376,0	271,1	73,3%
Paille de maïs	86,4	10,4	74,5	64,3	629,0	404,6	100,0%
Pain vieux	65,0	59,8	97,0	63,1	725,0	457,1	100,0%
Peiouse	30,0	6,0	80,5	24,1	512,5	123,5	99,9%
Petit lait	5,6	0,5	88,3	4,9	554,4	27,3	100,0%
Pomme de terre fanes	25,0	4,4	79,0	19,8	550,0	108,7	100,0%
Pomme de terre pulpe	16,3	2,0	92,5	15,1	310,2	46,7	60,5%
Poussière silos	46,0	9,7	75,0	34,5	308,0	106,3	60,1%
Rafles d'automne	77,5	4,5	97,3	75,4	240,0	181,0	46,8%
Rafles de printemps	88,4	9,0	93,5	82,6	220,0	181,7	42,9%
Raisin marc distillé	20,0	3,8	75,0	15,0	270,0	40,5	52,7%
Résidus de distillation de céréales	6,2	3,4	91,4	5,7	482,9	27,5	94,2%
Résidus de distillation de pomme de terre	9,6	7,0	88,8	8,5	381,1	32,3	74,3%
Selg	35,0	14,0	94,0	32,9	346,9	114,1	67,6%
Semences déclassées	87,5	21,4	97,6	85,4	320,0	273,3	62,4%
séparateur de graisse (Fettabschelder)	43,1	6,6	88,8	38,3	619,0	237,1	100,0%

Tableau 1 : Liste des substrats et caractéristiques

La matière sèche (MS) des substrats est exprimée en pourcentage de la matière brute (%MB). Cette donnée permet de définir le substrat (par exemple, le taux de matière sèche des boues de STEP urbaines permet d'indiquer qu'il s'agit ici de boues liquides - cf. 2.3.3.).

Le contenu azoté est exprimé en kilogramme d'azote par tonne de matière brute (kgN/tMB). Cette donnée intervient dans le calcul des émissions de protoxyde d'azote (voir ci-après).

Les teneurs en matière organique sont couramment exprimées par rapport à la matière sèche (%MS). On l'exprime également ici par rapport à la matière brute (MO en %MB), ce

qui permet d'exprimer le potentiel méthanogène à la fois par rapport à la matière organique et par rapport à la matière brute.

En effet, la production de méthane au cours de la fermentation d'un substrat dépend de sa teneur en matière organique. Dans le domaine scientifique, le **potentiel méthanogène⁴** est donc couramment exprimé en mètre cube de méthane par tonne de matière organique ($\text{m}^3\text{CH}_4 / \text{tMO}$). Toutefois, pour une meilleure lisibilité des données par l'ensemble des utilisateurs de DIGES, il est également exprimé en mètre cube de méthane par tonne de matière brute ($\text{m}^3\text{CH}_4 / \text{tMB}$), unité plus couramment utilisée dans le domaine technique. C'est cette valeur qui est utilisée dans le calcul des émissions de méthane (cf. ci-dessous).

Le calcul des émissions de méthane et de protoxyde d'azote pour élaborer le bilan effet de serre, est réalisé de la même manière pour tous les substrats, dans les filières de digestion anaérobie et/ou de référence. Ces calculs sont effectués de la manière suivante (voir les calculs détaillés en 6.3. et facteurs d'émission (FE) en 3.2. et 4.2.) :

$$\text{N}_2\text{O (t éq.CO}_2) = \text{tonnage (MB)} \times \text{N (kg/tMB)} \times \text{FE (\%N)} \times \text{facteurs de conversion}$$

$$\text{CH}_4 \text{ (t éq.CO}_2) = \text{tonnage (MB)} \times \text{Potentiel Méthanogène (m}^3\text{CH}_4 / \text{tMB)} \\ \times \text{FE (\% Pot. Méth.)} \times \text{facteurs de conversion}$$

Le paramètre **MO_biod/MO** est une estimation de la matière organique biodégradable du substrat. Il est utilisé pour le calcul des GES évités par le pouvoir fertilisant du digestat (§ 6.3.6) et dans le calcul du transport du digestat (§ 6.3.2).

Le calcul de ce paramètre est dérivé du potentiel méthanogène par un calcul qui implique les masses molaires des composés CO_2 et CH_4 .

Pour plus de détail :

On fait l'hypothèse que la matière organique carbonée biodégradée au cours de la digestion anaérobie se trouve exclusivement sous forme CO_2 et CH_4 . On peut estimer la masse que représente cette matière rapportée à la quantité de matière organique initiale ce qui nous permettra d'estimer la biodégradabilité potentielle maximale d'un substrat donné.

La conversion en masse s'effectue dans les Conditions Normales de Pression et Température (CNPT). (volume molaire de $22,4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$ dans les CNPT)

Si on prend l'exemple d'un potentiel méthanogène (B_0) de 300L/kg de MO.

$$B_0 = 300 \text{ L/kg de MO}$$

$$\text{Masse de C-CH}_4 = (300 / 22,4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}) \times 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 161\text{g de C-CH}_4 / \text{kg de MO}$$

$$\text{Masse de H-CH}_4 = (300 / 22,4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}) \times 4 \times 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 54\text{g de H-CH}_4 / \text{kg de MO}$$

Par ailleurs, on suppose une teneur en méthane et en CO_2 dans le biogaz constante respectivement de 60% et de 40%. On en déduit donc que le volume de CO_2 représente les 2/3 du volume de méthane. En effet :

$$\text{VCO}_2 = 40\%(\text{VCO}_2 + \text{VCH}_4) \text{ soit : } \text{VCO}_2 = 2/3 \text{ VCH}_4$$

Donc :

$$\text{Masse de C-CO}_2 = (300 / 22,4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}) \times 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \times 2/3 = 107\text{g de C-CO}_2 / \text{kg de MO}$$

$$\text{Masse de O-CO}_2 = (300 / 22,4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}) \times 2 \times 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \times 2/3 = 286\text{g de O-CO}_2 / \text{kg de MO}$$

On obtient un total de 608 g de MO dégradée sous forme de biogaz par kg de MO initiale soit environ 61% de MO potentiellement biodégradable dans les conditions optimales d'obtention du potentiel méthanogène.

⁴ Cette donnée traduit le maximum de méthane qu'un substrat peut produire en anaérobiose, en conditions optimales de température et de pression, sans limitation de durée

MO_biod/MO étant dérivé du B0, il s'agit d'une dégradation maximale qu'il s'agit de moduler par un facteur de conversion prenant en compte les émissions réelles par rapport aux émissions potentielles.

Afin de se placer dans les conditions réelles d'une installation de méthanisation, nous utilisons le même coefficient de modulation du potentiel méthanogène (78%) décrit pour le calcul de la quantité de méthane produite pendant la digestion anaérobie (§ 3.2).

Le calcul de ce paramètre MO_biod/MO dérivé du potentiel méthanogène peut donc s'écrire :

<p>MO biod/MO en %: $= [(B0 * 12/22,4) + (2/3 * B0 * 12/22,4) + (B0 * 4/22,4) + (B0 * 32 /22,4)] /1000 * 78\%$</p>

Avec :

- B0 : potentiel méthanogène
- 78% : pourcentage de dégradation de la matière organique en conditions réelles

En faisant l'hypothèse que la minéralisation de l'azote suit la même dynamique que la dégradation du carbone (R. Moletta, La Méthanisation), ce facteur nous sera utile pour l'estimation de la minéralisation de l'azote liée à la digestion anaérobie (§ 6.3.6). De même, ce facteur sera utilisé pour estimer la perte de matière pour le calcul du transport du digestat aux parcelles d'épandage (§ 6.3.2).

2.3. Présentation des substrats par catégorie

La description des substrats dans les paragraphes suivants correspond à la première version de DIGES. Les autres substrats correspondent à des substrats supplémentaires fournis par l'Ademe afin de compléter le nombre de substrats de la version 1. On détaillera le cas particulier des cultures énergétiques par rapport à la version 1.

Si vous disposez de la version de DIGES qui contient des substrats commençant par « Methasim », ils sont issus du logiciel Methasim créés par l'IFIP.

2.3.1. Substrats agricoles

Les valeurs de composition des **fumiers et lisiers**, correspondent aux situations d'élevage les plus courantes. Ces données moyennes ne s'appliquent donc pas forcément aux déjections issues de modes d'élevage spécifiques (ex : lisier de veau, fumier de poulets issu d'élevages biologiques, etc.).

Les **fientes de volailles** correspondent à des fientes humides, ce scénario étant le plus probable. En effet, les autres types de fientes sont les fientes sèches et les fientes pré-séchées qui ont subi un traitement de séchage dans le bâtiment d'élevage ou dans le bâtiment de stockage, en vue d'être exportées de l'exploitation pour valorisation sous forme d'amendement organique. La digestion anaérobie de ces deux types de fientes n'est donc pas envisagée.

Ces données de composition ont été déterminées en calculant la moyenne pondérée des données recueillies parmi différentes sources et présentées en annexe 1.



2.3.2. Substrats d'industries agroalimentaires

Les résidus de végétaux issus d'industries de transformation peuvent être méthanisés. Les installations de digestion anaérobie se rencontrent couramment dans l'industrie de la pomme de terre. Les **co-produits de l'industrie de la pomme de terre** ont donc été retenus dans la liste. Les données de composition pour ce substrat correspondent aux fanes et aux pulpes. Elles sont issues de la base de données constituée au PNR de Lorraine⁵.

Les **fruits et légumes** intégrés ici concernent à la fois les substrats de triage et de parage des chaînes de transformation ou conditionnement et les substrats de marchés alimentaires (invendus). Les données sont issues de la base de données du PNR de Lorraine.

Les **drèches de brasserie** constituent le principal co-produit de la production de bière. Il s'agit des enveloppes des grains d'orge. La composition provient de la base de données du PNR de Lorraine.

Les **co-produits viticoles et vinicoles** sont des substrats issus de la viticulture et de la vinification. Il s'agit de marcs de raisin, lies, vinasses, condensats, substrats de distillation et de fermentation vinicole, etc. Les paramètres de composition du tableau 1 ont été établis à partir de valeurs concernant des vinasses, du mou de raisin et des résidus de distillation (PNR de Lorraine). La pratique de la méthanisation est courante dans ce secteur d'activité.

Les graisses présentent un intérêt non négligeable en co-digestion anaérobie en raison de leur potentiel méthanogène élevé. D'autre part, des installations de digestion anaérobie existent dans l'industrie des viandes. Les **graisses d'abattoir** ont donc été intégrées à la liste. Leurs données de composition proviennent de la base du PNR de Lorraine.

Le **lactosérum** est un sous produit de la fabrication de fromages. Le potentiel méthanogène est élevé ce qui le rend intéressant en mélange avec d'autres substrats. On le retrouve dans des cas de co-digestion anaérobie agricole. Les données de composition proviennent de la base de données du PNR de Lorraine.

Il a semblé également intéressant d'inclure les **boues de stations d'épuration industrielles** dans l'approche. Peu de données sont disponibles sur ce type de substrat. Les paramètres de composition ont été déterminés à partir d'une étude réalisée pour l'ADEME, en partie par le Cemagref⁶.

2.3.3. Substrats de collectivités

Au niveau national, nombreuses sont les installations de méthanisation qui pratiquent la digestion anaérobie de substrats ménagers. Par ailleurs, la méthanisation des **biodéchets ménagers** est en nombre d'installations la plus répandue en Europe du nord.

Les biodéchets ménagers composent la partie biodégradable des ordures ménagères. Selon les définitions, ils comportent des putrescibles seuls (substrats alimentaires et de jardin) ou des putrescibles additionnés de papiers et de cartons. Les valeurs proposées ici pour les biodéchets correspondent uniquement aux substrats putrescibles.

Les données de composition MS, N, et MO sont issues de la publication ADEME « La composition des ordures ménagères en France ». L'annexe 1 présente d'autres valeurs, correspondant à des substrats comportant des proportions variables en papiers et cartons.

Le potentiel méthanogène varie en fonction de la nature des biodéchets (données bibliographiques : 50 à 130 m³CH₄/tMB). Il est retenu un potentiel méthanogène de 100m³CH₄/ tMB, couramment utilisé par les acteurs du secteur.

Les **déchets verts** sont issus de l'entretien des espaces verts et des jardins. Ils se composent de tontes de pelouse, de feuilles mortes, de taille de haies, etc. en dépit d'un

⁵Viard N, Drexhage M. Production indicative en biogaz et en méthane. PNR Lorraine, TRAME, 2004

⁶ Cemagref / INRA / CReeD / Anjou Recherche / Ecobilan / Orval - Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats Bilan des connaissances - ADEME. 2005

potentiel méthanogène faible, ils permettent d'obtenir un digestat de qualité satisfaisante pour une valorisation agronomique. Les données de matière sèche, azote et matière organique proviennent de la base de données du PNR de Lorraine. Le potentiel méthanogène a été déterminé à dire d'expert⁷.

La digestion anaérobie des boues urbaines existe sur plusieurs unités en France. Les boues méthanisées sont des boues primaires seules ou des boues mixtes. La situation la plus courante est la digestion anaérobie de boues liquides issues d'un traitement aérobie. Les données de composition retenues dans tableau 1 concernent ces boues liquides. Ce sont celles du Comité National Boues, validées par des experts du Cemagref. L'annexe 1 présente également d'autres valeurs, concernant tous types de boues avec des compositions très variables.

En complément des boues de station d'épuration, on inclut dans l'approche les **graisses de flottation des STEP**. Ces graisses sont issues des pré-traitements réalisés en tête de station (dessablage - dégraissage). Elles ont trois origines : les effluents urbains, les graisses des industries, les huiles et graisses de restauration (lorsque ces deux substrats ne sont pas récupérés ou traités à la source, ils rejoignent le réseau collectif). Les données de compositions sont des moyennes de valeurs issues de la base de données du PNR de Lorraine et d'un rapport de Mémoire du Cemagref⁸ ; sauf pour la teneur azotée, car étant donné l'écart entre les deux valeurs disponibles, celle provenant du Cemagref a été conservée.

Les **huiles et graisses alimentaires usagées** sont des huiles en provenance de la **restauration commerciale et collective**, mais incluses ici en raison de leur traitement en STEP urbaine (cf. 4.2). Tout comme l'ensemble des graisses, leur potentiel méthanogène est élevé, ce qui justifie leur utilisation en digestion anaérobie. Cette valeur est une moyenne de celles rencontrées dans la base de données du Parc Naturel Régional de Lorraine. Les données utilisées pour déterminer le taux de matière sèche et de matière organique sont également issues d'un document de travail interne de l'ADEME⁹. En l'absence actuelle de données sur la teneur azotée, celle déterminée pour les graisses de STEP a été utilisée.

2.3.4. Cultures énergétiques

Les **cultures énergétiques** ont été ajoutées dans cette 2^{ème} version du logiciel DIGES. Les cultures identifiées sont : le maïs ensilage, l'ensilage d'herbe, le foin, la luzerne, le blé, le seigle et l'orge. Les substrats « Methasim » présentent une liste plus complète.

Ces substrats présentent un potentiel méthanogène intéressant pour la digestion anaérobie et sont couramment utilisés dans les unités de méthanisation installées en Allemagne.

On notera que dans le cas des cultures énergétiques, contrairement aux substrats présentés ci-dessus, il ne s'agit pas ici d'un déchet ou d'un sous-produit qu'il convient de traiter. Ce substrat est cultivé spécifiquement pour optimiser le rendement de l'installation de digestion anaérobie.

⁷ ADEME (S. Wenisch)

⁸ Royer Cécile. Traitement biologique aérobie des graisses. Mémoire. Cemagref. 1998. Confidentiel

⁹ Document ADEME/Christine Schubetzer - Potentiel méthanogène de différents substrats – Sources : Bureau d'études IRCO Sprl, Fachverband Biogas, ADAESO, PNR Lorraine / INPL

3. La filière de digestion anaérobie

3.1. Description

La filière fait référence par défaut à une digestion anaérobie en phase **liquide** (substrats liquides ou fluides), **mésophile** (35-37°C) avec un temps de rétention hydraulique de **30 jours**.

Il peut exister d'autres modes de digestion anaérobie en fonction de la température (thermophile, ...), du nombre de phases (1 ou 2 phases), etc. Les différences entre ces modes de digestion ne sont pas prises en compte dans la simulation.

Quel que soit le substrat, la description de la filière de digestion anaérobie est la même. Elle comporte deux grands thèmes, détaillés ci-après : le traitement des substrats et la production d'énergie (cf. Schéma1).

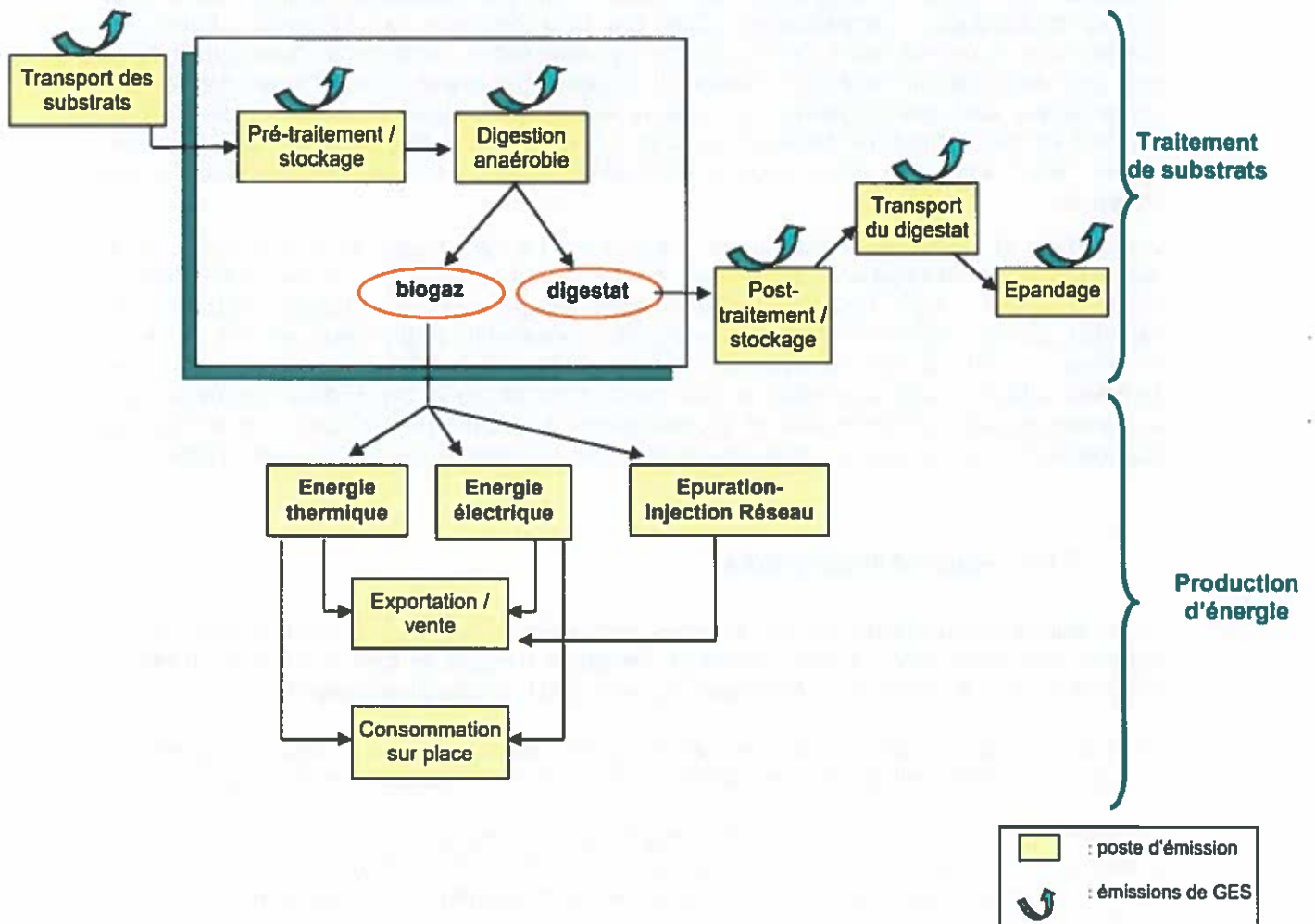


Schéma 1 : Description de la filière de digestion anaérobie

3.1.1. Le traitement des substrats

Chaque installation de digestion anaérobie peut présenter des particularités. Les grands postes associés au traitement des substrats dans le schéma 1 peuvent donc exister ou non en fonction des installations.

3.1.1.1. Les postes d'émissions

➤ Le poste « **transport des substrats** » permet de comptabiliser les émissions dues au transport des substrats. L'utilisateur peut indiquer la distance parcourue afin d'acheminer les substrats vers l'unité de digestion anaérobie. Après avoir enquêté quelques installations de méthanisation en fonctionnement, il s'avère que le véhicule le plus fréquemment utilisé possède une charge utile de 10-15 tonnes. Une installation de taille importante utilise également des semi-remorques de 38t avec une charge utile de 25 tonnes pour certains co-substrats. Afin de se placer dans le cas le plus fréquemment rencontré et pour prendre en compte le facteur d'émission le plus « pénalisant », la méthode de calcul retenue se base sur un facteur d'émission du Bilan Carbone ® de 261,3 g C/km (tableau n°78 du guide des facteurs d'émission du Bilan Carbone) soit 958 g CO₂/km. Ce facteur d'émission est spécifique à la classe de PTAC correspondant aux tracteurs routiers de PTAC de 11 à 19t. Il nous paraît donc bien adapté pour une estimation correcte des émissions liées au transport des substrats assez divers qui peuvent être rencontrés. Ce facteur d'émission correspond à une moyenne pour tous types de parcours, en charge ou à vide. La charge maximale utile moyenne pour cette classe de PTAC est de 11,62 t (tableau n°74 du guide des facteurs d'émission du Bilan Carbone). On prendra en considération cette charge utile moyenne pour le calcul du nombre de trajets nécessaires à l'acheminement des substrats. Le calcul s'écrit comme suit :

Quantités de C en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{arrondisup} (\text{tonnage}/11.62) * 2 * \text{dist} * \text{FE}_{\text{CO}_2 \text{ km}})$$

Avec :

- tonnage : quantité de substrat transporté
- arrondisup() : arrondi à l'entier supérieur pour calculer le nombre d'aller retour réels
- dist : distance du trajet aller à parcourir en km
- 2 : afin de tenir compte du trajet de retour à vide du véhicule
- FE_{CO₂ km} : facteur d'émission de CO₂ par km pour un tracteur routier ayant une charge utile moyenne de 11.62 t (= 958 gCO₂/km)

Dans le cas d'une installation à la ferme, ce poste d'émission peut être négligeable pour les déjections d'élevage. Il devra par contre être renseigné pour les co-substrats.

➤ Le poste « **pré-traitement / stockage** » correspond à un traitement ou un stockage du ou des substrats avant entrée dans le digesteur.

Dans les cas où ce poste existe, il peut y avoir un ou plusieurs pré-traitements (broyage, dilacération, tri, mélange avec l'inoculum, pré-fermentation). Les Informations disponibles sur le traitement préalable à la digestion anaérobie sont peu nombreuses et par défaut, on considère donc un stockage simple, sans traitement.

Il est difficile de prendre correctement en compte le stockage des substrats agroalimentaires et de collectivités avant la digestion anaérobie. En effet, les pratiques et durées de stockage sont variables. Il s'agit généralement d'un stockage temporaire à l'arrivée sur le site avant acheminement vers le digesteur. Par conséquent, ce poste est inclus dans l'approche mais les émissions liées ne sont pas correctement évaluées (cf. point 3.2.). Les versions

ultérieures du calculateur pourront prévoir une amélioration en fonction de l'avancée des connaissances sur ce point.

Pour les substrats agricoles, il faut qu'une quantité suffisante de substrats s'accumule avant d'alimenter le digesteur. Pour ces substrats on considère un stockage, sans traitement, similaire aux stockages décrits pour la filière de référence mais d'une durée moyenne de 20 jours, soit 4 fois moins longue que la durée de stockage de la filière de référence.

Le stockage peut être couvert ou non, avec récupération ou non du biogaz généré, pour être valorisé énergétiquement. Plus précisément, trois cas se distinguent :

- Stockage couvert avec récupération du biogaz. Le taux de récupération est de 100% du méthane émis. Le CH₄ est ensuite utilisé pour la production d'énergie ;
- Stockage couvert sans récupération du biogaz (taux de récupération : 0%) : la fosse n'est pas hermétiquement close et des émissions de CH₄ ont lieu dans l'air. Généralement, les installations de digestion anaérobie agricoles ont une fosse de pré-stockage enterrée et recouverte d'une dalle béton, comportant une ouverture pour le passage d'un agitateur ou d'une pompe (cas le plus fréquent), ce qui a pour conséquence l'émission de gaz dans l'air ;
- Stockage non couvert : dans ce cas, le taux de récupération est de 0% et les émissions de méthane ont lieu directement dans l'air.

Si l'utilisateur de DIGES dispose d'informations spécifiques à l'installation qu'il souhaite évaluer, il pourra indiquer à laquelle de ces trois possibilités elle correspond.

Pour le scénario par défaut, on considère un stockage des substrats sans récupération du biogaz, cas le plus fréquent surtout si il s'agit de substrats solides (fumiers ou cultures énergétiques). Dans le cas des lisiers, les fosses font rarement l'objet d'une récupération du biogaz à ce stade du traitement.

➤ Le poste « **digestion anaérobie** » désigne le processus de méthanisation des substrats dans le digesteur (mésophile, TRH : 30 jours). Il est retenu un fonctionnement normal de la digestion : le système est étanche et il n'y a pas de fuites de biogaz. En effet, les fuites éventuelles de biogaz seraient, pour ce poste, davantage dues à un dysfonctionnement qu'à une caractéristique intrinsèque de la technologie de digestion anaérobie.

Il a été considéré que le biogaz produit au cours de la digestion contient 60% de méthane.

➤ Le poste d'émission « **post-traitement / stockage** » désigne un traitement et/ou un stockage du digestat.

Le traitement du digestat peut être une déshydratation, et/ou un compostage, etc. Par exemple, si le digestat est destiné à être commercialisé comme amendement organique, il rentre dans le champ d'application de la norme AFNOR NFU 44051, ce qui implique une étape de maturation aérobie (compostage).

Les connaissances actuelles ne permettent pas de déterminer les émissions qui ont lieu au cours des étapes de traitement. Par conséquent, seules les émissions de gaz à effet de serre de l'étape de stockage sont prises en compte dans le calculateur.

Comme pour le pré-stockage, le post-stockage peut être couvert ou non, avec récupération ou non du biogaz produit, en fonction des trois possibilités suivantes :

- Stockage couvert avec récupération du biogaz (taux de récupération du méthane : 100%) pour la production d'énergie ;
- Stockage couvert sans récupération du biogaz (taux de récupération de 0%), avec des émissions de méthane polluantes ;
- Stockage non couvert sans récupération du CH₄ (0%), avec des émissions polluantes.

L'utilisateur de DIGES peut renseigner cette information s'il la connaît. Le calcul se fait avec l'hypothèse par défaut d'un stockage couvert avec récupération du biogaz.

➤ Le poste « transport du digestat » permet de comptabiliser les émissions d'énergie fossiles dépensées dues au transport du digestat vers la parcelle d'épandage. Le calcul s'écrit de la même manière que pour le transport des substrats mais en tenant compte d'un coefficient d'abattement de la matière. Pour cela, on utilise le coefficient MO_blod/MO qui fait partie des paramètres décrivant la composition.

On estime ainsi le tonnage du digestat par :

Quantités de C en t ég CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{arrondisup}((\text{tonnage} - \text{tonnage} * MO_blod/MO * \%MO/MB) / 11.62) * 2 * \text{dist} * FE_{CO2km})$$

Avec :

- tonnage : quantité du substrat initial
- arrondisup() : arrondi à l'entier supérieur pour calculer le nombre d'aller retour réels
- dist : distance du trajet aller à parcourir en km
- MO_blod/MO : pourcentage correspondant à la matière organique biodégradable dérivé du potentiel méthanogène
- $\%MO/MB$: teneur en matière organique de la matière brute
- FE_{CO2km} : facteurs d'émission de CO₂ par km pour un tracteur routier ayant une charge utile moyenne de 11.62 t (= 958 gCO₂/km)

➤ « L'épandage » sur les terres agricoles est la destination la plus courante du digestat. On considère qu'il est effectué en surface, ce qui correspond à la pratique d'épandage la plus courante. Dans ce cas, les émissions de méthane et de protoxyde d'azote qui se produisent ne sont pas négligeables.

3.1.1.2. Le principe du calcul des émissions

Qu'il s'agisse de rejets dans l'air ou de quantités produites et valorisables (production de CH₄ dans le digesteur et récupération aux postes de stockage), les émissions de méthane et de protoxyde d'azote, sont calculées pour chacun des postes décrits ci-dessus et pour chaque substrat composant le mélange digéré. Ces calculs sont effectués selon les formules simplifiées ci-dessous :

$$N_2O = \text{tonnage} \times \text{teneur en N} \times FE \times \text{facteurs de conversion}$$

$$CH_4 = \text{tonnage} \times \text{Potentiel Méthanogène} \times FE \times \text{facteurs de conversion}$$

L'utilisateur de DIGES indique des tonnages de substrats à digérer qui, couplés aux données de composition, conduisent à des quantités d'azote et de méthane potentiel auxquelles sont appliquées des facteurs d'émission. Ces facteurs d'émission sont présentés par la suite dans le point 3.2. et le calcul sera détaillé dans la partie 6.

Avant d'aborder ces points, la description de la filière de digestion anaérobie se poursuit avec le volet « production d'énergie ».

3.1.2. La production d'énergie

L'utilisateur de DIGES doit renseigner des informations sur les caractéristiques de l'installation de digestion anaérobie afin de calculer les émissions de GES évitées par la production d'énergie. Ces informations concernent :

- la récupération de biogaz au niveau des ouvrages de stockage pour la production d'énergie

- le mode de valorisation énergétique (co-génération, tout thermique, tout électrique ou injection dans le réseau de distribution de gaz)
- les quantités d'énergie thermique et électrique valorisées
- les modes d'utilisation de l'énergie produite

Si certaines données sont inconnues, DIGES peut calculer à partir de scénarios par défaut la production d'énergie correspondante. Cette partie détaille point par point les étapes de production et d'utilisation de l'énergie et décrit les scénarios retenus par défaut dans le calculateur. Le schéma 2 rappelle les principales notions utilisées pour aborder la production et l'utilisation d'énergie, avec les ratios de conversion utilisés par la suite.

On notera que dans le cas de l'injection dans le réseau de distribution de gaz, il n'est pas tenu compte des rendements d'utilisation du gaz (rendement d'une chaudière d'un particulier). En effet, seul le rendement d'épuration du biogaz avant l'injection est considéré.

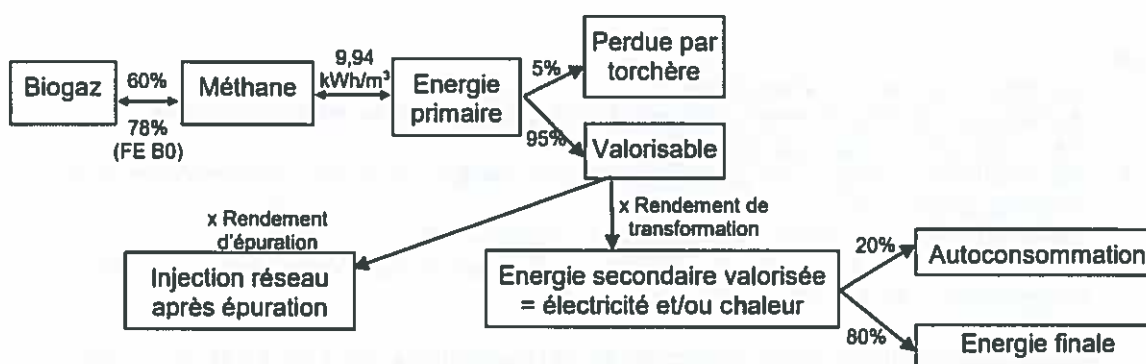


Schéma 2 : Du biogaz à l'énergie finale

3.1.2.1. L'énergie primaire

Le processus de fermentation dans le digesteur produit du biogaz contenant 60% de méthane. Les étapes de stockage en amont et en aval de la digestion anaérobie produisent également du méthane qui peut être valorisé énergétiquement dans le cas d'un ouvrage couvert avec récupération du biogaz (cf. 3.1.1.1.). Le flux de méthane en sortie de l'unité de digestion correspond donc à la somme de la production du méthane récupéré lors du pré-stockage des substrats, lors de la digestion et lors du post-stockage du digestat. Afin d'évaluer la production de méthane, le potentiel méthanogène (maximum théorique de production) de chaque substrat est utilisé, potentiel qui est modulé par un facteur de 78% qui sera détaillé par la suite au §3.2.

Le méthane a une énergie primaire de 9,94 kWh/m³ CH₄. Il s'agit de l'énergie que contient ce produit énergétique avant transformation en énergie secondaire. Cette énergie primaire du méthane est convertie en énergie réellement valorisée sur l'installation en tenant compte d'une perte liée aux opérations de maintenance des unités de production énergétique. (cf. tableau 2).

méthane produit à la sortie du digesteur	100%
méthane brûlé en torçère	5%
méthane valorisé	95%

Tableau 2 : Destination du méthane produit au cours de la digestion ¹⁰

¹⁰ déterminé par l'ADEME à partir notamment de l'étude Cabinet Merlin / EREP, 2004

3.1.2.2. La production d'énergie secondaire

L'énergie secondaire est ici l'électricité et/ou la chaleur. En effet, plusieurs modes de production d'énergie existent en digestion anaérobie. Des installations fonctionnent en **cogénération**, produisant à la fois de l'énergie thermique et de l'énergie électrique. Certaines ne produisent que de l'électricité et d'autres, enfin, que de la chaleur.

A chacun de ces scénarios correspond un rendement énergétique spécifique, avec un pourcentage d'énergie primaire converti en énergie électrique et/ou un pourcentage de conversion en énergie thermique, ainsi qu'un pourcentage de perte énergétique dans le système¹¹ (cf. tableau 3).

Mode de production	Type d'énergie	Rendement de transformation
Cogénération Electricité + Chaleur	Electrique	30%
	Thermique	35%
	Energie perdue	35%
Production Electricité	Electrique	30%
	Energie perdue	70%
Production Chaleur	Thermique	80%
	Energie perdue	20%

Tableau 3 : Rendement de transformation de l'énergie valorisable en fonction des modes de production énergétique (en % de l'énergie valorisable)

Dans le calculateur DIGES, l'utilisateur a la possibilité de choisir quel scénario ci-dessus correspond à l'installation de digestion anaérobie pour laquelle il établit le bilan effet de serre. S'il dispose d'informations plus précises, il peut également indiquer directement en kWh quelles sont les quantités d'énergie électrique et/ou thermique valorisées.

Dans le cas de l'injection dans le réseau de distribution de gaz, ce n'est pas le rendement de l'énergie secondaire qui est pris en compte mais un rendement lié à l'épuration du biogaz qui est estimée et indiquée dans le tableau ci-dessous (cf tableau 3bis). Le document source mentionne 2% de pertes de biogaz dues à l'épuration ainsi qu'une consommation d'énergie de 0,42 kWh/Nm³ de biométhane épuré (soit $0,42/9,94=0,042$ Nm³/Nm³, soit 4,2%).

Avec : 9,94 = coefficient de conversion du méthane en énergie en kWh/m³ CH₄

Rendement de l'injection de biogaz dans le réseau en % de l'énergie valorisable
93,8% ¹²

Tableau 3bis : Prise en compte de l'épuration du biogaz pour l'injection de biogaz dans le réseau de distribution

3.1.2.3. L'utilisation de l'énergie valorisée

L'énergie secondaire (électrique et/ou thermique) est valorisée pour deux usages : l'énergie autoconsommée par l'installation de digestion anaérobie et l'énergie finale¹³ (cf. Schéma 2). C'est ce que l'on appelle l'énergie valorisée.

¹¹ Déterminé par l'ADEME à partir notamment de l'étude Cabinet Merlin /EREP, 2004

¹² Déterminé d'après : Analyse du cycle de vie des modes de valorisation énergétique du biogaz issu de méthanisation de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères collectée sélectivement en France, Rapport final, Septembre 2007, tableau 17

¹³ C'est l'énergie livrée aux consommateurs pour être convertie en énergie "utile". Exemple : électricité, essence, gaz, gazole, fioul domestique etc.

L'énergie valorisée peut donc être destinée à trois utilisations (cf. Schéma 1) :

- une part est **autoconsommée** par l'installation (chauffage de l'effluent, du digesteur, etc.), elle reste dans le système ;
- une part est **consommée sur place** (électricité et chauffage des bâtiments de l'exploitation agricole, des locaux d'habitation, etc., hors autoconsommation de l'installation de digestion anaérobie) ;
- une part est **vendue** (à EDF, à un réseau de chaleur, à un industriel, etc.)

Dans le calculateur DIGES, il est possible d'indiquer de manière spécifique pour chaque installation, les pourcentages ou les quantités d'énergie (en kWh) correspondants aux trois usages ci-dessus.

Des pourcentages d'utilisation par défaut ont également été déterminés¹⁴ (cf. Tableau 4).

Energie	Utilisation	%
Electricité	Electricité valorisée	100%
	Energie autoconsommée process	20%
	Energie consommée sur place	40%
	Energie vendue	40%
Chaleur	Chaleur valorisée	100%
	Energie autoconsommée process	20%
	Energie vendue	40%
	Energie consommée sur place	40%

Tableau 4 : Parts de l'énergie électrique et de l'énergie thermique appliquées, par défaut, pour chaque usage (autoconsommation, consommation sur place, vente)

On considère un **taux d'autoconsommation de 20%** de l'énergie électrique et de l'énergie thermique produites, pour le fonctionnement de l'installation de digestion anaérobie.

L'énergie utile est donc de 80%. On considère qu'elle est pour moitié consommée sur place et pour moitié exportée. Pour l'énergie électrique comme pour l'énergie thermique produite, **40% sont consommés sur place et 40% sont exportés.**

¹⁴ déterminé par l'ADEME dans le cadre de l'étude



3.1.2.4. Récapitulatif du scénario « cogénération » pour la production d'énergie

Le scénario de cogénération a été défini précédemment pour une installation de digestion anaérobie en intégrant les hypothèses de pertes de biogaz, de transformation par cogénération et d'utilisation de l'énergie électrique et de l'énergie thermique.

Le schéma 3 permet de visualiser la destination finale de l'énergie primaire du biogaz produit au cours de la digestion anaérobie.

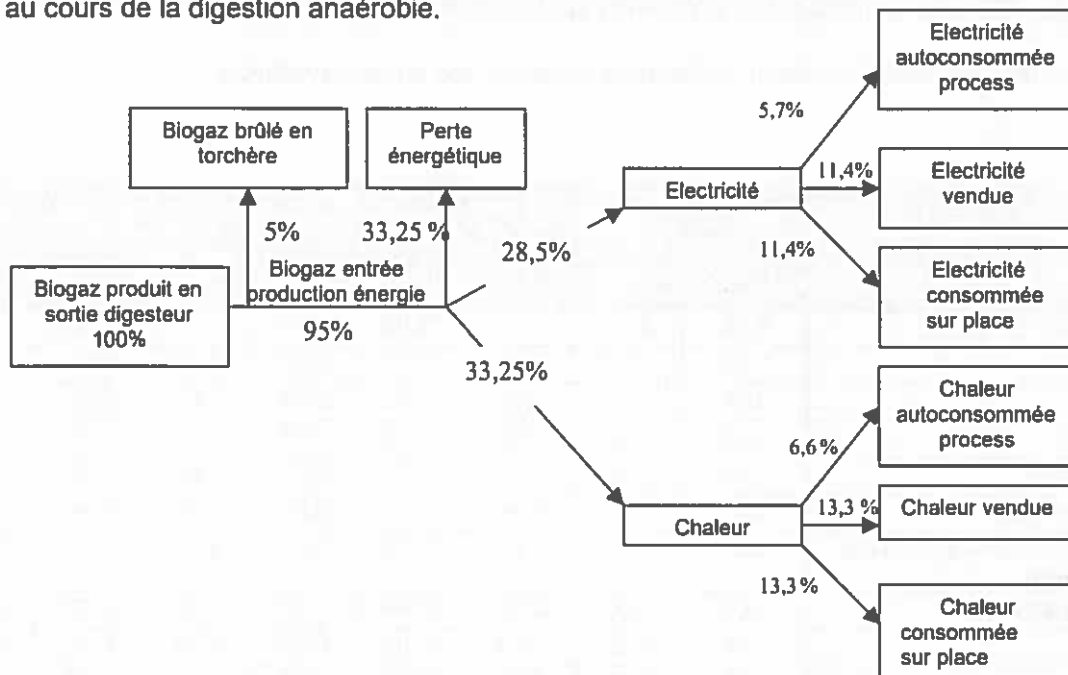


Schéma 3 : Valorisation et utilisation de l'énergie primaire dans le scénario par défaut

Nous noterons qu'il s'agit ici de moteurs à allumage commandé qui fonctionnent au biogaz uniquement. Les moteurs « dual fuel » fonctionnant avec un ajout de fuel ne sont pas intégrés dans DIGES. Si le rendement de ces moteurs est légèrement supérieur et qu'ils présentent un intérêt technico-économique pour des installations de petite taille (<100 kWe), ils sont moins répandus que les cogénérateurs au biogaz pur.

3.1.2.5. Le principe du calcul des émissions

On peut remarquer sur le schéma 1 que les émissions de GES ne sont pas prises en compte dans le thème production d'énergie. En effet, bien que des émissions gazeuses aient lieu, il s'agit d'émissions de CO₂ qui, lorsqu'elles sont liées à la production d'énergie, ne sont pas comptabilisées comme gaz à effet de serre en raison de l'origine biomasse de cette production.

Cependant, pour l'établissement du bilan effet de serre, il est nécessaire de connaître les quantités d'énergie électrique et thermique finales produites par l'installation de digestion anaérobie. C'est en effet à partir de ces quantités d'énergie, qui se substituent à celles qui auraient été consommées par la filière de référence, que l'on peut calculer les émissions gazeuses évitées (cf. section 5.).

3.2. Facteurs d'émission correspondants

On rappelle que les facteurs d'émission du tableau 5, déterminés pour la filière de digestion anaérobie, ne concernent que le thème « traitement des substrats », les émissions liées au thème « énergie » n'étant pas comptabilisées.

Comme indiqué précédemment, les substrats présentés ici correspondent à la version « llbre » du logiciel.

On précise que les facteurs d'émission correspondent à une production de gaz au niveau des postes d'émission et pas forcément à une émission dans l'air. Notamment, pour le pré-stockage et le post-stockage, le méthane produit est soit valorisé pour la production d'énergie, soit émis dans l'air. Les précisions sur le calcul seront apportées dans la partie 6.

Le choix des données d'émission est précisé ci-après, par poste d'émission.

Déchets	pré-stockage du déchet		digestion anaérobie		post-stockage - traitement		épandage du digestat	
	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄
fumier bovin	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,01
fumier porcin	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
lisier bovin	0,00	4,18	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,01
lisier porcin	0,00	4,18	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
fientes volaille	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
fumier de volailles	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,01
co-produits de l'industrie de la pomme de terre	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
graisses d'abattoir	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,06
lactosérum	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,05
boues de STEP (IAA)	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
biodéchets ménagers	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
boues de STEP (collectivités)	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
graisses de STEP	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,06
huiles et graisses de restauration	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,06
drêches de brasserie	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
fruits et légumes	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
co-produits viticoles et vinicoles	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
déchets verts	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,01
Lisier canard	0,00	4,18	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,03
fumier ovin	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
Fumier équin	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
Fumier ovín-caprin	0,08	2,60	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
Lisier volaille	0,00	4,18	0,00	78,00	0,00	2,08	0,90	0,02
Amidon pulpe	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Betterave fanes	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Betterave fourragère	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Betterave sucrière	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Blé	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Blé grain	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03

DIGES 2.0

Boues de flotation	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,06
Boues de STEP	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Brasserie déchets	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Céréales poussières	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,01
Coiza tourteau	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Contenu de panse	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Contenu de panse pressé	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,05
Déchets de cuisine	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Déchets de légumes	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Déchets de sortie de silo	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Déchets des marchés	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Déchets verts humides	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
ensilage herbe	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
ensilage maïs	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Estomac/intestin contenu	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Farine animale	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,05
Feuillage	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Fines et spathes	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Foin	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Graisses	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Gruau de coiza	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Herbe de fauche sur jachère	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Herbe fraîche	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Jachères	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Luzerne	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Maïs	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Maïs résidus	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,05
Marc de fruit	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Mélasse	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Melon jus	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Orge	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
paille	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Paille de céréales	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Paille de maïs	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,05
Pain vieux	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,06
Pelouse	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Petit lait	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Pomme de terre fanes	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Pomme de terre pulpe	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Poussière silos	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Rafles d'automne	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Rafles de printemps	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Raisin marc distillé	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,02
Résidus de distillation de céréales	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,04
Résidus de distillation de pomme de terre	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
Selgie	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03

Semences déclassées	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,03
séparateur de graisse (Fettabschelder)	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	2,08	0,20	0,05

Tableau 5 : Facteurs d'émission de N₂O et CH₄ par substrat et par poste d'émission pour la filière de digestion anaérobie (en % N initial et % potentiel méthanogène, respectivement)

▪ Pré-stockage, pré-traitement

Il a été précisé que le pré-stockage des substrats d'IAA et de collectivités était difficile à aborder en raison de la variabilité des pratiques et du manque de disponibilité des données. En considérant qu'il s'agit plutôt de stockage de courte durée, on utilise par défaut des facteurs d'émission de méthane et protoxyde d'azote de valeur nulle. Par la suite, en fonction des données disponibles, cette approche devra être approfondie.

Pour les déjections animales, on considère que la durée de stockage est 4 fois moins longue que celle définie pour la filière de référence. Les facteurs d'émission déterminés pour la filière de référence sont donc divisés par quatre et intégrés ici (cf. section 4.2).

La définition de ce poste d'émission prévoit de pouvoir y inclure les pré-traitements évoqués précédemment. Dans l'état actuel des connaissances, aucune donnée s'y rapportant n'a pu être intégrée. Cependant, les versions ultérieures du calculateur pourront éventuellement le prévoir.

▪ Digestion anaérobie

Le biogaz produit au cours de la digestion anaérobie contient principalement du méthane et ne contient pas de protoxyde d'azote. Le facteur d'émission de protoxyde d'azote est donc nul quel que soit le substrat.

Il a été retenu l'hypothèse qu'il n'y avait pas de fuites au niveau du digesteur. Les facteurs d'émission du méthane mentionnés au tableau 5 correspondent donc à une production de gaz.

Cette production de méthane est par la suite valorisée en partie pour la production d'énergie (se reporter à la section 3.1.2). On rappelle que le méthane en sortie du digesteur est brûlé dans une unité de production d'énergie (chaudière, moteurs, ...) ou en torchère. Cette combustion n'émet pas de gaz à effet de serre. Il est admis, en effet, que le dioxyde de carbone libéré au cours de cette combustion n'a pas d'impact du fait de son origine biomasse. Les émissions de méthane liées à la production d'énergie sont donc nulles.

La production de méthane à la sortie du digesteur est calculée en multipliant le facteur d'émission par le potentiel méthanogène de chaque substrat, selon la formule simplifiée rappelée ci-dessous :

$$\text{CH}_4 = \text{tonnage} \times \text{Potentiel Méthanogène} \times \text{FE} \times \text{facteurs de conversion}$$

Des données de production de méthane au cours de la digestion anaérobie des différents substrats ont été recueillies dans la bibliographie. Afin de déterminer des facteurs d'émission pour le méthane en pourcentage du potentiel méthanogène, ces données de production ont été divisées par les potentiels méthanogènes correspondant à chaque substrat (issus du tableau 1). Les valeurs obtenues sont relativement proches, ce qui amène à considérer que l'on peut utiliser un facteur d'émission de méthane identique pour l'ensemble des substrats.

Cette conclusion permet de faire un choix méthodologique (un seul FE pour tous les substrats), cependant, les valeurs obtenues ne permettent pas de calculer un facteur d'émission moyen fiable car les données de production et les potentiels méthanogènes ne proviennent pas des mêmes sources (différences dans les conditions de mesure, les



compositions des substrats, etc.). De plus, des incertitudes existent car, dans la bibliographie, il n'est parfois pas indiqué ce qui est de l'ordre du potentiel méthanogène et de la production de biogaz.

Afin de disposer d'un FE fiable, les mesures effectuées sur des déjections animales dans le cadre d'un travail de thèse au Cemagref¹⁵ ont été utilisées. Pour chaque substrat étudié, la production de méthane à 30 jours (ce qui correspond au temps de rétention hydraulique de la filière décrite par défaut) a été divisée par le potentiel méthanogène du substrat. On obtient ainsi des coefficients (en % du potentiel méthanogène) par type de déjection, fiables car issus de mesures effectuées sur le même substrat d'origine et dans les mêmes conditions opératoires. La moyenne de ces coefficients permet de déterminer un facteur d'émission de méthane de 78% du potentiel méthanogène au cours de la digestion anaérobie. Par extension, ce facteur d'émission est appliqué aux autres substrats.

De même, René Moletta, dans son ouvrage : « La Méthanisation » indique :

« Au cours de la digestion, les 2/3 de la matière organique biodégradable sont transformés en biogaz... La transformation des 2/3 de la matière organique en conditions anaérobies entraîne une minéralisation de l'azote dans les mêmes proportions. Lors de la digestion, la minéralisation (et la conservation) de l'azote et du phosphore, la diminution de la teneur en matière sèche et la diminution de la phytotoxicité des substrats ont des conséquences positives sur la valeur fertilisante du digestat. »

Le facteur 2/3 qu'il mentionne est à rapprocher des 78% indiqués précédemment. Ces « coefficients de modulation » traduisent de la différence entre les conditions réelles et les conditions expérimentales où le potentiel méthanogène est obtenu dans des conditions optimales. Il est donc préférable de tenir compte de cette modulation dans les calculs (ce qui n'est pas toujours le cas dans les autres simulateurs de bilan GES).

▪ Post-stockage, post-traitement

Les données d'émission disponibles dans la bibliographie et concernant le stockage ou le traitement du digestat, sont très peu nombreuses.

Par conséquent, pour déterminer les facteurs d'émission, on cherche à disposer de comparaisons de mesures entre des substrats bruts et des substrats digérés.

Dans une publication de Amon & al.¹⁶ sur les émissions au cours du stockage de digestat de lisier bovin, les mesures de N₂O sur lisier brut et lisier digéré ne sont pas significativement différentes. On applique donc ici le FE déterminé pour le lisier brut dans la filière de référence, soit 0% (cf. section 4.2). Par ailleurs, on peut supposer que les digestats sont plutôt liquides, auquel cas leur stockage (et traitement) s'effectue en conditions anaérobies, sans émissions de N₂O. Le même facteur d'émission peut alors être appliqué pour l'ensemble des substrats.

La publication de Amon & al. a également fourni des éléments sur les émissions de CH₄ au cours du stockage de digestat de lisier de bovin. Selon les mesures effectuées, les émissions au cours du stockage du digestat sont réduites de 66,8% par rapport aux émissions au stockage du lisier brut. A partir de cette donnée, nous avons considéré un stockage du digestat de 30 jours (avec pour hypothèse un temps total de la filière de digestion anaérobie identique à celui de la filière de référence, soit 20 jours de pré-stockage, 30 jours de digestion et 30 jours de post-stockage) et une réduction des émissions de 66,8% par rapport à un lisier brut.

¹⁵ thèse Vedrenne F. Compréhension des processus responsables des émissions de méthane issues des déjections animales liquides en vue d'une maîtrise de ces émissions. Cemagref. Ademe. En cours

¹⁶ Amon B. & al. 2005

Le calcul s'écrit :

$$\text{FE}_{\text{post-stockage_digestat_CH}_4} = \text{FE}_{\text{stockage_lisier_brut_CH}_4} * 33,2/100 * 30/80$$

Avec :

FE_{post-stockage_digestat_CH₄} : Facteur d'émission du CH₄ calculé pour le post-stockage du digestat

FE_{stockage_lisier_brut_CH₄} : Facteur d'émission du CH₄ pour le stockage du lisier brut

33,2/100 : facteur correspondant à une réduction d'émission de 66,8%

30/80 : facteur correspondant à la durée de stockage du digestat par rapport au stockage du lisier brut

Le taux d'émission obtenu est de 2,08% du potentiel méthanogène du substrat.

A terme, ces résultats déterminés pour le méthane et le protoxyde d'azote devraient être approfondis pour une évaluation plus précise du bilan.

En effet, les premières approximations faites ci-dessus supposent que le digestat se comporte de la même manière quelle que soit la composition du mélange digéré et son traitement.

Les facteurs d'émission déterminés pour ce poste d'émissions permettent de calculer les rejets dans l'air pour des ouvrages de stockage sans récupération du biogaz (couverts ou non). Dans le cas d'un stockage couvert avec récupération du biogaz, on utilise les mêmes facteurs d'émission mais les quantités de CH₄ comptabilisées ne sont pas intégrées dans le bilan des émissions gazeuses, elles sont utilisées pour les calculs relatifs à la valorisation énergétique (cf. partie 3.1.2.1.).

- Epandage du digestat

Les éléments disponibles dans la bibliographie constituée sont également peu nombreux sur les émissions de GES liées à l'épandage de digestat.

Quelques publications fournissent des éléments de comparaison entre les émissions de N₂O au cours de l'épandage de lisier brut et de lisier digéré. Dans 2 publications¹⁷ du même auteur, les émissions à l'épandage de digestat sont plus élevées de 5% dans un cas et de différence non significative dans l'autre. Dans une autre publication¹⁸, elles sont plus faibles de 80% et dans la dernière étude¹⁹ plus récente, on aboutit à une différence de 20% inférieure pour l'émission à l'épandage de digestat par rapport à l'épandage du lisier bovin brut. Il apparaît ainsi difficile de conclure. Par conséquent, on considère que les émissions sont de même ordre de grandeur que celles de la filière de référence et on utilisera donc les mêmes FE.

Conformément aux facteurs d'émission déterminés pour les filières de référence des différents substrats (cf. tableau 6, point 4.2.), un FE de 0,9% de l'azote initial est appliqué pour l'ensemble des déjections animales et de 0,2% pour l'ensemble des autres substrats²⁰.

Par extension, on applique ce raisonnement pour déterminer les émissions de CH₄. Cependant, alors que pour le protoxyde d'azote les émissions étaient nulles ou négligeables au cours des étapes précédant l'épandage, des émissions de méthane significatives ont lieu dans ces postes. On détermine donc pour chaque substrat la quantité du potentiel méthanogène non dégradée. Cette quantité est calculée à partir du potentiel méthanogène initial, par déduction des émissions ayant eu lieu dans les étapes antérieures. Il est ensuite

¹⁷ J.Clemens & al. 2004 et Clemens & al. 2001

¹⁸ Amon & al. 2004

¹⁹ Köster & al. 2009

²⁰ y compris pour les graisses de STEP et huiles et graisses alimentaires : dans la filière de référence de ces substrats, il y a un traitement spécifique pour éliminer l'azote, les émissions à l'épandage sont donc nulles ; par contre, ce traitement n'a pas lieu dans la filière de gestion anaérobie.

appliqué à cette quantité de méthane potentiel, un facteur d'émission de 0,04%. Ce facteur est issu d'une étude menée par le Cemagref dans le cadre d'une convention avec l'ADEME : « Flux de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O) et d'ammoniac (NH₃) liés à la gestion des déjections animales : Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données ». Par ce calcul on obtient les FE du tableau 5. Le calcul du facteur d'émission de méthane à l'épandage (FE_EpCH₄) s'écrit :

$$FE_{EpCH_4} = [1 - \Sigma(FE_{précédents}) * B0] * 0,0004$$

Avec :

FE_précédents : FE au pré-stockage et FE digestion anaérobie

B0 : potentiel méthanogène

0,0004 : 0,04%

Afin de calculer l'émission de CH₄ de ce poste, on utilise le facteur d'émission ainsi calculé et le potentiel méthanogène initial de chaque substrat.

Etant donné l'absence d'informations plus précises, on considère que ces facteurs d'émission s'appliquent aux digestats en l'état ainsi qu'aux digestats ayant fait l'objet d'une maturation (compost).

4. Les filières de traitement de référence

La méthodologie d'élaboration du bilan effet de serre d'installations de digestion anaérobie amène à définir pour chaque substrat, la filière de référence selon laquelle il aurait été traité en l'absence de digestion anaérobie.

4.1. Description des filières par famille de substrat

4.1.1. Substrats agricoles

Les déjections animales pouvant être utilisées pour une simulation sont les fumiers de bovins, porcins et volailles, les lisiers bovins et porcins, ainsi que les fientes de volailles. Les filières sont les mêmes pour l'ensemble de ces substrats : on considère les déjections à la sortie du bâtiment d'élevage, puis on compare les émissions gazeuses de la filière digestion anaérobie avec celles de la filière de référence pour la gestion des substrats, à savoir un stockage au niveau de l'exploitation suivi d'un épandage agricole (cf. schéma 4).

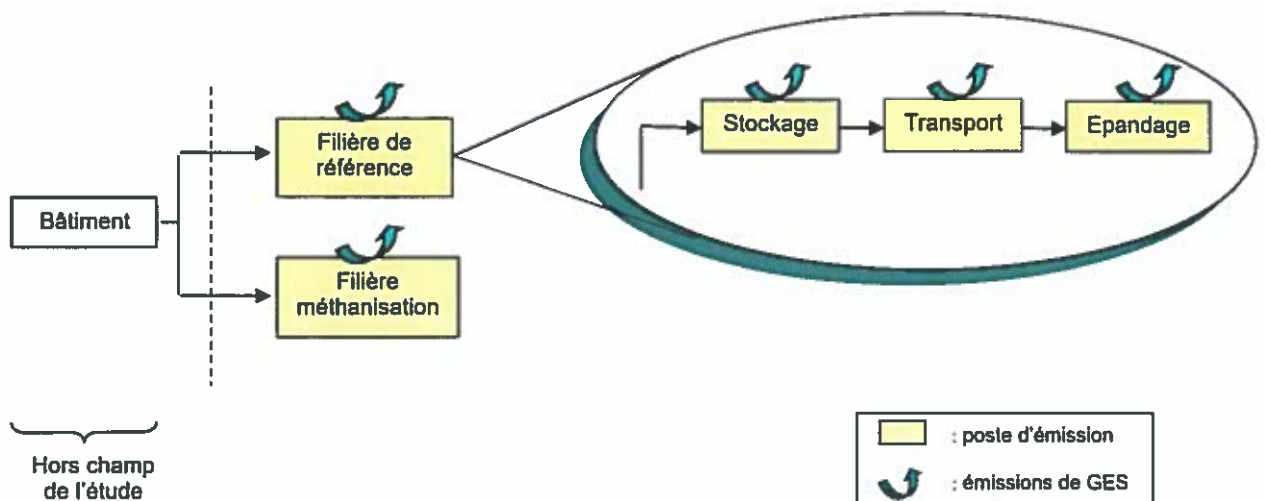


Schéma 4 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les déjections animales

Pour les fumiers, on pose pour hypothèse que le stockage s'effectue en bout de champ, sur une durée moyenne de 80 jours. Les lisiers et fientes sont quant à eux considérés stockés dans une fosse béton semi-enterrée non couverte, sur une durée moyenne de 80 jours également. Le transport des effluents d'élevage vers la parcelle d'épandage est pris en compte. L'utilisateur indique la distance à parcourir pour les acheminer vers les parcelles. À l'épandage, on considère les techniques utilisées le plus couramment : épandeur à fumier et épandage en surface par buse palette pour les lisiers et fientes.

4.1.2. Substrats des industries agroalimentaires

4.1.2.1. La fabrication d'aliments

De nombreux sous-produits et co-produits des industries agro-alimentaires trouvent un débouché en étant valorisés en tant que matière première dans une autre activité.

Ainsi, en 1996, 48,9% des 1 148 000 tonnes de déchets produits par les industrie de transformation de légumes (dont 24% de **co-produits de l'industrie de la pomme de terre**) étaient valorisés en alimentation animale. Ce pourcentage était de 92,6% pour les sous-produits des laleries et fromageries (dont 95% de **lactosérum**) et de 74,9% pour les sous-produits des brasseries (dont 65% de **drêches de brasserie**)²¹. Ces sous-produits peuvent également être valorisés en alimentation humaine (poudre de lait à partir de lactosérum). Dans l'approche, on compare la filière de traitement des déchets par digestion anaérobie et leur gestion dans la filière de référence (cf. schéma 5).

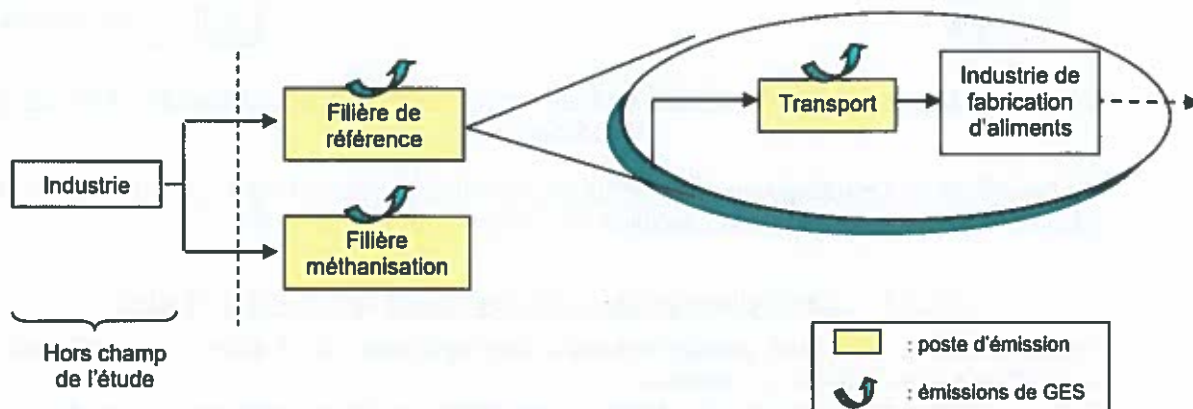


Schéma 5 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les co-produits de l'industrie de la pomme de terre, les drêches de brasserie et le lactosérum

Dans la filière de référence, ces sous-produits sont intégrés dans un nouveau processus de fabrication et ne sont plus gérés en tant que déchets. Les gaz à effet de serre de cette activité ne sont donc pas considérés ici. Le facteur d'émission appliqué à ce mode de valorisation sera donc de valeur nulle. On tiendra compte néanmoins des émissions de GES induits par le transport vers l'industrie de fabrication d'aliments.

4.1.2.2. L'épandage agricole

Avec la valorisation en alimentation, l'épandage agricole est la principale voie de débouchés des déchets agro-alimentaires. Ils présentent en effet un intérêt agronomique en tant qu'amendement ou fertilisant organique.

L'ensemble de la filière distillerie (secteurs viti-vinicoles, cidreries, brasseries, malteries) constitue le 2^{ème} gisement de substrats concernés par l'épandage agricole en 2000 selon l'étude de CM International²². Selon cette même étude, les **co-produits viticoles et vinicoles** sont majoritairement épandus.

On compare donc ici les émissions de gaz à effet de serre liées à la digestion anaérobie des co-produits vitivinicoles à celles liées à leur épandage agricole (cf. schéma 6).

²¹ Petitjean S. - Utilisation des substrats en agriculture – Le courrier de l'environnement n°28 - 1996

²² CM International – Évaluation des quantités actuelles et futures de sous-produits épandus sur les sols agricoles provenant des industries agroalimentaires – Avril 2002

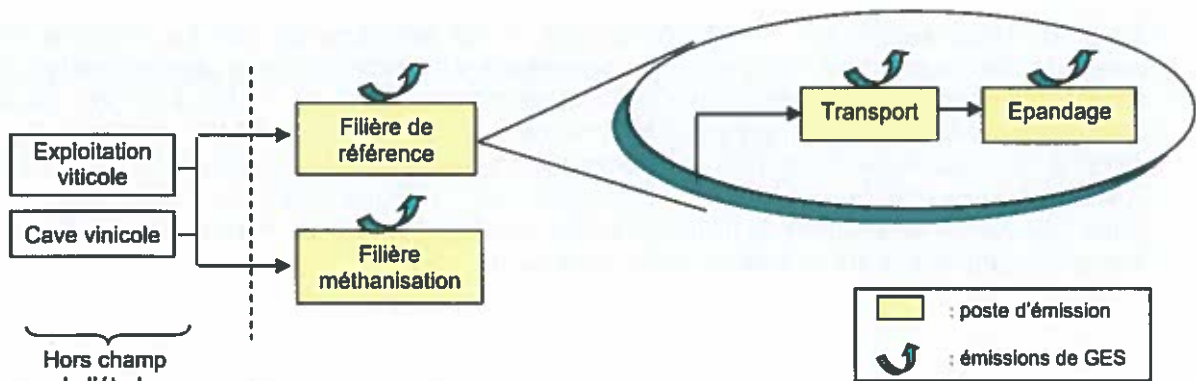


Schéma 6 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les co-produits viticoles et vinicoles

On considère un épandage en surface qui est la situation la plus courante. Les émissions de GES liées au transport vers les parcelles d'épandage sont considérées.

4.1.2.3. Le stockage et l'épandage de boues de STEP industrielles

De nombreuses industries agroalimentaires sont équipées d'une station de traitement de leurs effluents qui génère des boues.

Celles qui disposent d'unité de digestion anaérobie peuvent méthaniser ces boues en mélange ou non avec d'autres effluents et d'autres substrats. Plus généralement, les boues sont stockées avant d'être épandues. On compare le traitement par digestion anaérobie des boues à la sortie de la station d'épuration industrielle avec la gestion de ces mêmes boues par une phase de stockage suivi d'un épandage agricole (cf. schéma 7).

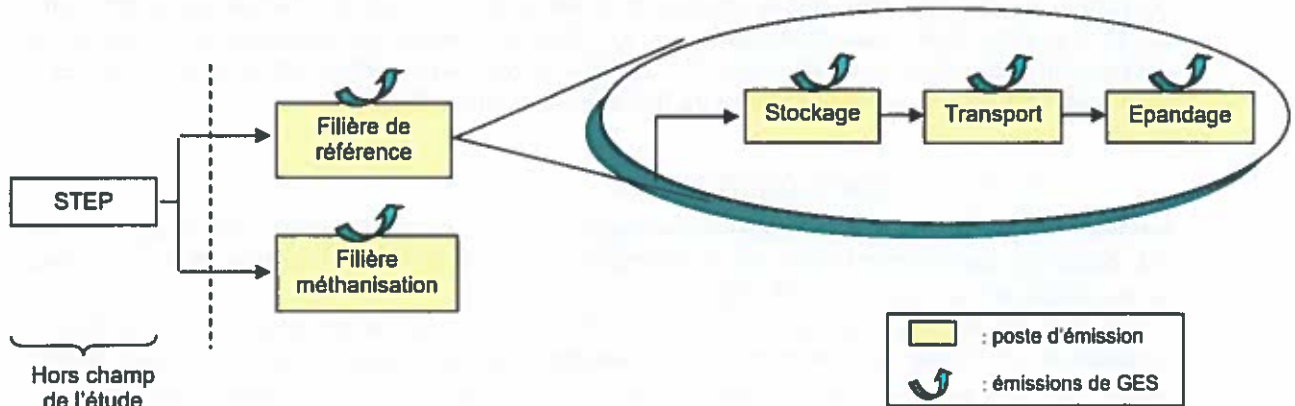


Schéma 7 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les boues de STEP industrielles

Le stockage a lieu en silo à boues circulaire en béton, non enterré et non couvert. De la même façon que précédemment, le transport des boues vers les parcelles d'épandage est considéré.

4.1.2.4. L'incinération

L'incinération est une voie de traitement que l'on peut qualifier d'ultime, généralement utilisée pour des substrats non valorisables au niveau agronomique ou alimentaire.

L'épandage des graisses étant interdit par décret et les voies de traitement spécifiques étant coûteuses et non généralisées, l'incinération est la filière de traitement la plus courante pour les graisses d'abattoir.

On considère les graisses à la sortie de l'abattoir puis on compare les émissions gazeuses de la filière de traitement par digestion anaérobie à celles de la filière de référence (cf. schéma 8).

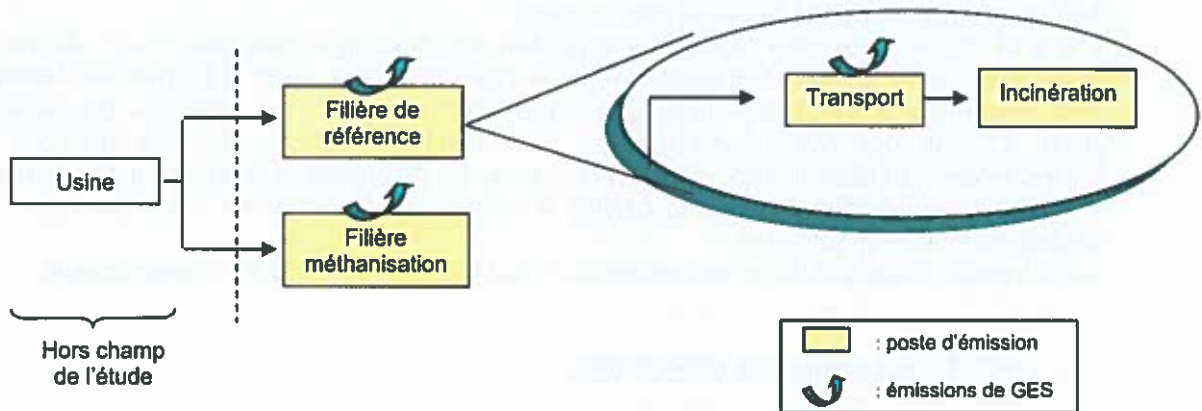


Schéma 8 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les graisses d'abattoir

Il convient ici de préciser que s'agissant de combustion de graisse d'origine biomasse, les émissions gazeuses de CO₂ ne sont pas considérées comme impactant sur l'effet de serre. Les facteurs d'émission correspondants seront de valeur nulle. Par contre, les émissions de GES liées aux transports des graisses vers l'unité d'incinération sont considérées.

4.1.2.5. La mise en centre de stockage de substrats non dangereux (CSD)

Les **déchets de fruits et légumes** considérés ici rejoignent généralement le circuit de gestion des déchets ménagers et assimilés. Ces derniers sont pour la plupart stockés en décharge (52% selon les chiffres Ademe 2002²³).

On compare donc ici les deux filières en considérant les substrats de fruits et légumes à leur arrivée sur un site, soit de digestion anaérobie soit de stockage des substrats (cf. schéma 9).

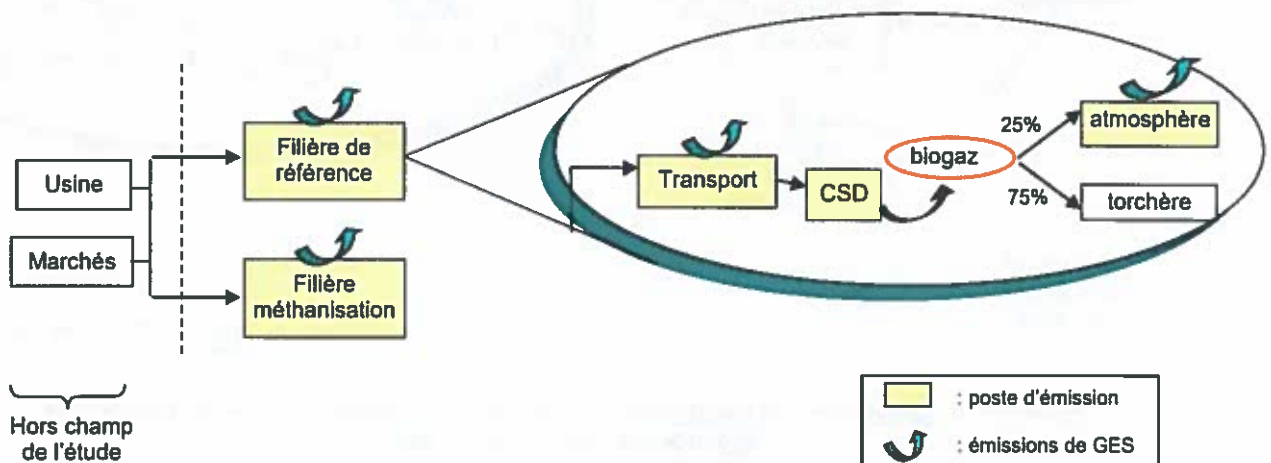


Schéma 9 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les substrats de fruits et légumes

Les émissions de GES liées aux transports vers le Centre de Stockage des Substrats sont considérées. Les substrats ménagers sont composés en partie de substrats fermentescibles. Lors de leur stockage en CSD, ils subissent une dégradation anaérobie productrice de biogaz qui doit être réglementairement capté. Le biogaz capté dans ce scénario est brûlé en

²³ www.ademe.fr rubrique Déchets / Chiffres clés

torchère. Par convention, on considère que cette combustion de biomasse n'émet pas de gaz à effet de serre.

Pour le calcul des émissions de gaz à effet de serre, on s'intéresse donc à la part de biogaz non captée (fuite) qui est émise à l'atmosphère.

L'outil de calcul établi pour le registre européen des émissions polluantes²⁴ est référent en matière de calcul d'émissions gazeuses dans l'air issues des CSD. Il fournit des éléments pour déterminer la proportion de biogaz capté, en fonction des équipements de stockage. Ainsi, à partir des hypothèses fournies, on retient un taux de captage de 75% qui correspondrait au taux de captage moyen d'un centre de stockage comportant des casiers à couverture semi-perméable et des casiers à couverture imperméable naturelle. Cette part captée est brûlée en torchère.

La proportion moyenne de biogaz émise dans l'air est donc de 25% du biogaz produit.

4.1.3. Substrats des collectivités

4.1.3.1. Blodéchets des ménages et substrats verts : La mise en centre de stockage de substrats non dangereux (CSD)

Il a été énoncé ci-dessus que la filière de gestion des substrats ménagers et assimilés la plus courante est la mise en décharge. Cela concerne dans l'approche les **biodéchets des ménages et les substrats verts**.

Il est donc considéré que la digestion anaérobie des biodéchets ménagers et des substrats verts permet d'éviter les émissions de gaz à effet de serre dues à leur enfouissement en centre de stockage sans valorisation du biogaz.

On compare alors les deux filières en considérant ces substrats à leur arrivée sur un site, soit de digestion anaérobie soit de stockage des substrats (cf. schéma 10).

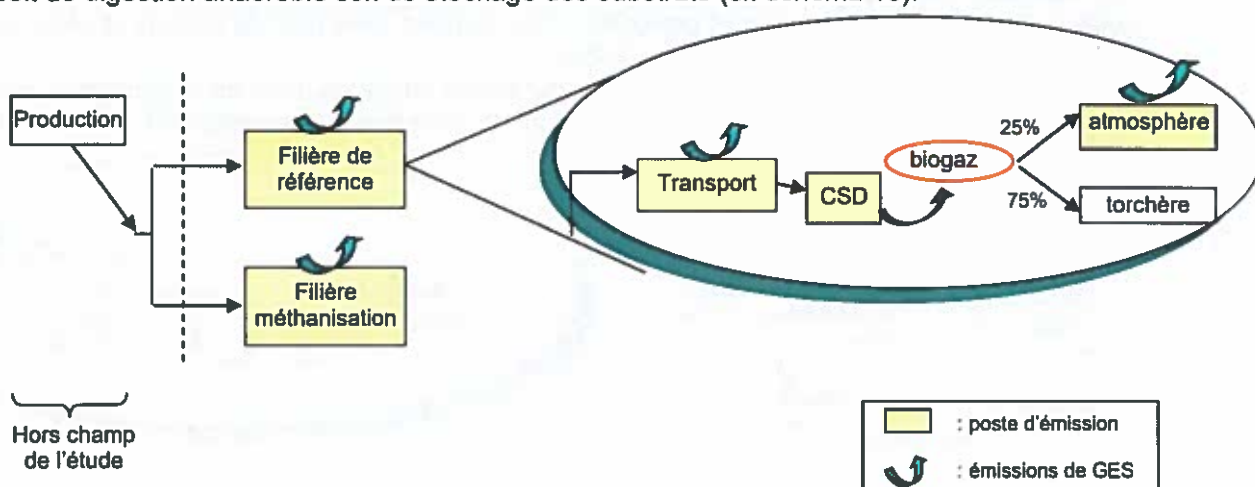


Schéma 10 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les biodéchets ménagers et les substrats verts

Comme évoqué précédemment (cf. 4.1.2.5.), au cours du stockage en CSD la fraction fermentescible des ordures ménagères se dégrade et produit du biogaz. 75% du biogaz produit est brûlé en torchère²⁵. En raison de l'origine biomasse, les émissions gazeuses de CO₂ liées à cette combustion ne sont pas considérées comme impactant sur l'effet de serre.

²⁴ ADEME. Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, SO_x, NO_x issues des centres de stockage de substrats ménagers et assimilés, 14/03/2003 (dit outil de calcul EPER)

²⁵ taux de captage moyen d'un centre de stockage, à partir des hypothèses indiquées dans l'outil de calcul EPER

Pour le calcul du bilan effet de serre, on s'intéresse aux 25% de biogaz produit qui sont émis dans l'air.

4.1.3.2. Le stockage et l'épandage des boues de STEP urbaines

L'approche est centrée sur les boues liquides issues d'un traitement aérobie des effluents urbains. Ce type de traitement est le plus répandu, il concerne 51% des STEP urbaines²⁶. La gestion de ces boues comporte le plus couramment une phase de stockage en silo à boues circulaire en béton non enterré et non couvert et un épandage agricole en surface. On considère les boues de STEP à la sortie de la station puis on compare les émissions de gaz à effet de serre liées à la digestion anaérobie à celles liées au stockage et à l'épandage. De la même façon que précédemment, le transport des boues vers les parcelles d'épandage est considéré.

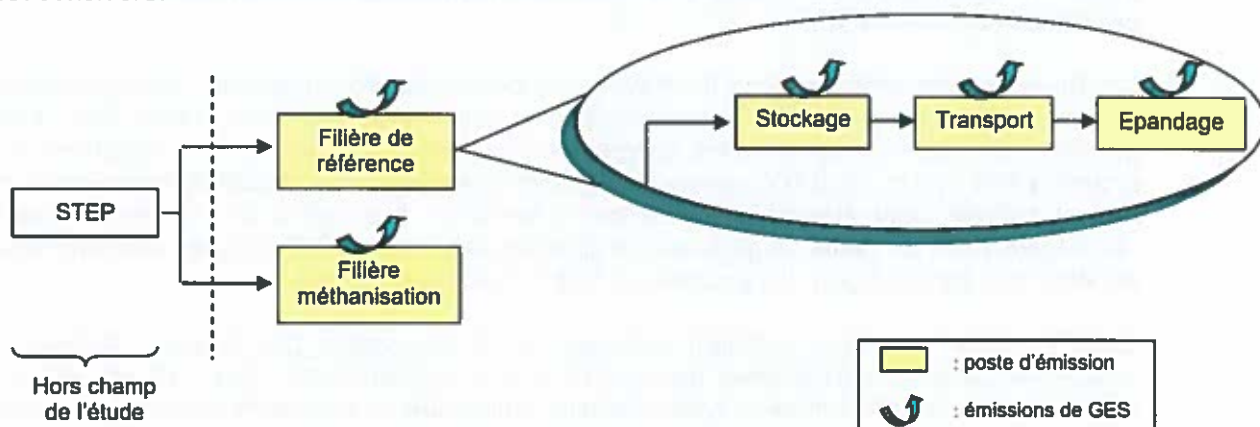


Schéma 11 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les boues de stations d'épuration collectives

4.1.3.3. Le traitement en STEP collective

Deux types de substrats sont concernés par le traitement en STEP collective : les substrats gras issus des STEP, les huiles et graisses alimentaires usagées. Pour ces deux substrats, la description de la filière de traitement de référence est la même (cf. schéma 12).

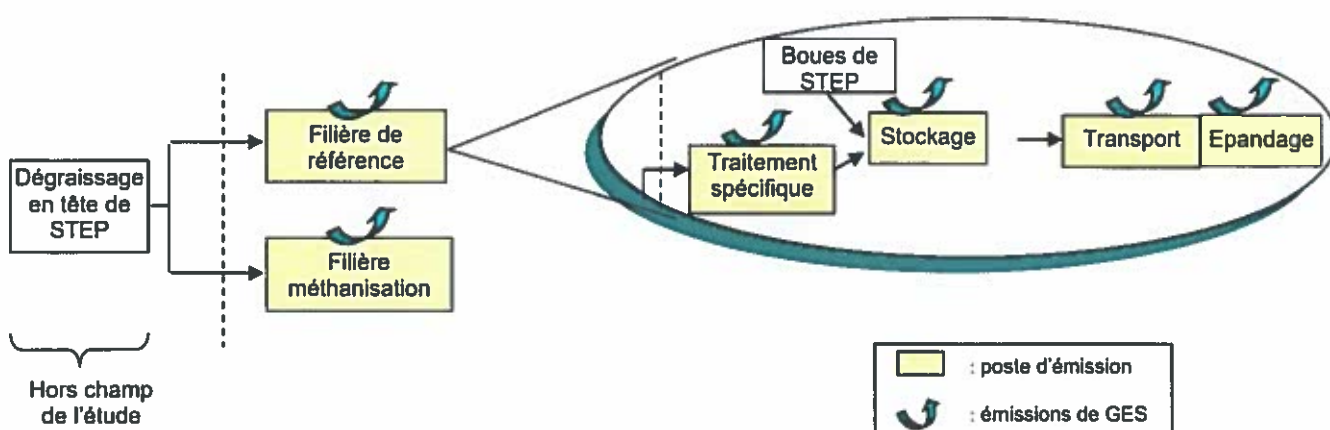


Schéma 12 : Champ de l'étude et filière de traitement de référence pour les graisses de STEP et les huiles et graisses usagées

²⁶ Moletta R, Cansell F. Méthanisation des substrats organiques RECORD. Février 2003

Les graisses des stations d'épuration sont récupérées au cours du pré-traitement des effluents urbains, après l'étape de dégrillage. 60% du gisement national est traité in situ, par procédé aérobie ou anaérobie²⁷. Dans le cas d'une digestion anaérobie, les graisses sont traitées en mélange avec les boues de STEP. Lorsqu'elles sont traitées par voie biologique aérobie, il s'agit d'un traitement spécifique aux graisses, dans un bassin d'aération, qui génère des boues. Après traitement spécifique, ces boues sont, soit réinjectées en tête de station d'épuration et traitées avec les effluents (traitement aérobie), soit mélangées avec les boues issues de l'épuration. Dans les deux cas, elles suivent ensuite les filières classiques de traitement des boues de STEP (cf. point 4.1.2.3). On compare donc les émissions gazeuses de la filière de traitement des substrats gras par digestion anaérobie (en mélange avec des boues d'épuration) avec la filière de traitement par voie aérobie : traitement spécifique puis mélange avec les boues d'épuration avant stockage et épandage des boues (cf. schéma 12).

Les huiles et graisses usagées en provenance de la restauration peuvent être récupérées à la source lorsque les restaurants sont équipés de bacs à graisses. Selon l'étude BIPE, bien que 55% des établissements soient équipés de ces bacs, seulement 17% du gisement est récupéré à la source (500 000 tonnes). La grande majorité de ces substrats rejoint donc le réseau collectif pour être traité en station d'épuration. Les huiles et graisses usagées composent ainsi, en partie, le gisement de graisses issues de STEP. La filière de référence est donc la même que pour les graisses de STEP exposée ci-dessus.

Comme indiqué précédemment dans le chapitre sur la composition des substrats, la mise en culture de plantes énergétiques est spécifique à la méthanisation. Ces cultures peuvent être effectuées sur des parcelles habituellement en jachère ou en substitution à des cultures habituellement vendues ou consommées par les animaux d'élevage ou encore faire partie des Cultures Intermédiaires Piège à Nitrate (CIPAN). La situation de référence peut donc être variable.

Si on considère le cas probablement le plus fréquent de la substitution à une culture habituellement vendue ou consommée sur place, les pratiques agricoles de la situation de référence par rapport à la situation de digestion anaérobie ne seront pas très différentes. Pour ces substrats, on a donc considéré des facteurs d'émission de valeurs nulles pour les filières de références et pour la filière de digestion anaérobie avant digestion.

²⁷ étude BIPE, 2004

4.2. Facteurs d'émission correspondants

Les facteurs d'émission (FE) consignés dans le tableau 6 sont issus de la littérature. Ainsi, on retrouve dans ce tableau les informations sur les filières de référence (antérieures à la digestion anaérobie) pour chaque substrat : les déjections animales sont traitées par stockage et épandage, les graisses d'abattoir ont pour filière de référence l'incinération, etc.

Déchets	stockage		traitement		épandage		CSD		incinération		fabrication d'aliments	
	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CH ₄
fumier bovin	0,30	10,40			0,90	0,04						
fumier porcin	0,30	10,40			0,90	0,04						
lisier bovin	0,00	16,70			0,90	0,03						
lisier porcin	0,00	16,70			0,90	0,03						
fientes volaille	0,15	10,40			0,90	0,04						
fumier de volailles	0,30	10,40			0,90	0,04						
co-produits de l'industrie de la pomme de terre											0,00	0,00
graisses d'abattoir									0,00	0,00		
lactosérum											0,00	0,00
boues de STEP (IAA)	0,00	32,30			0,20	0,05						
biodéchets ménagers							0,00	4,20				
boues de STEP (collectivités)	0,00	28,50			0,20	0,04						
graisses de STEP	0,00	1,60	1,00	0,00	0,00	0,01						
huiles et graisses de restauration	0,00	1,60	1,00	0,00	0,00	0,01						
drêches de brasserie											0,00	0,00
fruits et légumes							0,00	4,20				
co-produits viticoles et vinicoles					0,20	0,03						
déchets verts							0,00	4,20				
Lisier canard	0,00	16,70			0,90	0,03						
fumier ovín	0,30	10,40			0,90	0,04						
Fumier équin	0,30	10,40			0,90	0,04						
Fumier ovín-caprin	0,30	10,40			0,90	0,04						
Lisier volaille	0,00	16,70			0,90	0,03						
Amidon pulpe											0,00	0,00
Betterave fanes											0,00	0,00
Betterave fourragère											0,00	0,00
Betterave sucrière											0,00	0,00
Blé											0,00	0,00
Blé grain											0,00	0,00
Boues de flottation	0,00	28,50			0,20	0,04						
Boues de STEP	0,00	28,50			0,20	0,04						
Brasserie déchets											0,00	0,00
Céréales poussières											0,00	0,00
Coiza tourteau											0,00	0,00
Contenu de panse									0,00	0,00		

DIGES 2.0

Contenu de panse pressé									0,00	0,00		
Déchets de cuisine							0,00	4,20				
Déchets de légumes							0,00	4,20				
Déchets de sortie de silo											0,00	0,00
Déchets des marchés							0,00	4,20				
Déchets verts humides							0,00	4,20				
ensilage herbe											0,00	0,00
ensilage maïs											0,00	0,00
Estomac/intestin contenu									0,00	0,00		
Farine animale									0,00	0,00		
Feuillage							0,00	4,20				
Fines et spathes											0,00	0,00
Foin											0,00	0,00
Graisses	0,00	1,60	1,00	0,00	0,00	0,01						
Gruau de colza											0,00	0,00
Herbe de fauche sur jachère											0,00	0,00
Herbe fraîche											0,00	0,00
Jachères											0,00	0,00
Luzerne											0,00	0,00
Maïs											0,00	0,00
Maïs résidus											0,00	0,00
Marc de fruit							0,00	4,20				
Mélasses											0,00	0,00
Melon Jus											0,00	0,00
Orge											0,00	0,00
paille											0,00	0,00
Paille de céréales											0,00	0,00
Paille de maïs											0,00	0,00
Pain vieux											0,00	0,00
Peiouse							0,00	4,20				
Petit lait											0,00	0,00
Pomme de terre fanes											0,00	0,00
Pomme de terre pulpe											0,00	0,00
Poussière silos											0,00	0,00
Rafles d'automne											0,00	0,00
Rafles de printemps											0,00	0,00
Raisin marc distillé											0,00	0,00
Résidus de distillation de céréales											0,00	0,00
Résidus de distillation de pomme de terre											0,00	0,00
Seigle											0,00	0,00
Semences déclassées											0,00	0,00
séparateur de graisse (Fettabscheider)	0,00	1,60	1,00	0,00	0,00	0,01						

Tableau 6 : Facteurs d'émission de N₂O et CH₄ par substrat et par poste d'émission pour les filières de référence (en % N Initial et % potentiel méthanogène, respectivement)

- Stockage et épandage des substrats agricoles

Les facteurs d'émission retenus ici sont issus de l'étude « Flux de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O) et d'ammoniac (NH₃) liés à la gestion des déjections animales : Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données ». (BDGES)

Par comparaison avec la version 1 de Diges certains FE ont été remis à jour en fonction de la version finale de ce document. En effet, dans la version finale de BDGES d'Aout 2006, les FE de méthane au stockage ont été modifiés suite à une dernière réunion avec le groupe de travail. (voir Rapport final)

Dans cette étude les FE sont globalisés par poste d'émission et, parfois, par type de déjection. Les FE de protoxyde d'azote au stockage sont ainsi différenciés par type de déjection mais sont communs aux différentes espèces animales. Aucun facteur d'émission n'avait pu être défini pour les fientes. Pour ce cas particulier, nous appliquons un FE issu d'une référence bibliographique (Freibauer, 2003). Après conversion, on obtiendra un FE de 0,15. (cf. Rapport final BDGES)

Au stockage, les FE déterminés dans le cadre de cette étude sont retranscrits.

A l'épandage, les FE étaient de 0,9% du N épandu et 0,04% du potentiel méthanogène épandu. Il faut ici moduler ce FE en tenant compte de ce qui a été émis au stockage (FE_{ref_épandage} = 0,04 * (100 - FE_{ref_stockage}) / 100). Le FE converti est également de 0,9% du N initial (émissions minimales au stockage). Pour le méthane, on obtient un facteur d'émissions de 0,04% ou de 0,03% du potentiel méthanogène initial selon les substrats.

- Substrats d'industries agro-alimentaires

Plusieurs substrats ont pour filière de référence l'intégration dans un nouveau process industriel pour la fabrication d'aliments (**co-produits de l'industrie de la pomme de terre, drêches de brasserie et lactosérum**). Comme évoqué précédemment, pour ces co-produits qui n'ont alors plus le statut de substrat, on ne comptabilise pas les émissions correspondantes et les facteurs d'émission à appliquer ont une valeur nulle.

De même, lorsque la filière de référence est l'incinération (cas des **graisses d'abattoir**), s'agissant d'une combustion de biomasse, les émissions de CO₂ ne sont pas comptabilisées et les émissions de CH₄ et N₂O sont considérées comme nulles.

Pour les **substrats de fruits et légumes**, il a été déterminé que la filière de référence était le stockage en CSD. En l'absence d'informations spécifiques sur ce substrat et étant donné qu'en conditions réelles il est stocké en mélange avec d'autres substrats, nous reportons ici les facteurs d'émission déterminés pour les biodéchets dans le même poste (voir ci-dessous).

Les facteurs d'émission pour l'épandage des **co-produits viticoles et vinicoles** sont issus de l'étude Cemagref-Ademe « Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats ». Il s'agit des valeurs de référence déterminées pour ce poste, applicables à tous les substrats. Le facteur d'émission de N₂O d'origine est de 2 g N / kg N épandu, soit 0,2% de la teneur en azote initiale du substrat. Le facteur d'émission de méthane est de 1 kg éq.CO₂/tMS, ce qui correspond après conversion à partir des données de composition du tableau 1, à une valeur de 0,025% du potentiel méthanogène initial.

En ce qui concerne les **boues de STEP industrielle**, en l'absence d'éléments spécifiques, on utilise les mêmes facteurs d'émission d'origine que pour les boues de stations d'épuration collectives (voir ci-dessous). Ces valeurs d'origine sont converties à partir des données de composition du tableau 1 pour obtenir les FE du tableau 6.



▪ Substrats de collectivités

Pour les **biodéchets ménagers**, des émissions gazeuses, liées à la dégradation de la matière organique surviennent au cours du stockage en CSD. On considère que les émissions de protoxyde d'azote sont nulles étant donné que les processus de dégradation sont majoritairement anaérobies.

Le facteur d'émission du protoxyde d'azote est donc nul.

Pour déterminer les émissions de méthane dans l'air, on s'intéresse tout d'abord à la production qui a lieu au cours du stockage. Des valeurs de production de CH₄ en centres de stockage ont été recueillies dans la littérature scientifique (El Fadel, 1996 et Barlaz, 1990 d'après Ham, 1979). Il s'agit de mesures effectuées sur la totalité de la période de production de méthane, soit sur des périodes de 5 à 20 ans. En moyennant ces valeurs, on obtient une production totale de méthane de 61,88 m³CH₄/tMO.

Comme indiqué dans la définition de la filière de référence, on prend pour hypothèse un centre de stockage comportant des casiers à couverture semi-perméable et des casiers à couverture imperméable naturelle. Dans ce cas, on applique un taux de captage de 75%²⁸. Par ailleurs, pour les CSD comportant des casiers avec couverture, la méthodologie EPER indique qu'il faut considérer un taux d'oxydation du méthane de 10%.

Les émissions de méthane dans l'air peuvent donc être calculées de la manière suivante :

$$\text{Emissions CH}_4 = \text{Production CH}_4 \times (1 - \text{taux oxydation}) \times (1 - \text{taux de captage})$$

$$\text{Emissions CH}_4 = 61,88 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tMO} \times 90\% \times 25\%$$

$$\text{Emissions CH}_4 = 13,9 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tMO}$$

Pour déterminer le facteur d'émission, on rapporte cette émission calculée au potentiel méthanogène initial des biodéchets, exprimé en m³ par tonne de matière organique :

$$\text{FE CH}_4 = \text{Emissions CH}_4 / \text{Potentiel méthanogène}$$

$$\text{FE CH}_4 = 13,9 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tMO} / 331,5 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tMO}$$

$$\text{FE CH}_4 = 4,2\%$$

Ce FE sera ensuite utilisé pour calculer les émissions de méthane, en tonnes d'équivalent CO₂ selon la formule simplifiée ci-dessous (voir le détail du calcul au 6.3.2.) :

$$\text{CH}_4 \text{ (t éq.CO}_2\text{)} = \text{tonnage (MB)} \times \text{Potentiel Méthanogène (m}^3\text{CH}_4 / \text{tMB)} \\ \times \text{FE CH}_4 \text{ (% Pot. Méth.)} \times \text{facteurs de conversion}$$

Ce facteur d'émission est reporté pour les substrats de fruits et légumes ainsi que pour les **substrats verts** dont les filières de référence sont également la mise en CSD. Ces deux substrats composent en partie les biodéchets ménagers, c'est pourquoi on ne calcule pas de facteur d'émission spécifique à partir des données de composition.

Les facteurs d'émission relatifs aux **boues de STEP collectives** proviennent de différentes sources. Au stockage de ce substrat liquide, considérant les processus proches de ceux qui surviennent dans le cas de stockage de lisier (anaérobiose), on utilise un FE de N₂O de valeur nulle. Le facteur d'émission de CH₄ provient d'un document de travail interne de l'Ademe²⁹. Sa valeur initiale est de 33 kg CH₄/tMS, ce qui donne 28,5% du potentiel méthanogène des boues de STEP urbaines, et 32,3% de celui des boues de STEP industrielles (cf. ci-dessus).

²⁸ ADEME. Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, SO_x, NO_x issues des centres de stockage de substrats ménagers et assimilés, 14/03/2003

²⁹ Document ADEME - C. Schubetzer & S. Wenisch / DDS Bilan « Effet de serre » d'un projet de méthanisation agricole - Déjections animales et co-substrats. 10/09/04

Pour l'épandage des boues de STEP, les facteurs d'émission sont issus de l'étude « Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats ». Il s'agit des valeurs de référence, communes à tous les substrats : 2 gN-N₂O/kgN et 1 kg éq.CO₂/tMS, soit respectivement 0,2% du N initial et 0,04% du potentiel méthanogène initial. Après conversion à partir des données de composition, le facteur d'émission de méthane devient pour les boues de STEP industrielles 0,05% du potentiel méthanogène.

Pour les **graisses de STEP** et les **huiles et graisses usagées** les FE pour le traitement spécifique proviennent de l'étude « Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats ». Il s'agit de valeurs de référence qui présentent des limites. En effet, par manque de données, dans cette étude le traitement aérobie en phase liquide a été assimilé à du stockage. De plus, les chiffres obtenus proviennent uniquement de données concernant les déjections animales. On retient toutefois les facteurs d'émission de 1%N pour le protoxyde d'azote et de 0% pour le méthane.

Comme explicité précédemment, les postes stockage et épandage concernent ici en réalité les graisses en mélange avec les boues d'épuration. Cependant, afin de ne pas comptabiliser en double les émissions liées à la gestion des boues de STEP, on a ici déterminé des FE pour les boues issues du traitement spécifique des graisses. Ce traitement a permis d'abattre l'azote contenu dans le substrat initial. Après le traitement il n'y a donc plus d'azote dans ces boues, par conséquent les émissions de N₂O au stockage et à l'épandage sont nulles. Le FE correspondant à appliquer est donc égal à zéro.

Pour déterminer les émissions de CH₄ au stockage et à l'épandage à partir des mêmes FE initiaux que pour les boues de STEP (respectivement 33 kg CH₄/tMS et 1 kg éq.CO₂/tMS), les données contenues dans un rapport du Cemagref sur le traitement biologique aérobie des graisses³⁰ ont été utilisées. Ainsi, à partir des données de composition contenues dans ce rapport, on obtient un facteur d'émission de 1,6% du potentiel méthanogène initial des graisses au stockage et de 0,01% à l'épandage. Ces FE sont applicables aux graisses de STEP ainsi qu'aux huiles et graisses de restauration qui les constituent en partie.

- Cultures énergétiques

Comme indiqué précédemment dans le chapitre sur la composition des substrats, la mise en culture de plantes énergétiques est spécifique à la méthanisation. Ces cultures peuvent être effectuées sur des parcelles habituellement en jachère ou en substitution à des cultures habituellement vendues ou consommées par les animaux d'élevage ou encore faire partie des Cultures Intermédiaires Piège à Nitrate (CIPAN).

Comme on l'a vu pour les autres situations de référence, nous nous bornons à comparer les situations au cours du traitement et lorsque la situation de référence ne correspond pas à un traitement de déchet mais est intégré dans un autre processus de fabrication, nous ne considérons pas les GES émis.

En effet, nous ne nous situons pas dans une démarche véritable d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) avec une comptabilisation complète des émissions comparées des filières. Typiquement, l'impact des cultures énergétiques induisant une diminution des surfaces de cultures dédiées à l'alimentation et augmentant ainsi les importations de ces mêmes besoins alimentaires est un sujet de type ACV qui n'est pas intégré ici.

³⁰ Royer Cécile. Traitement biologique aérobie des graisses. Mémoire. Cemagref, 1998. Confidentiel

5. Les filières de production d'énergie de référence

Remarque préalable :

On rappelle que la production d'énergie thermique et électrique par la filière de digestion anaérobie a été abordée au point 3.1.2. Les quantités d'énergie finale³¹ y ont été calculées. On calcule ici les émissions gazeuses qui auraient été liées à la production de ces mêmes quantités par les filières de production d'énergie de référence.

5.1. Energie thermique

5.1.1. Principes de calcul des émissions gazeuses

On cherche à savoir quelles auraient été les émissions de gaz à effet de serre, si la quantité d'énergie thermique finale produite par l'installation de digestion anaérobie avait été produite à partir d'un autre combustible plus classique.

La situation de référence se définit ainsi en fonction du ou des combustibles qui auraient été utilisés pour produire cette même quantité d'énergie thermique.

La quantité d'énergie thermique finale produite par l'installation de digestion anaérobie a été calculée précédemment. Elle se compose de

- l'énergie thermique consommée sur place (hors consommation liée au process de digestion anaérobie), c'est à dire sur l'habitation, l'exploitation agricole, etc.
- l'énergie thermique vendue à un tiers (industriel, réseau de chaleur, etc.).

Ces quantités sont renseignées par l'utilisateur de DIGES ou calculées à partir des pourcentages du tableau 4 sur l'utilisation de l'énergie thermique (cf. 3.1.2.).

Pour l'utilisation du calculateur DIGES, une situation de référence doit être définie pour chacune des deux utilisations : consommation sur place et vente.

L'utilisateur choisit ainsi, pour une installation donnée, le ou les combustibles qui correspondent à la situation de référence et indique en quelle proportion ils sont utilisés dans ce scénario. L'utilisateur pourra par exemple indiquer que la chaleur utilisée sur place se substitue à celle produite auparavant par la chaudière au fioul de l'habitation, ou que celle vendue l'est à un industriel voisin qui utilisait auparavant une chaudière au gaz naturel.

Une situation de référence par défaut est également proposée, dans le cas où l'utilisateur n'aurait pas ces informations. On retient par convention un scénario avec 50% de gaz naturel et 50% de fuel lourd³² (cf. Tableau 7).

Combustibles utilisés antérieurement		
Combustibles	pour l'énergie thermique consommée sur place (%)	pour l'énergie thermique vendue (%)
essence	0,0	0,0
gazole	0,0	0,0
fuel lourd	50,0	50,0
gaz naturel	50,0	50,0
kérosène	0,0	0,0
charbon	0,0	0,0
GPL	0,0	0,0
Total	100	100

Tableau 7 : Combustibles et pourcentages de substitution utilisés par défaut pour la situation de référence de production d'énergie thermique

³¹ livrée au consommateur (c'est à dire ici = totale produite – autoconsommée par le process)

³² déterminé par l'ADEME

5.1.2. Facteurs d'émission correspondants

Le tableau 8 présente les facteurs d'émission des différents combustibles que l'on pourrait rencontrer dans un scénario de référence. Ils sont issus d'une note de l'ADEME³³.

Les « substrats ménagers » ont été enlevés de cette liste car, dans la réalité, il est peu probable qu'une unité de digestion anaérobie se substitue à une unité d'incinération de substrats ménagers.

Energie thermique	Emissions de GES par combustible (g CO ₂ / kWh)
essence	264
gazole	271
fuel lourd	282
gaz naturel	206
kérosène	267
charbon	343
GPL	231

Tableau 8 : Facteurs d'émission par combustible pour la production d'énergie thermique

5.2. Energie électrique

5.2.1. Principes de calcul des émissions gazeuses

On considère l'énergie électrique utile produite par l'installation de digestion anaérobie, comme se substituant à la même quantité d'énergie électrique qui aurait été utilisée en l'absence de cette installation.

On rappelle que l'énergie électrique utile est la somme de l'énergie électrique utilisée sur place (hors autoconsommation) et de l'énergie électrique vendue.

Ces quantités sont renseignées par l'utilisateur de DIGES ou calculées à partir des pourcentages du tableau 4 sur l'utilisation de l'énergie électrique (cf. 3.1.2.).

On ne raisonne plus ici en considérant une substitution à une source d'énergie, comme c'était le cas pour l'énergie thermique, mais on considère l'usage pour lequel l'énergie électrique est consommée. En effet, conformément à une note résultant d'une convention entre l'Ademe et EDF³⁴, le contenu CO₂ du kWh se différencie par usage.

Dans un souci de simplification, on considère que l'énergie électrique, quelle que soit son utilisation, se substitue à la même quantité d'énergie utilisée auparavant pour un usage national moyen.

5.2.2. Facteur d'émission correspondant

On utilise le facteur d'émission global correspondant à un usage moyen national, de 75 g CO₂/kWh, défini par la note de cadrage sur le contenu CO₂ du kWh en France.

Energie électrique	Emissions de GES par usage (g CO ₂ / kWh)
CONTENU MOYEN NATIONAL	75

Tableau 9 : Facteur d'émission utilisé pour la production d'énergie électrique

³³ ADEME - Facteurs d'émission de dioxyde de carbone pour les combustibles - Les chiffres ADEME à utiliser. 2005

³⁴ Ademe-RTE - Note de cadrage sur le contenu CO₂ du kWh d'usage en France - 8 octobre 2007

6. Un calcul en plusieurs étapes

6.1. Le principe du calcul par bilan

Le bilan effet de serre d'un projet de digestion anaérobie est calculé en comparant les émissions de gaz à effet de serre liées à ce projet, à celles qui auraient été émises dans le cas d'un scénario de référence, pour le traitement des substrats et la production d'énergie. Il s'agit d'un calcul en plusieurs étapes (Schéma 13) dont le contenu est détaillé ci-après.

Le scénario de référence s'entend dans le sens de « ce qui aurait existé en l'absence de digestion anaérobie » et non de scénario le plus courant.

Le calcul de ce bilan s'effectue selon les étapes suivantes :

- les gaz à effet de serre (GES) émis par l'installation de Traitement par Digestion Anaérobie,
- les GES émis par les transports liés à l'approvisionnement en substrats de l'installation de digestion anaérobie (transport des substrats vers l'unité puis transport du digestat),
- les GES évités qui auraient été émis par une filière traditionnelle de traitement des substrats (traitement de référence),
- les GES évités qui auraient été émis par les transports dus au traitement de référence (transport vers l'unité de traitement de référence),
- les GES évités qui auraient été émis par une filière de production d'énergie de référence (substitution d'énergie),
- les GES évités liés à l'épandage du digestat (économie d'engrais minéral réalisée par le pouvoir fertilisant du digestat).

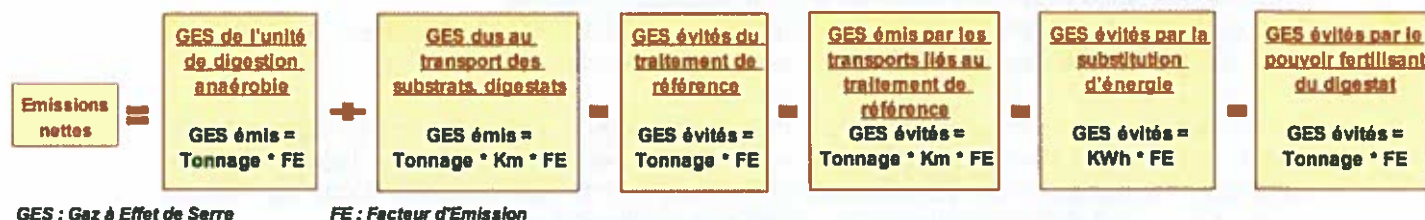


Schéma 13 : Les étapes du calcul par bilan

6.2. Les données complémentaires nécessaires au calcul

Les données nécessaires au calcul du bilan « effet de serre » ont été évoquées dans les parties précédentes sur la filière de digestion anaérobie, le traitement des substrats dans la filière de référence et la production d'énergie de référence. Elles sont reprises dans les formules développées par la suite.

Nous précisons que ces valeurs de PRG sont issues de l'IPCC 2005 et calculées pour une référence de 100 ans.

A ces données s'ajoutent les coefficients de conversion de N₂O et CH₄ en équivalent CO₂, du tableau 10.

	g CO ₂ par g de N ₂ O ou g de CH ₄	g CO ₂ par g de N ou g de C
N ₂ O	298	468,29
CH ₄	25	33,33

Tableau 10 : Facteurs de conversion de N₂O et CH₄ en équivalent CO₂ (IPCC 2005)

6.3. Les étapes du calcul

Les principes de calcul aux six étapes exposées dans le schéma 13 ont déjà été expliqués dans les parties précédentes du rapport.

Il s'agit ici de détailler les formules de calcul qui permettent d'établir le bilan effet de serre.

6.3.1. Quantités de gaz à effet de serre émises par la filière de traitement par digestion anaérobie

Les quantités de gaz à effet de serre émis dans l'air par la filière digestion anaérobie sont comptabilisées pour chaque substrat et pour chaque poste d'émission.

Les étapes du calcul sont présentées ci-après.

Quantités de N₂O en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\sum_{\text{poste}} (\text{tonnage} * \text{teneur en N} * FE_{N_2O \text{ meth}} * 1/1000 * 468,29))$$



Quantités de CH₄ en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{émissions Pré-stockage} + \text{émissions Post-stockage} + \text{émissions Epandage})$$

Avec :

Emissions du poste Pré-stockage :

$$t * \text{Pot.Méth.} * FE_{CH_4 \text{ meth pré-s.}} * (100 - \% CH_4 \text{ récup.Pré-st.}) * 16/24,05 / 1000 * 25$$

Emissions du poste Post-stockage :

$$t * \text{Pot.Méth.} * FE_{CH_4 \text{ meth post-s.}} * (100 - \% CH_4 \text{ récup.Post-st.}) * 16/24,05 / 1000 * 25$$

Emissions du poste Epandage :

$$t * \text{Pot.Méth.} * FE_{CH_4 \text{ meth ép.}} * 16/24,05 * 1/1000 * 25$$



Quantité de GES émis, en tonnes de CO₂ pour la filière de digestion anaérobie

①

Avec :

- t : tonnage de matière brute
- teneur en N : en kg N / tMB
- FE_{N₂O meth} : facteurs d'émission de N₂O pour la filière digestion anaérobie, en % N
- 468,29 g CO₂/g N : facteur de conversion du N₂O en équivalent CO₂
- Pot.Méth. : potentiel méthanogène en m³CH₄/tMB
- FE_{CH₄ meth pré-s.} : facteur d'émission de CH₄ pour la filière digestion anaérobie au pré-stockage des substrats, en %potentiel méthanogène
- FE_{CH₄ meth post-s.} : facteur d'émission de CH₄ pour la filière digestion anaérobie au post-stockage du digestat, en %potentiel méthanogène
- FE_{CH₄ meth ép.} : facteur d'émission de CH₄ pour la filière digestion anaérobie à l'épandage du digestat, en %potentiel méthanogène
- % CH₄ récup. Pré-st. : part du CH₄ produit au cours du pré-stockage des substrats et récupéré pour valorisation énergétique (0% si stockage non couvert ou si stockage couvert sans récupération, 100% si stockage couvert)
- % CH₄ récup. Post-st. : part du CH₄ produit au cours du post-stockage du digestat et récupéré pour valorisation énergétique (0% si stockage non couvert ou si stockage couvert sans récupération, 100% si stockage couvert)
- 16/24,05 : ratio de conversion des m³ de CH₄ en kg de CH₄
- 25 gCO₂/gCH₄ : facteur de conversion du CH₄ en équivalent CO₂

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux du tableau 5 (partie 3.2.). Le facteur d'émission de méthane du poste « digestion anaérobie » correspond à la totalité du méthane produit. On considère qu'il n'y a pas de fuite au niveau du digesteur et que la totalité du méthane produit est valorisé pour la production énergétique. Les émissions dans l'air sont donc nulles et le poste digestion anaérobie n'est pas concerné par le calcul.

Le stockage des substrats avant digestion (pré-stockage) ainsi que le stockage du digestat après digestion (post-stockage) peuvent être couverts ou non, avec ou sans récupération du biogaz produit. Les formules de calcul sont les mêmes, en utilisant les paramètres suivants en fonction des cas:

- stockage couvert avec récupération du biogaz : % CH₄ récup. = 100% ;
- stockage non couvert, la totalité du biogaz est émis dans l'air : % CH₄ récup. = 0%
- stockage couvert sans récupération du biogaz, la totalité du biogaz est émis dans l'air : % CH₄ récup. = 0%

6.3.2. Quantités de gaz à effet de serre émis liés au transport des substrats et des digestats

➤ L'utilisateur peut indiquer la distance parcourue (km) afin d'acheminer les substrats vers l'unité de digestion anaérobie. Après avoir enquêté quelques installations de méthanisation en fonctionnement, il s'avère que le matériel le plus fréquemment utilisé possède une charge utile de 10-15 tonnes. Une installation de taille importante utilise également des semi-remorques de 38t avec une charge utile de 25 tonnes pour certains co-substrats. Afin de se placer dans le cas le plus fréquemment rencontré et pour prendre en compte le facteur d'émission le plus « pénalisant », la méthode de calcul retenue se base sur un facteur d'émission du Bilan Carbone ® de 261,3 g C/km (tableau n°78 du guide des facteurs d'émission du Bilan Carbone) soit 958 g CO₂/km. Ce facteur d'émission est spécifique à la classe de PTAC correspondant aux tracteurs routiers de PTAC de 11 à 19t. Il nous paraît donc bien adapté pour une estimation correcte des émissions liées au transport des substrats assez divers qui peuvent être rencontrés. Ce facteur d'émission correspond à une moyenne pour tous types de parcours, en charge ou à vide. La charge maximale utile moyenne pour cette classe de PTAC est de 11,62 t (tableau n°74 du guide des facteurs d'émission du Bilan Carbone). On prendra en considération cette charge utile moyenne pour le calcul du nombre de trajets nécessaires à l'acheminement des substrats. Le calcul s'écrit comme suit :

Quantités de C en t ég CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{arrondisup}(\text{tonnage}/11.62) * 2 * \text{dist} * \text{FE}_{\text{CO2 km}})$$

2

L'utilisateur peut également indiquer une distance parcourue (km) afin d'acheminer le digestat vers sa valorisation finale. Afin de tenir compte de l'abattement de matière lié au processus de digestion anaérobie, le calcul s'écrit :

h

Quantités de C en t éq CO₂ : ②

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{arrondisup}((\text{tonnage} - \text{tonnage} * \text{MO}_{\text{biod}} / \text{MO} * \% \text{MO} / \text{MB}) / 11.62) * 2 * \text{dist} * \text{FE}_{\text{CO2km}})$$

Avec :

- tonnage : quantité de substrat transporté
- arrondisup() : arrondi à l'entier supérieur pour calculer le nombre d'aller retour réels
- dist : distance à parcourir en km
- 2 : afin de tenir compte du trajet de retour à vide du véhicule
- MO_{biod}/MO : pourcentage correspondant à la matière organique biodégradable dérivé du potentiel méthanogène
- %MO/MB : teneur en matière organique de la matière brute
- FE_{CO2km} : facteur d'émission de CO₂ par km pour un tracteur routier ayant une charge utile moyenne de 11.62 t (= 958 gCO₂/km)

6.3.3. Quantités de gaz à effet de serre évitées relatives à la filière de traitement de référence

Le principe du calcul est le même que pour la filière de digestion anaérobie. Les quantités de GES évitées par la substitution à la filière de traitement de référence, sont comptabilisées pour chaque substrat et chaque poste d'émission, selon les formules suivantes.

Quantités de N₂O en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\sum_{\text{poste}} (\text{tonnage} * \text{teneur en N} * \text{FE}_{\text{N2O ref}} * 1/1000 * 468,29))$$

+ Quantités de CH₄ en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\sum_{\text{postes}} (\text{tonnage} * \text{Pot. Méth.} * \text{FE}_{\text{CH4 ref}} * 16/24,05 * 1/1000 * 25))$$

= Quantité de GES évités, en tonnes de CO₂ pour le traitement de référence

③

Avec :

- tonnage : en matière brute
- teneur en N : en kg N / tMB
- FE_{N2O ref} : facteurs d'émission de N₂O pour la filière de référence, en % N
- 468,29 g CO₂/g N : facteur de conversion en équivalent CO₂
- Pot. Méth. : potentiel méthanogène en m³CH₄/tMB
- FE_{CH4 ref} : facteurs d'émission de CH₄ pour la filière de référence, en %potentiel méthanogène
- 16/24,05 : ratio de conversion des m³ de CH₄ en kg de CH₄
- 25 gCO₂/gCH₄ : facteur de conversion du CH₄ en équivalent CO₂

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux du tableau 6 (cf. section 4.4.).

6.3.4. Quantités de gaz à effet de serre évitées relatives au transport des substrats de la filière de référence

Il s'agit du même calcul qu'au § 6.3.2.

Quantités de C en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{arrondisup}(\text{tonnage}/11.62) * 2 * \text{dist} * \text{FE}_{\text{CO2 km}})$$

④

6.3.5. Quantités de gaz à effet de serre évitées relatives à la filière de production d'énergie de référence

Pour pouvoir calculer les émissions évitées grâce à l'unité de digestion anaérobie, il est nécessaire de connaître les quantités d'énergie thermique et électrique valorisées par cette unité, ainsi que leurs modes d'utilisation.

1) Calcul de la quantité d'énergie annuelle valorisée

Les formules développées ci-dessous retranscrivent la méthode de calcul de l'énergie valorisée exposée dans la partie 3.1.2. (cf. notamment le schéma 2).

Les quantités d'énergie électrique et thermique valorisées peuvent être soit saisies par l'utilisateur de DIGES, soit calculées à partir de la quantité de méthane valorisable et des hypothèses par défaut, en deux étapes, selon les formules ci-dessous :

a/ Quantité de méthane valorisable énergétiquement (m³ CH₄) :

$$= (\text{CH}_4 \text{ produit digesteur} + \text{CH}_4 \text{ récupéré pré-stockage} + \text{CH}_4 \text{ récupéré post-stockage})$$

$$= (t * \text{Pot.Méth.} * \text{FE}_{\text{CH}_4 \text{ meth dig}}) + (t * \text{Pot.Méth.} * \text{FE}_{\text{CH}_4 \text{ meth pré-st}} * \% \text{CH}_4 \text{ récup. Pré-st.}) +$$

$$(t * \text{Pot.Méth.} * \text{FE}_{\text{CH}_4 \text{ meth post-st}} * \% \text{CH}_4 \text{ récup. Post-st.})$$

Avec :

- t : tonnage de substrat, en matière brute
- Pot.Méth. : potentiel méthanogène en m³CH₄/tMB
- FE_{CH₄ meth dig} : facteur d'émission de CH₄ au cours de la digestion, en % potentiel méthanogène
- FE_{CH₄ meth Pré-st.} : facteur d'émission de CH₄ au pré-stockage, en % potentiel méthanogène
- FE_{CH₄ meth Post-st.} : facteur d'émission de CH₄ au post-stockage, en % potentiel méthanogène
- % CH₄ récup. Pré-st. : part du CH₄ produit au cours du pré-stockage des substrats et récupéré pour valorisation énergétique
- % CH₄ récup. Post-st. : part du CH₄ produit au cours du post-stockage du digestat et récupéré pour valorisation énergétique

Le méthane produit au cours du stockage des substrats avant digestion (pré-stockage) et du digestat après digestion (post-stockage) peut être récupéré pour la valorisation énergétique dans le cas d'un stockage couvert avec récupération du biogaz. Dans le cas le plus fréquent, le pré-stockage n'est pas couvert et le post-stockage est couvert avec récupération du biogaz, ce qui permet également de disposer d'un complément de stockage du biogaz produit par le digesteur. Cela se traduit dans les formules de calcul par l'utilisation des paramètres suivants, en fonction du cas de figure :

- Stockage couvert avec récupération du biogaz : % CH₄ récup. = 100%
- Stockage non couvert : % CH₄ récup. = 0%
- Stockage couvert sans récupération du biogaz : % CH₄ récup. = 0%

b/ Quantité d'énergie valorisée, électrique et thermique, en kWh (co-génération) :

<u>Energie électrique (E_{élec.} en kWh)</u>	<u>Energie thermique (E_{therm} en kWh)</u>
= énergie primaire * Rdt élect.	= énergie primaire * Rdt therm.
= (CH ₄ valorisable * 9,94kWh/m ³ * 95%) * 30%	= (CH ₄ valorisable * 9,94kWh/m ³ * 95%) * 35%

Avec :

- CH₄ valorisable en m³, calculé à l'étape précédente
- 9,94 kWh / m³CH₄ = facteur de conversion du méthane en énergie primaire
- 95% : part de l'énergie primaire qui est valorisable (les 5% restants sont perdus par torchère)
- Rdt élect. : rendement de transformation de l'énergie primaire en énergie électrique : 30% en co-génération, 30% en tout électrique, 0% en tout thermique
- Rdt therm. : rendement de transformation de l'énergie primaire en énergie thermique. 35% en co-génération, 0% en tout électrique, 80% en tout thermique

h

2) Utilisation de l'énergie valorisée

Les quantités d'énergie électrique ($E_{\text{elec.}}$) et thermique (E_{therm}) valorisées ont été saisies directement en kWh par l'utilisateur ou calculées par DIGES.

Après cette étape, l'utilisateur a la possibilité de préciser le mode d'utilisation de cette énergie : part de l'énergie électrique et de l'énergie thermique autoconsommées par le process, exportées pour être vendues à un tiers et consommées sur place (cf. 3.1.2.3.).

On s'intéresse ici à l'énergie finale, c'est à dire aux parts exportées et consommées sur place (soit le total produit, moins l'autoconsommation).

Les calculs ci-dessous font apparaître les pourcentages utilisés par défaut (cf. tableau 4, partie 3.1.2.3.). Ils sont modifiables par l'utilisateur.

Energie électrique exportée (kWh)

$$= E_{\text{elec.}} * \% E_{\text{elec.}} \text{ exportée}$$

$$= E_{\text{elec.}} * 40\%$$

Energie électrique consommée in situ (kWh)

$$= E_{\text{elec.}} * \% E_{\text{elec.}} \text{ in situ}$$

$$= E_{\text{elec.}} * 40\%$$

Energie thermique exportée (kWh)

$$= E_{\text{therm}} * \% E_{\text{therm}} \text{ exportée}$$

$$= E_{\text{therm}} * 40\%$$

Energie thermique consommée in situ (kWh)

$$= E_{\text{therm}} * \% E_{\text{therm}} \text{ in situ}$$

$$= E_{\text{therm}} * 40\%$$

Avec :

- $E_{\text{elec.}}$: quantité d'énergie électrique valorisée, en kWh
- $\% E_{\text{elec.}} \text{ exportée}$: pourcentage de l'énergie électrique valorisée qui est exportée (vente)
- $\% E_{\text{elec.}} \text{ in situ}$: pourcentage de l'énergie électrique valorisée qui est consommée sur place
- E_{therm} : quantité d'énergie thermique valorisée, en kWh
- $\% E_{\text{therm}} \text{ exportée}$: pourcentage de l'énergie thermique valorisée qui est exportée (vente)
- $\% E_{\text{therm}} \text{ in situ}$: pourcentage de l'énergie thermique valorisée qui est consommée sur place

3) Calcul de la quantité de GES évitée relative à la production d'énergie

Le calcul des émissions gazeuses évitées est réalisé à partir des quantités d'énergie par usages calculées ci-dessus.

On rappelle que pour l'énergie électrique, le calcul est effectué par rapport à un usage national moyen de l'électricité. Pour l'énergie thermique, il est réalisé en fonction des combustibles qui auraient été utilisés antérieurement pour la production des mêmes quantités de chaleur. Ces combustibles et leur part d'utilisation sont renseignés par l'utilisateur de DIGES si ce dernier possède ces informations. Dans le cas contraire le scénario par défaut est utilisé.

Ces émissions sont calculées selon les formules ci-dessous :

GES évités relatifs à l'énergie électrique (t éq. CO₂)

$$= (\text{Electricité exportée} + \text{Electricité in situ}) * 75 \text{ g/kWh} * 1.10^{-6}$$

+ GES évités relatifs à l'énergie thermique (t éq. CO₂)

$$= E_{\text{therm. exportée}} * \sum_{\text{combustible}} (\% \text{ substitution}_{\text{therm. exp.}} * FE_{\text{combustible}} * 1.10^{-6}) \\ + E_{\text{therm. in situ}} * \sum_{\text{combustible}} (\% \text{ substitution}_{\text{therm. in situ}} * FE_{\text{combustible}} * 1.10^{-6})$$

= Quantité de GES évités, en tonnes de CO₂ pour la substitution d'énergie

(5)

DIGES 2.0

- Electricité exportée : quantité d'énergie électrique exportée (vendue), calculée à l'étape précédente, en kWh
- Electricité in situ : quantité d'énergie électrique consommée sur place, calculée à l'étape précédente, en kWh
- 75 g/kWh : contenu national moyen du kWh d'usage en France
- E. therm. Exportée : quantité d'énergie thermique exportée (vendue), calculée à l'étape précédente, en kWh
- E. therm. in situ : quantité d'énergie thermique consommée sur place, calculée à l'étape précédente, en kWh
- % substitution therm. exp. : part de chaque combustible dans la production d'une quantité de chaleur identique à celle qui est valorisée par l'unité de digestion anaérobie et exportée
- % substitution therm. in situ : part de chaque combustible dans la production d'une quantité de chaleur identique à celle qui est valorisée par l'unité de digestion et consommée in situ
- FE combustible : facteur d'émission de GES, par combustible, en g CO₂/kWh

6.3.6. GES évités par le pouvoir fertilisant du digestat

« Au cours de la digestion, les 2/3 de la matière organique biodégradable sont transformés en biogaz...La transformation des 2/3 de la matière organique en conditions anaérobies entraîne une minéralisation de l'azote dans les mêmes proportions. Lors de la digestion, la minéralisation (et la conservation) de l'azote et du phosphore, la diminution de la teneur en matière sèche et la diminution de la phytotoxicité des substrats ont des conséquences positives sur la valeur fertilisante du digestat. » (René Moletta, « La Méthanisation »)

Le bilan carbone ® indique un facteur d'émission de 1.11kg C émis (soit 4.07 kg eq CO₂) pour 1 kg d'ammonitrate produit. Le calcul de l'économie d'engrais réalisée s'écrit comme suit :

Quantités de N en t eq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{tonnage} * N * \text{MO}_{\text{biod}}/\text{MO} * \text{FE}_N)$$

6

Avec :

- tonnage : tonnage de matière brute
- N : teneur du substrat en azote en kg par tonne de MB
- MO_biod/MO : pourcentage de matière organique biodégradable
- FE_N : facteur d'émission pour la production d'un kg d'ammonitrate

Afin de tenir compte de l'effet fertilisant direct des déjections animales qui aurait eu lieu en l'absence de digestion anaérobie, la formule ci-dessus est modifiée comme suit pour les substrats suivants :

Cas des lisiers :

L'effet fertilisant direct d'un lisier brut est non négligeable. Il peut être variable suivant la composition de lisier. Nous retiendrons ici une valeur de l'effet fertilisant direct moyenne de 50% de la teneur en N total³⁵. La formule de calcul devient :

Quantités de N en t eq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{tonnage} * N * 50\% * \text{MO}_{\text{biod}}/\text{MO} * \text{FE}_N)$$

6

³⁵ Source : brochure "Fertiliser avec les engrais de ferme", IE – ITAVI – ITP, 2001, moyenne des lisiers

Cas des fumiers :

L'effet fertilisant direct d'un fumier est moins important. Nous retiendrons ici une valeur de l'effet fertilisant direct de 25% de la teneur en azote total³⁶. Il reste donc 75% de l'azote total qui est à prendre en compte pour ce calcul.

Quantités de N en t éq CO₂ :

$$= \sum_{\text{substrat}} (\text{tonnage} * N * 75\% * MO_{\text{blod}}/MO * FE_N)$$

6

Cas des boues:

L'épandage étant le traitement de référence pour les boues de STEP industrielles et urbaines, nous choisirons par analogie la même formule que pour le cas des lisiers.

Pour tous les autres substrats, c'est la première formule qui s'applique, ceux-ci n'étant pas utilisés à l'épandage dans le cadre du traitement de référence.

Nous noterons, après avoir testé l'outil, que cette partie donne des résultats non négligeables dans le bilan GES global. Il convient de préciser que cet effet environnemental positif ne peut être obtenu qu'après une substitution réelle d'engrais minéral par l'apport au sol de ce digestat de méthanisation.

En effet, les contraintes techniques rendant difficiles l'épandage sur certaines cultures ne sont par exemple pas abordées. Par ailleurs, il est bien sûr fortement conseillé d'adopter un système d'épandage limitant les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac (épandage localisé en surface ou par enfouissement superficiel ou profond).

³⁶ Source : brochure "Fertiliser avec les engrais de ferme", IE – ITAVI – ITP, 2001, moyenne des fumiers

6.3.7. Le bilan effet de serre d'un projet de digestion anaérobie

Le bilan est établi selon la formule présentée en début de chapitre :

	<u>Quantité de GES émis, en tonnes de CO₂</u> pour la filière de digestion anaérobie	①
+	<u>Quantité de GES émis, en tonnes de CO₂</u> par les transports liés à l'approvisionnement en substrats de l'installation de digestion anaérobie	②
-	<u>Quantité de GES évités, en tonnes de CO₂</u> pour le traitement de référence	③
-	<u>Quantité de GES émis, en tonnes de CO₂</u> par les transports liés au traitement de référence	④
-	<u>Quantité de GES évités, en tonnes de CO₂</u> pour la substitution d'énergie	⑤
-	<u>Quantité de GES évités, en tonnes de CO₂</u> pour l'économie d'engrais minéral liée au pouvoir fertilisant du digestat pour la filière de digestion anaérobie	⑥
=	<u>Emissions nettes, en tonnes de CO₂</u>	

7. Eléments de discussion

La version 2.0 du calculateur DIGES propose une première évaluation du bilan effet de serre pour des unités de digestion anaérobie. Certains points ont été améliorés par rapport à la 1^{ère} version de ce calculateur avec notamment l'intégration d'une liste de substrats plus complète et l'estimation des émissions liées au transport des substrats ainsi que la prise en compte du pouvoir fertilisant du digestat.

Ce bilan est perfectible car, si la méthodologie d'élaboration du bilan est bien établie, certains points mériteraient d'être améliorés et approfondis dans les versions ultérieures du calculateur :

➤ Calcul des émissions :

- Dans le cas d'une digestion anaérobie avec plusieurs co-substrats, le calcul des émissions dans l'air et des productions de gaz ne tient pas compte des interactions possibles entre les substrats (inhibitions ou synergies). Les émissions totales correspondent à la somme des émissions relatives à chacun des substrats.

➤ Disponibilité des données :

Que ce soit pour les données de composition ou les facteurs d'émission, les sources exploitées n'ont pas toujours fourni les informations recherchées. Certaines informations sont en effet très peu abordées dans la littérature. L'étude « Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats » avait d'ailleurs également fait ressortir ce constat, pour la plupart des filières de traitement biologique. Ceci explique le fait que cette étude ait été peu citée, bien qu'elle semblait à priori constituer une source majeure d'informations.

On a donc procédé par extrapolation ou comparaison pour combler les lacunes. Ces choix, rappelés ci-dessous, peuvent être critiquables et les données qui en sont issues devront être validées ou remplacées dans les prochaines versions du calculateur :

- En l'absence de données disponibles dans les sources exploitées, certaines données de composition ont été déterminées à dire d'experts : les potentiels méthanogènes des biodéchets et des substrats verts, la teneur azotée des fientes de volailles. Par ailleurs, la teneur azotée des graisses de STEP a été utilisée pour les huiles et graisses de restauration en l'absence d'informations sur ce substrat.
- Il n'a pas toujours été possible de disposer de facteurs d'émission spécifiques pour chacun des postes d'émissions et chacun des substrats choisis. Par conséquent, dans certains cas des extrapolations directes ont été faites (application du même FE) : d'un type de substrat à un autre (exemple : digestion anaérobie des déjections animales avec extrapolation aux autres substrats).
 Dans d'autres cas, l'extrapolation a nécessité un recalcul des facteurs d'émission : extrapolation d'un substrat à un autre par conversion du FE d'origine en utilisant les potentiels méthanogènes spécifiques aux substrats (exemple : épandage des boues de STEP industrielles et collectives), ou extrapolation en tenant compte des émissions aux postes précédents par un calcul par bilan matière (exemple : épandage dans la filière de digestion anaérobie ; épandage des graisses de STEP dans la filière de référence).
 Enfin, parfois, en raison d'indisponibilité dans la littérature, il a fallu procéder par comparaison des niveaux d'émission entre la filière de référence et la filière de digestion anaérobie (facteur d'émission du lisier brut utilisé pour l'estimation du facteur d'émission du post-stockage du digestat, avec ensuite extrapolation aux autres substrats).

➤ Validité des données

- Il est important d'attirer l'attention sur le fait qu'une incertitude peut exister sur les données issues des sources exploitées.
 On se rend compte en effet qu'il peut exister des confusions entre certains concepts, notamment entre production de méthane ou de biogaz d'une part et le potentiel méthanogène d'autre part, le premier étant une performance réelle mesurée dans un digesteur, le deuxième étant un maximum théorique de production et le rapport de l'un sur l'autre nous donnant le facteur d'émission.
 Les mesures de potentiels méthanogènes sont généralement réalisées à 20°C et 1 atmosphère (conditions standards de température et de pression). Pour comparer, réaliser des calculs ou simplement compiler des potentiels méthanogènes, il faudrait qu'ils correspondent à des mesures effectuées dans les mêmes conditions opératoires. Or cette information n'est pas toujours précisée dans les publications. Ces données ont toutefois été utilisées, en l'absence parfois d'autres informations disponibles.
- Par ailleurs, le choix de certaines données pourrait être revu dans de futures versions de DIGES. Par exemple, pour les émissions de CH₄ en provenance des CSD, le facteur d'émission a été déterminé à partir d'une sélection de données issues de deux publications. Si une valeur plus appropriée, par exemple utilisée comme référence par l'Ademe, existe ou est amenée à exister, il est souhaitable de l'utiliser. Cette observation est valable pour toutes les données du calculateur qui devront être mises à jour en fonction de l'évolution des connaissances et de l'adoption ultérieure par l'Ademe de valeurs référence dans ses autres documents et outils.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Données de composition collectées pour chaque substrat et choix réalisés

ANNEXE 2 : Références bibliographiques



DIGES 2.0

ANNEXE 1 : Données de composition collectées pour chaque substrat et choix (DIGES version1)

type de substrat	détail	MS								
		doc (1)	doc (4)	PNR	Cemagref	IMPACTS	expert	ADEME	CNB	choix
		en %MB (nombre de valeurs)								
déchets agricoles	fumier bovin	19,5 (1)	22 (1)	17,6 (12)		22 (nd)				16,47
	fumier porcin	22,5 (1)	24 (1)	22,5 (2)		24 (nd)				23,10
	fumier de volailles		41 (1)	10,25 (1)		41 (nd)	70 (4)			64,20
	lisier bovin	8,7 (1)	11 (1)	9,1 (12)	8,4 (23)	11 (nd)				7,56
	lisier porcin	5,8 (1)	6 (1)	5,7 (11)	4,45 (72)	6 (nd)				4,66
	fientes de volailles	13,9 (1)		20,7 (6)			25 (1)			20,39
déchets d'IAA	co-produits ind. P.d.t	13,6 (1)		20,7 (18)						20,70
	drêches de brasserie	20,2 (1)		27,9 (11)						27,90
	fruits et légumes	14,9 (1)		14,8 (9)						14,80
	co-produits vit-vinicoles	37,5 (1)		57 (3)						57,00
	graisse d'abattoir	32,3 (1)		25,17 (6)						25,17
	lactosérum	5,4 (1)		5,4 (1)						5,40
boues de STEP (IAA)			7 (1)		12 (nd)				9,50	
déchets de collectivités	biodéchets ménagers	59,1 (1)	38 (1)	- (0)			40 (1)	36,7 (1)		36,70
	déchets verts	50,1 (3)		48 (14)						48,37
	boues de STEP (coll.)	16,3 (1)	20 (1)	4,35 (2)				5 (2)		5,00
	graisses de STEP			42,13 (4)	36,00					40,90
	huiles, graisses restauration	42,1 (1)		50 (1)						46,05

type de substrat	détail	N							
		doc (4)	PNR	Cemagref	IMPACTS	expert	ADEME	CNB	choix
		en kgN/t brut (nombre de valeurs)							
déchets agricoles	fumier bovin	4,798 (1)	5,38 (1)		4,84 (nd)				5,0
	fumier porcin	6,792 (1)	9 (1)		6,72 (nd)				7,5
	fumier de volailles	23,6 (1)			23,8 (nd)	27 (4)			25,90
	lisier bovin	4 (1)	3,2 (2)	2,53 (23)	3,96 (nd)				2,7
	lisier porcin	4,898 (1)	3,48 (2)	5,34 (72)	4,98 (nd)				5,3
	fientes de volailles		- (0)			15 (1)			15
déchets d'IAA	co-produits ind. P.d.t		5,9 (5)						5,9
	drêches de brasserie		19 (4)						19,00
	fruits et légumes		5,25 (1)						5,25
	co-produits vit-vinicoles		23,94 (2)						23,94
	graisse abattoir		17,9 (2)						17,9
	lactosérum		0,81 (1)						0,81
boues de STEP (IAA)		2,45 (1)		0,035 (nd)				1,24	
déchets de collectivités	biodéchets ménagers	7,958 (1)	- (0)			3 (1)	6,57 (nd)		6,6
	déchets verts		20,4 (3)						20,40
	boues de STEP (coll.)	9,92 (1)	- (0)		9,5 (nd)			3 (2)	3,0
	graisses de STEP		10,8 (1)	4,32 (1)					4,3
	huiles, graisses restauration								4,3

type de substrat	détail	MO								
		doc (1)	PNR	Cemagref	IMPACTS	expert	ADEME	CNB	DGE	choix
		en %MS (nombre de valeurs)								
déchets agricoles	fumier bovin	78,6 (1)	77,9 (7)		75 (nd)				70,8 (2)	76,4
	fumier porcin	87 (1)	86,5 (2)		75 (nd)				76,2 (1)	82,2
	fumier de volailles		75 (1)		75 (nd)	65 (4)				68,30
	lisier bovin	78,8 (1)	76,8 (9)	71,4 (23)	75 (nd)					72,6
	lisier porcin	76 (1)	75,3 (8)	72 (72)	75 (nd)					77,1 (2)
	fientes de volailles	75 (1)	75 (5)			66,6 (2)				71,45 (2)
déchets d'IAA	co-produits ind. P.d.t	90 (1)	84,5 (18)							84,5
	drêches de brasserie	81,6 (1)	83,6 (10)							83,60
	fruits et légumes	76,6 (1)	78,4 (8)							78,40
	co-produits vit-vinicoles	85,6 (1)	84,5 (3)							84,50
	graisse abattoir	92,5 (1)	93 (5)							93,0
	lactosérum	90,5 (1)	90,5 (2)							90,5
boues de STEP (IAA)		88 (1)		58 (1)					73,0	
déchets de collectivités	biodéchets ménagers	49,2 (1)	- (0)			68 (1)	82,2 (nd)			82,2
	déchets verts	88,6 (3)	87,4 (15)							87,40
	boues de STEP (coll.)	86,1 (1)	70 (1)		59,2 (nd)			67 (2)	65 (2)	67,0
	graisses de STEP		75 (4)	93 (1)						78,6
	huiles, graisses restauration	77 (1)	- (0)							77,0

DIGES 2.0

type de substrat	détail	Potential méthanogène								
		doc (4)	expert	choix	PNR	Cemagref	expert	doc (4)	publ 1	choix
		m3/MB			en m3/MB (nombre de valeurs)					
déchets agricoles	fumier bovin				192 (10)					192
	fumier porcin				220 (1)					220
	fumier de volailles				210 (1)					210
	lisier bovin				206 (16)	248 (3)				212,6
	lisier porcin				275 (14)	299 (5)				281,3
	fientes de volailles				288 (8)					288
déchets d'IAA	co-produits ind. P.d.l				350 (28)					350
	drèches de brasserie				375 (11)					375
	fruits et légumes				320 (13)					320
	co-produits viti-vinicoles				430 (1)					430
	graisse abattoir				696 (8)					696
	lactosérum				607 (4)					607
	boues de STEP (IAA)							200-220		210
déchets de collectivités	biodéchets ménagers	78,12 (2)	100	100			331,5	258,9		331,5
	déchets verts		75,00	75,00	410 (18)		177,3			177,3
	boues de STEP (coll.)				260 (2)					260
	graisses de STEP				803,3 (3)					803,3
	huiles, graisses restauration				710 (2)					710

Note : Dans cette 2^{ème} version de DIGES, des substrats ont été ajoutés provenant d'un document interne à l'Ademe. Par ailleurs les substrats du logiciel « Methasim » ont été inclus et disponibles pour un groupe restreint d'utilisateurs.

- doc (1) : ADEME/Christine Schubetzer - Potential méthanogène de différents substrats – Document - Sources : Bureau d'études IRCO Sprl, Fachverband Biogas, ADAESO, PNR Lorraine / INPL
- doc (4) : ADEME / C. Schubetzer & S.Wenisch /DDS Bilan « Effet de serre » d'un projet de méthanisation agricole - Déjections animales et co-substrats. 10/09/04
- PNR : Viard N, Drexhage M. Production indicative en biogaz et en méthane. PNR de Lorraine et TRAME, 2004 (base de données) (calcul d'une moyenne à partir des valeurs disponibles)
- Cemagref : base analyses de 1997 à 2004. Lisier porcs : 72 valeurs; Lisier bovin : 23 valeurs. Pour graisses : Royer Cécile, Traitement biologique aérobie des graisses (Mémoire d'étude, Cemagref. 1998. Confidentiel)
- IMPACTS : Cemagref / INRA / CReeD / Anjou Recherche / Ecobilan / Orval. Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats Bilan des connaissances. ADEME. 2005
- expert (à dire d') : pour les déjections animales : ITAVI, ITP, institut de l'élevage, y compris leur ouvrage commun "Fertiliser avec les engrais de ferme", 2001; pour les biodéchets : Cemagref Equipe Ouvrages de stockage de substrats; pour les substrats verts : Ademe (S. WENISCH)
- ADEME : La composition des ordures ménagères en France Données et références, 1999
- CNB : Comité National Boues, 2001
- DGE : Working Group on Organic Matter and Biodiversity - Task Group 4 on Exogenous Organic Matter -2004
- publ 1 : P Pouech, R Coudure, CE Marcato - Intérêt de la co-digestion pour la valorisation des lisiers et le traitement de substrats fermentescibles à l'échelle d'un territoire, Journées de la Recherche porcine 2005, 37, 39-44

ANNEXE 2 : Références bibliographiques

- ADEME, Facteurs d'émission de dioxyde de carbone pour les combustibles Les chiffres Ademe à utiliser. 8 avril 2005
- ADEME, La composition des ordures ménagères en France. Données et références. Janv. 1999
- ADEME-RTE, Note de cadrage sur le contenu CO2 du kWh d'usage en France. 18 octobre 2007
- ADEME. Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, SO_x, NO_x issues des centres de stockage de substrats ménagers et assimilés, 14/03/2003
- ADEME/Christine Schubetzer - Potentiel méthanogène de différents substrats – Document - Sources : Bureau d'études IRCO Sprl, Fachverband Biogas, ADAESO, PNR Lorraine / INPL
- ADEME / C. Schubetzer & S.Wenisch /DDS Bilan « Effet de serre » d'un projet de méthanisation agricole - Déjections animales et co-substrats. 10/09/04
- Amon B. & al. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. 2005
- Amon B., V. Kryvoruchko, T. Amon, S.Zechmeister-Bollenstem. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Greenhouse gas Emissions from agriculture Mitigation options and strategies, 90-95, 2004.
- BIPE, rapport sur le traitement des graisses (extrait). ADEME 2004
- Cabinet Merlin / EREP. Réalisation d'un référentiel technique et économique d'unités de traitement de substrats organiques par méthanisation avec et sans valorisation du biogaz. ADEME. 2003
- Cemagref / INRA / CRéD / Anjou Recherche / Ecobilan / Orval. Impacts environnementaux de la gestion biologique des substrats Bilan des connaissances. ADEME. 2005
- Clemens J., H.Trimbon, B. Amon, V.Kryvoruchko, P.Weiland. Greenhouse gas mitigation by anaerobic digestion. Greenhouse gas emissions from agriculture Mitigation options and strategies, 96-100, 2004.
- Clemens, J; Huschka, A. The effect of biological oxygen demand of cattle slurry and soil moisture on nitrous oxide emissions. NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS, 59, 193-198, 2001.
- CM International. Evaluation des quantités actuelles et futures de sous-produits épandus sur les sols agricoles provenant des industries agroalimentaires. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Avril 2002
- Comité national des boues. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. ADEME. 2001
- El-Fadel M, Findikakis AN, Leckie JO. Estimating and enhancing methane yield from municipal solid waste. Hazardous Waste & Hazardous materials Vol 13: 309-331, 1996
- Gac A, Béline F, Bioteau T, Flux de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O) et d'ammoniac (NH₃) liés à la gestion des déjections animales : Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. Cemagref. Ademe, 2005

DIGES 2.0

- Barlaz MA, Ham RK, Schaefer DM. Methane production from municipal refuse : a review of enhancement techniques and microbial dynamics. Critical Reviews in Environmental Control Volume 19, Issue 6, 557-584, 1990
- Institut de l'élevage, ITAVI, ITCF, ITP. Fertiliser avec les engrais de ferme, 2001
- Köster JR, Cardenas L, Bol R, Senbayram M, Butler M, Dittert K. Effect of biogas waste and mineral ammonium amendment on nitrous oxide emissions
- Moletta R, Cansell F. Méthanisation des substrats organiques Etude bibliographique. RECORD n°01-0408/1A. Février 2003
- Petitjean Stéphane. Utilisation des substrats en agriculture. Le courrier de l'environnement n°28, INRA, 1996
- P Pouech, R Coudure, CE Marcato, Intérêt de la co-digestion pour la valorisation des lisiers et le traitement de substrats fermentescibles à l'échelle d'un territoire, Journées de la Recherche porcine 2005, 37, 39-44
- Royer Cécile. Traitement biologique aérobie des graisses. Mémoire. Cemagref. Juin 1998. Confidentiel
- Solagro. La digestion anaérobie des boues urbaines. 2001
- Vedrenne Fabien. Compréhension des processus responsables des émissions de méthane issues des déjections animales liquides en vue d'une maîtrise de ces émissions. Cemagref. Ademe. En cours
- Viard Nathalie, Drexhage Michael. Production indicative en biogaz et en méthane (base de données) Parc Naturel Régional de Lorraine et TRAME, 2004
- Working Group on Organic Matter and Biodiversity. Task Group 4 on Exogenous Organic Matter. Commission Européenne. Mai 2004